

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

Untersuchung der Schwierigkeiten von Schülerinnen
und Schülern mit der Wellenoptik

verfasst von / submitted by

Christian Srnka

angestrebter akademischer Grad /

in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 4. Januar 2020/ Vienna 4. Januar 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /

degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 412 406

Studienrichtung lt. Studienblatt /

degree programme as it appears on
the student record sheet :

Unterrichtsfach Physik Unterrichtsfach Mathematik

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Dr. Lana Ivanjek

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, 4. Januar 2020

Unterschrift
(Christian Srnka)

Danksagung

Ich bedanke mich an dieser Stelle bei allen Personen und Institutionen, die mich während meiner Studienzeit und während des Verfassens dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Insbesondere Doktor Lana Ivanjek und Doktor Martin Hopf für ihre geduldige und ausführliche Betreuung beim Erstellen dieser Arbeit. Weiters möchte ich Karolina Matejak für die gute Vorarbeit und Zusammenarbeit danken.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern, Elfriede und Franz Srnka, die immer an mich geglaubt haben und ohne deren Unterstützung ich es nie geschafft hätte dieses Studium abzuschließen.

Christian Srnka
Wien, Dezember 2019

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Physikalischer Hintergrund	6
1.1 Physikalische Grundbegriffe	6
1.1.1 Periodische Vorgänge, Wellen	6
1.1.2 Mechanische Wellen	6
1.1.3 Harmonische Welle	7
1.2 Wellengleichung	8
1.2.1 Huygens-Fresnelsches Prinzip	9
1.2.2 Fermatsches Prinzip	9
1.3 Elektromagnetische Wellen	9
1.3.1 Wellenoptik	10
1.3.2 Licht als elektromagnetische Welle	10
1.3.3 Polarisierung	12
1.3.4 Interferenz	13
1.3.5 Beugung	14
1.4 Didaktische Reduktion	18
1.4.1 Kohärenz	18
1.4.2 Phasenverschiebung und Gangunterschied	18
2 Untersuchungen zum Wellenoptik-Unterricht	23
2.1 Lehrplanbezug	23
2.2 Aktueller Stand der Forschung	23
2.2.1 Drei große Probleme	24
2.3 Schulbuchanalyse	28
2.4 Zusammenfassung	29
3 Methode	31
3.1 Qualitative Analyse	31
3.2 Interview	32
3.3 Schlüsselfragen	33
3.3.1 Polarisierung	33
3.3.2 Interferenz	34
3.3.3 Beugung	36

3.3.4	Optische Gitter	38
4	Auswertung	39
4.1	Polarisation	39
4.2	Interferenz	41
4.3	Beugung	54
4.4	Optische Gitter	67
5	Zusammenfassung der Aussagen der Schülerinnen und Schüler	77
5.1	Polarisation	77
5.2	Interferenz	77
5.2.1	Beugung	78
5.2.2	Optische Gitter	79
5.3	Vorstellungen zum Licht	79
5.4	Zusammenfassung	80
6	Anhang	81
6.1	Mathematischer Anhang	81
6.1.1	Vektorproduktregel	81
6.2	Interview-Leitfaden	81
6.3	Transkriptionen	92
6.3.1	Interview 1	92
6.3.2	Interview 2	116
6.3.3	Interview 3	134
6.3.4	Interview 4	154
6.3.5	Interview 5	173
6.3.6	Interview 6	201
6.4	Abstract	227
6.4.1	English Version	227
6.4.2	Deutsche Version	228
	Literatur	229
	Abbildungsverzeichnis	231

Einleitung

Für Schülerinnen und Schüler ist das Verständnis der Wellenoptik besonders wichtig, da im späteren Unterricht im Speziellen in der Quantenmechanik immer wieder ähnliche Phänomene beobachtet werden können. Daher sollte besonderer Wert auf die entscheidenden Faktoren wie zum Beispiel Kohärenz oder Phasenunterschied gelegt werden. Leider gibt es kaum Forschung auf dem Gebiet der Wellenoptik für Schülerinnen und Schüler. Diese Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten, diese Forschungslücke zu verringern. In der vorliegenden Arbeit sollen daher Probleme, Verständnisschwierigkeiten und Fehlinterpretationen von Schülerinnen und Schülern nach dem Wellenoptik-Unterricht untersucht werden. Dazu wurde ein durch Experimente gestütztes offenes Leitfaden-Interview von Karolina Matejak an der Universität Zagreb entwickelt, welches von der Betreuerin und dem Autor dieser Arbeit ins Deutsche übersetzt wurde. Die Doktorarbeit von Karolina Matejak soll zu einem Test zum Verständnis der Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern mit der Wellenoptik führen.

Der Wellenoptik-Unterricht ist im österreichischen Lehrplan erst ab der siebenten Sekundarstufe vorgesehen. Daher wurden sechs Schülerinnen und Schüler aus vier Klassen der siebenten und achten Sekundarstufe ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, dass nicht nur sehr gute Schülerinnen und Schüler ausgewählt wurden, damit Verständnisschwierigkeiten besser erkannt werden können.

Im ersten Kapitel werden die physikalischen Grundlagen von elektromagnetischen Wellen und den Phänomenen Polarisation, Beugung und Interferenz und deren didaktische Reduktion auf Kohärenz und Gangunterschied behandelt. Das zweite Kapitel befasst sich mit dem Lehrplanbezug und dem Stand der Forschung zum Thema Wellenoptik-Unterricht. Im dritten Kapitel wird die Methode vorgestellt und Schlüsselfragen behandelt. Im vierten Kapitel wird die Auswertung der Interviews durchgeführt. Im fünften Kapitel werden die Erkenntnisse aus der Auswertung zusammengefasst.

Kapitel 1

Physikalischer Hintergrund

1.1 Physikalische Grundbegriffe

1.1.1 Periodische Vorgänge, Wellen

Vorgänge, bei denen in gleichmäßigen Intervallen immer wieder gleiche Zustände durchlaufen werden, werden als periodische Vorgänge bezeichnet. Als Schwingungen bezeichnen wir lokale, zeitlich periodische Vorgänge, Wellen hingegen sind räumlich ausgedehnte, zeitlich und räumlich periodische Vorgänge. In etwas umfassenderer Form können Wellen auch definiert werden als Vorgänge, die durch Lösungen der Wellengleichung beschrieben werden. Periodische Vorgänge sind in zahlreichen Gebieten der Physik von Bedeutung. Beispiele für Schwingungsvorgänge sind mechanische Schwingungen, wie sie etwa beim Pendel und bei der Schwingung elastischer Körper (Metallfedern, Quarzkristalle) auftreten. Elektromagnetische Schwingungen sind die Grundlage der Wechselstrom- und Drehstromtechnik. Das Verhalten von Körpern wird maßgeblich durch atomare und molekulare Schwingungen beeinflusst (vgl. Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 153).

1.1.2 Mechanische Wellen

Wellenvorgänge in ausgedehnten Körpern werden als mechanische Wellen bezeichnet. Insbesondere beruht der Schall auf der Ausbreitung mechanischer Wellen. Auf See- und Meeresoberflächen treten häufig mechanische Oberflächenwellen auf, die eine unmittelbare anschauliche Beobachtung von Wellenvorgängen ermöglichen (vgl. Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 153). Mechanische Wellen sind an ein Trägermedium gebunden, wobei die schwingenden Größen Druck, Dichte, Temperatur oder mechanische Auslenkung sein können (vgl. Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 166). „Je nach der Geometrie der Wellenausbreitung unterscheiden wir zwischen ebenen Wellen und Kugelwellen. Bei ebenen Wellen liegen Punkte gleicher Phase zu jedem Zeitpunkt auf parallelen Ebenen. Andererseits gehen von einer punktförmigen

Quelle bei isotroper Wellenausbreitung Kugelwellen aus, bei denen Punkte gleicher Phase zu jedem Zeitpunkt auf konzentrischen Kugelflächen liegen. Hinsichtlich der Orientierung der schwingenden Größe unterscheiden wir zwischen longitudinalen und transversalen Wellen. Bei longitudinalen Wellen erfolgt die Auslenkung in Richtung der Wellenausbreitung. Schallwellen [...] sind Beispiele für longitudinale Wellen. Andererseits ist bei transversalen Wellen die Auslenkung senkrecht zur Richtung der Wellenausbreitung orientiert.“ (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 167). Bei linear polarisierten Transversalwellen erfolgt die Auslenkung stets in einer festen Ebene, der Polarisationssebene. Bei Überlagerung zweier gleichartiger linear polarisierter Wellen mit aufeinander senkrecht stehenden Polarisationssebenen ergibt sich in jeder zur Wellenausbreitungsrichtung senkrechten Ebene eine zweidimensionale Überlagerung zweier senkrecht aufeinander stehender harmonischer Schwingungen gleicher Frequenz und im Allgemeinen eine elliptisch polarisierte Transversalwelle (vgl. Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 167).

1.1.3 Harmonische Welle

Die eindimensionale Ausbreitung einer harmonischen Welle wird durch ihre Auslenkung $u(x, t)$ beschrieben und wir verwenden den Ausdruck

$$u(x, t) = u_0 \cos(\omega t - kx) \quad (1.1)$$

wobei u_0 die Amplitude (maximale Auslenkung), ω die Kreisfrequenz und k die Wellenzahl ist. Der Ausdruck $(\omega t - kx)$ wird als Phase der Welle bezeichnet. Hierbei ist die Auslenkung $u(x, t)$ eine periodische Funktion sowohl der Zeit t als auch der Ortskoordinate x (vgl. Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 167).

Schwingungsdauer

„Die Schwingungsdauer T ist das Zeitintervall zwischen zwei gleichen Zuständen.“ (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 168)

$$T = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (1.2)$$

Frequenz

„Die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit wird als Frequenz ν bezeichnet.“ (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 168)

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (1.3)$$

Wellenlänge

„Die Wellenlänge λ ist die räumliche Distanz zwischen zwei gleichen Zuständen.“ (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 168)

$$\lambda = \frac{2\pi}{k}. \quad (1.4)$$

Verallgemeinerung der Gleichung 1.1 liefert eine dreidimensionale Kugelwelle

$$u(\vec{r}, t) = u_0 \cos(\omega t - \vec{k}\vec{r}) \quad (1.5)$$

mit dem Ortsvektor $\vec{r}$ und dem Wellenzahlvektor $\vec{k}$ (vgl. Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 168).

Phasengeschwindigkeit

„Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Punkten konstanter Phase wird als Phasengeschwindigkeit v_{ph} bezeichnet.“ (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 169). „Falls die Phasengeschwindigkeit v_{ph} einer Welle von der Wellenlänge λ (bzw. von der Wellenzahl k) abhängig ist, dann liegt Dispersion vor. Bei der Ausbreitung des Lichtes in einem durchsichtigen materiellen Medium [...] ist die Phasengeschwindigkeit im Allgemeinen von der Lichtwellenlänge abhängig, das Licht zeigt also Dispersion. Dementsprechend ist auch die Lichtbrechung an Grenzflächen von der Wellenlänge abhängig und es erfolgt eine wellenlängenabhängige Aufspaltung des betrachteten Lichtstrahls. Bei Lichtausbreitung im Vakuum tritt jedoch keine Dispersion auf.“ (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 169)

Gruppengeschwindigkeit

„Die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Wellenpakets (genau genommen des Maximums der Einhüllkurve eines Wellenpakets) wird als Gruppengeschwindigkeit v_{gr} bezeichnet.“ (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 170)

$$v_{gr} = v_{ph} + k \frac{dv_{ph}}{dk} = v_{ph} - \lambda \frac{dv_{ph}}{d\lambda} \quad (1.6)$$

1.2 Wellengleichung

„Wellen sind physikalische Vorgänge, die durch Lösungen der Wellengleichung beschrieben werden können.“ (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 173). Die Auslenkung $u(\vec{r}, t)$ der allgemeine dreidimensionale Wellengleichung ist gegeben durch

$$\frac{1}{v_{ph}^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \Delta u = 0 \quad (1.7)$$

wobei der Laplace-Operator Δ definiert ist als

$$\Delta := \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} = \nabla^2. \quad (1.8)$$

(vgl. Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 173)

1.2.1 Huygens-Fresnelsches Prinzip

„Jeder Punkt in einem Wellenfeld, der von einer Primärwellenfront getroffen wird, kann als Ausgangspunkt einer neuen kugelförmigen Sekundärwelle angesehen werden.“ (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 173)

1.2.2 Fermatsches Prinzip

„Eine Welle läuft zwischen zwei Punkten stets längs eines solchen Weges, bei dem die Laufzeit der Welle ein Extremwert (in vielen Fällen ein Minimum) ist.“ (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 174)

1.3 Elektromagnetische Wellen

Im Gegensatz zu den mechanischen Wellen, benötigen die elektromagnetischen Wellen kein Trägermedium. Die schwingenden Größen der elektromagnetischen Wellen sind die elektromagnetischen Feldvektoren $\vec{E}$ und $\vec{B}$ (vgl. Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 166). Nachfolgend ein Überblick über den Frequenzbereich elektromagnetischer Wellen: Der technische Wechselstrom mit 50 Hz liegt im Bereich der Niederfrequenz. Von etwa 20 bis 16000 Hz, also im Hörbereich des menschlichen Ohres, spricht man von Tonfrequenzen. Für die einwandfreie Sprachwiedergabe ist ein Frequenzumfang von 100 bis 4000 Hz erforderlich. Der Rundfunk umfasst 150 kHz bis 216 MHz. Während sich Lang- und Mittelwellen in der Hauptsache entlang der Erdoberfläche ausbreiten (Bodenwellen), gehen die noch kürzeren Wellen geradlinig vom Sender aus in den Raum (Raumwellen). Dabei werden die Kurzwellen in hohen Schichten der Atmosphäre (Heaviside-Schicht) reflektiert und wieder zur Erde zurückgebogen. Die unter den Kurzwellen liegenden Ultra-Kurz-Wellen hingegen, werden ebenso wie das sichtbare Licht nicht reflektiert und können nur im Sichtbereich des Senders empfangen werden, weshalb sie auch „quasi-optisch“ genannt werden. In diesem Bereich liegen der UKW-Rundfunk, das Fernsehen und das Radar. Von der Sonne kommen zu uns nicht nur elektromagnetische Wellen, die von Infrarot (IR) bis Ultraviolett (UV) reichen, sondern auch längere Wellen (1 cm bis 20 m) und Röntgenstrahlen. Diese und das meiste UV-Licht erreichen jedoch nicht den Erdboden, sondern werden von der Atmosphäre absorbiert. Ähnlich kommt aus dem Weltraum nicht nur das sichtbare Sternenlicht, sondern auch

Strahlung zwischen 1 und 103 mm Wellenlänge (vgl. Hammer, Morass und Raab 1977: S. 430).

1.3.1 Wellenoptik

Die Wellenoptik ist nach Nolting 2013: S. 352 die Lehre von den elektromagnetischen Wellen, wie den Lichtwellen, deren Eigenschaften aus den grundlegenden Maxwell-Gleichungen der Elektrodynamik ableitbar sind. „Die Wellenoptik als übergeordnete Theorie besitzt den Grenzfall der ‚geometrischen Optik‘, der vom Konzept der ‚Lichtstrahlen‘ lebt und unter bestimmten Umständen zu ‚anschaulicheren‘ und damit leichter interpretierbaren Resultaten führt als die volle Theorie.“ (Nolting 2013: 352f). Obwohl wir heute wissen, dass das Wellenbild nicht das volle Spektrum der Eigenschaften des Lichtes abdeckt, können jedoch wichtige Effekte, wie zum Beispiel die Beugung und die Interferenz, mit ihrer Hilfe beschrieben werden.

1.3.2 Licht als elektromagnetische Welle

„Wenn von Licht die Rede ist, so wird im Allgemeinen nur auf den sichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums Bezug genommen. Das sichtbare Licht macht nur einen geringen Anteil des Gesamtspektrums der elektromagnetischen Wellen aus [...]“. (Walther und Walther 2010: S. 17). Ausgehend von den vier Maxwellgleichungen in differenzieller Form

$$\nabla \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad (1.9)$$

$$\nabla \vec{B} = 0 \quad (1.10)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1.11)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{j} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \quad (1.12)$$

wobei $\vec{E}$ das elektrische Feld, $\vec{B}$ das magnetische Feld, μ_0 die Permeabilität des Vakuums, ε_0 die Dielektrizitätskonstante des Vakuums und $\vec{j}$ der fließende Strom ist, erhält man im quellenfreien Vakuum

$$\nabla \vec{E} = 0 \quad (1.13)$$

$$\nabla \vec{B} = 0 \quad (1.14)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1.15)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}. \quad (1.16)$$

Wir wollen nun zeigen, dass Licht sich wie eine elektromagnetische Welle verhält. Dazu bilden wir die Rotation von Gleichung 1.15 und erhalten mit der Vektorproduktregel (Siehe Anhang 6.1)

$$-\nabla^2 \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \vec{B}). \quad (1.17)$$

Einsetzen von 1.16 in 1.17 liefert dann

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0. \quad (1.18)$$

Auf analogem Weg erhält man für das Magnetfeld $\vec{B}$

$$\nabla^2 \vec{B} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0. \quad (1.19)$$

Diese Gleichungen 1.18 und 1.19 entsprechen denen der dreidimensionalen Wellengleichung

$$\nabla^2 \vec{p} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{p}}{\partial t^2} = 0. \quad (1.20)$$

Denn im freien Raum gilt

$$v = c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \quad (1.21)$$

die Vakuumlichtgeschwindigkeit (vgl. Klein und Furtak 1988: 35f).

Die Wellengleichungen 1.18 und 1.19 sowie ihre Lösungen sind nicht unabhängig voneinander, da die Maxwellgleichungen weiterhin gelten. Für wellenartige Lösungen ergibt die Verknüpfung von $\vec{E}$ und $\vec{B}$ die transversale Polarisation (vgl. Klein und Furtak 1988: S. 37).

$$\vec{E} = \text{Re} \left(\vec{E}_0 e^{\omega t - \vec{k} \vec{r} + \phi} \right) \quad \text{und} \quad (1.22)$$

$$\vec{B} = \text{Re} \left(\vec{B}_0 e^{\omega t - \vec{k} \vec{r} + \phi} \right) \quad (1.23)$$

sind Lösungen der Wellengleichungen 1.18 und 1.19, mit den konstanten Amplitudenvektoren $\vec{E}_0$ und $\vec{B}_0$, der Kreisfrequenz ω , dem Wellenvektor $\vec{k}$ und der Phase ϕ . $\vec{E}$ muss wegen $\nabla \cdot \vec{E} = -i\vec{k} \cdot \vec{E} = 0$ senkrecht zu $\vec{k}$ sein. Analoges gilt für $\vec{B}$ und weiter gilt wegen 1.15 $-i\vec{k} \cdot \vec{E} = -i\omega \vec{B}$ und

$$\vec{B} = \frac{1}{c} \frac{\vec{k}}{k} \times \vec{E} \quad (1.24)$$

das $\vec{E}$ und $\vec{B}$ senkrecht aufeinander sein müssen. Diese drei Vektoren $\vec{E}_0$, $\vec{B}_0$ und $\vec{k}$ bilden daher ein rechtshändiges, rechtwinkeliges Koordinatensystem wie in Abbildung 1.1 (vgl. Klein und Furtak 1988: 37f).

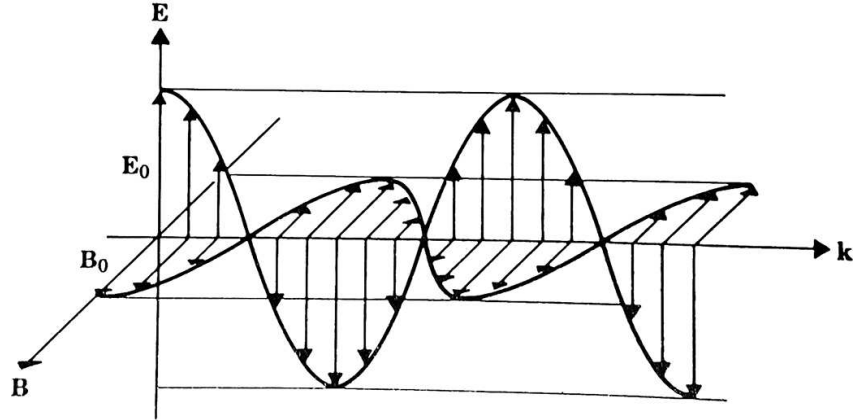


Abbildung 1.1: Das rechtshändige, rechtwinklige Koordinatensystem $\vec{E}_0$, $\vec{B}_0$ und $\vec{k}$. (Klein und Furtak 1988: S. 38)

Die Energiedichte U von elektrischen und magnetischen Feldern im Vakuum ist nach der elektromagnetischen Theorie gegeben durch

$$U = \frac{1}{2} \left(\varepsilon_0 \vec{E}^2 + \frac{1}{\mu_0} \vec{B}^2 \right) \quad (1.25)$$

und mit $\vec{B}^2 = \varepsilon_0 \mu_0 \vec{E}^2$ gilt

$$U = \varepsilon_0 \vec{E}^2. \quad (1.26)$$

(vgl. Klein und Furtak 1988: 38f)

1.3.3 Polarisation

Wie wir oben gesehen haben, ist die elektromagnetische Welle transversal zur Ausbreitungsrichtung polarisiert. „Willkürlich definiert man die Richtung des elektrischen Feldes als ‚Polarisationsrichtung‘. Die Transversalwelle heißt ‚linear polarisiert‘ wenn ihre Erregung [...] in nur einer Richtung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingt. [...] Eine Welle heißt ‚zirkular polarisiert‘, wenn die Erregung [...] an jeder Stelle im Laufe der Zeit auf einer Kreisbahn läuft; die Kreisbahn steht senkrecht auf der Ausbreitungsrichtung. [...] Natürliches Licht ist unpolarisiert. Jedes Atom einer Lichtquelle strahlt zwar in einem einzelnen Emissionsakt einen linear polarisierten Wellenzug ab, aber zwischen den Polarisationsrichtungen verschiedener Wellenzüge besteht keine Beziehung; alle Polarisationsrichtungen treten mit gleicher Wahrscheinlichkeit auf.“ (Kuypers 2012: S. 309)

1.3.4 Interferenz

Die Überlagerung der Felder kohärenter Quellen führt zu diversen Wellenerscheinungen. „Jede Abweichung von der Additivität der Intensitäten bei Überlagerung mehrerer Wellen wird als Interferenz bezeichnet.“ (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 421). In der Folge wollen wir uns auf zwei Quellen beschränken.

Zweistrahlinterferenz

Meist verwendet man eine Quelle und einen Doppelspalt, um die beiden kohärenten Felder zu erzeugen. Dabei treten zwar immer auch Beugungseffekte auf, diese wollen wir aber für die Interferenzbetrachtung zunächst vernachlässigen. „Durchlaufen diese Strahlen verschiedenen Wege mit verschiedenen optischen Weglängen, so ergibt sich am Punkt der Wiedervereinigung eine Phasendifferenz der Felder. Diese Phasendifferenz ist für monochromatische Lichtquellen zeitunabhängig.“ (Klein und Furtak 1988: S. 206). Die Energiedichte über die Zeit gemittelt, ist nach 1.26

$$\langle U \rangle = \varepsilon \langle \vec{E}^2 \rangle \quad (1.27)$$

Da das elektrische Feld nach dem Spalt die Summe der beiden Teilfelder $\vec{E}_1$ und $\vec{E}_2$ ist, gilt für die Intensität (proportional zur Energiedichte) nach dem Spalt

$$\langle U \rangle = \varepsilon \langle (\vec{E}_1 + \vec{E}_2)^2 \rangle \quad (1.28)$$

$$\langle U \rangle = \varepsilon \langle \vec{E}_1^2 + \vec{E}_2^2 + 2\vec{E}_1 \vec{E}_2 \rangle \quad (1.29)$$

$$\langle U \rangle = \langle U_1 \rangle + \langle U_2 \rangle + 2\varepsilon \langle \vec{E}_1 \vec{E}_2 \rangle \quad (1.30)$$

Die gemittelte Energiedichte nach dem Spalt $\langle U \rangle$ setzt sich also aus der gemittelten Energiedichte der beiden Teilstrahlen $\langle U_1 \rangle + \langle U_2 \rangle$ und einem weiteren Term $2\varepsilon \langle \vec{E}_1 \vec{E}_2 \rangle$ zusammen. Dieser Term wird als Interferenzterm bezeichnet. Geeignete Lösungen dieser Gleichung 1.30, die auch noch die Wellengleichung für das E-Feld 1.22 erfüllen müssen, sind ebene Sinuswellen

$$\vec{E} = \vec{A} e^{i\Phi} \quad (1.31)$$

wobei

$$\Phi = (\omega t - kr) + \phi \quad (1.32)$$

ist. Die Phase ϕ ist eine Eigenschaft der Quelle und es gelten die bekannten Beziehungen zwischen der Frequenz ν , Winkelfrequenz ω , Wellenzahl k , Wellenlänge λ , Periode T , Ort r und Phasengeschwindigkeit v

$$\omega = 2\pi\nu, \quad T = \frac{1}{\nu}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad v = \nu\lambda. \quad (1.33)$$

In einem nicht absorbierenden Medium mit Brechungsindex n gilt weiter für die Phasengeschwindigkeit $v = \frac{c}{n}$. (vgl. Klein und Furtak 1988: 206f). Verwenden wir diese Lösungen für die Teilstrahlen als

$$\vec{E} = \vec{A}_1 e^{i\Phi_1}, \quad \vec{E}_2 = \vec{A}_2 e^{i\Phi_2} \quad (1.34)$$

Das Gesamtfeld am Ort r ist also eine komplexe Vektoraddition der beiden Einzelvektoren

$$\vec{E} = \vec{A} e^{i\Phi} = \vec{A}_1 e^{i\Phi_1}, \quad \vec{E}_2 = \vec{A}_2 e^{i\Phi_2} \quad (1.35)$$

mit der Phasendifferenz $\delta = \phi_2 - \phi_1$. Die resultierende Amplitude ist

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos \delta} \quad (1.36)$$

mit der Phase

$$\cos \Phi = \frac{A_1}{A} \cos \phi_1 + \frac{A_2}{A} \cos \phi_2. \quad (1.37)$$

(vgl. Klein und Furtak 1988: 208f)

1.3.5 Beugung

„Im Rahmen des Wellenmodells kann die Ausbreitung von Licht im Allgemeinen beschrieben werden als Ausbreitung mehrere interferierender Lichtquellen in einem gewissen räumlichen Bereich. Aufgrund des Huygens-Fresnel'schen Prinzips [...] treten ja insbesondere zu einer Primärwelle zusätzlich auch kugelförmige Sekundärwellen auf. Räumliche Begrenzungen des betrachteten Lichtwellenfeldes durch absorbierende oder reflektierende Medien können bewirken, dass einige der interferierenden Wellen unterdrückt werden. Damit ergibt sich eine unvollständige Interferenz und eine daraus resultierende teilweise Ablenkung des Lichtes, die zu Abweichungen von der Vorhersage der Strahlenoptik führt. Dieser Vorgang wird als Beugung des Lichtes bezeichnet.“ (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 434)

Fraunhofersche Beugung am einfachen Spalt

Die folgenden Berechnungen sind (Wagner, Reischl und Steiner 2012: 434ff) entnommen. Fraunhofersche Beugung liegt vor, wenn Lichtquelle und Beobachter weit genug entfernt sind, sodass nur ebene Wellenzüge beobachtet werden.

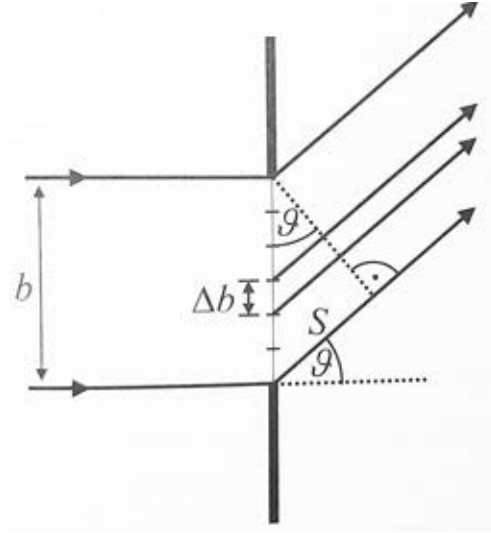


Abbildung 1.2: Gangunterschied bei einem einfachen Spalt. Quelle: (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 435)

In Abbildung 1.2 ist b die Breite des Spaltes, $\Delta b = \frac{b}{p}$ der Abstand von gleichförmig verteilten p Lichtquellen, die Ausgangspunkt von Sekundärwellen einer einfallenden ebenen Welle mit Wellenlänge λ sind. Ein Beobachter unter dem Winkel θ ermittelt einen Gangunterschied des ersten und letzten Strahles S als $S = b \cdot \sin(\theta)$. Die p Wellenzüge weisen daher relativ zueinander einen Gangunterschied $s = \frac{S}{p} = \Delta b \cdot \sin(\theta)$ auf. Es liegt somit Vielstrahlinterferenz von $p = \frac{b}{\Delta b}$ Wellenzügen vor. Mit der Gleichung für die Intensität

$$I = I_0 \frac{\sin^2(p \frac{2\pi s}{\lambda})}{\sin^2(\frac{2\pi s}{\lambda})} \quad (1.38)$$

$$\Rightarrow I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2(\pi \frac{b}{\lambda} \sin(\theta))}{(\pi \frac{b}{\lambda} \sin(\theta))^2} \quad (1.39)$$

für große Entfernungen mit $\Delta b < \lambda$ und $s < \lambda$ und einem Grenzübergang für $p \rightarrow \infty$.

Aus Gleichung 1.38 erkennt man folgende Eigenschaften:

- Das Hauptmaximum liegt bei $\theta = 0$.
- Die Minima liegen bei $\sin(\theta) = k \frac{\lambda}{b}$, $k \in \mathbb{N}$. Der Gangunterschied der beiden Randstrahlen beträgt $S = b \sin(\theta) = k\lambda$ und wir können das gesamte vom Spalt ausgehende Wellenbündel in $2k$ Teilbündel zerlegen, die miteinander destruktiv interferieren.
- Die Nebenmaxima liegen bei $\sin(\theta) = \frac{2k+1}{2} \frac{\lambda}{b}$, $k \in \mathbb{N}$. Der Gangunterschied der beiden Randstrahlen ist $S = b \sin(\theta) = \frac{2k+1}{2} \lambda$ und wir

können das gesamte vom Spalt ausgehende Wellenbündel in $2k + 1$ Teilbündel zerlegen, von denen $2k$ miteinander destruktiv interferieren.

Aus Gleichung 1.38 folgt für das Verhältnis von Spaltbreite b zu Wellenlänge λ :

- $b \ll \lambda$: Die Beugungsintensität ist praktisch konstant und unabhängig von θ .
- $b \leq \lambda$: Die Beugungsintensität zeigt keine Nullstellen.
- $b > \lambda$: Es treten Maxima und Minima auf.
- $b \gg \lambda$: Die Halbwertsbreite $(\sin(\theta)_{\frac{1}{2}})$ des Hauptmaximums ist wegen der Position der benachbarten Nullstellen $\sin(\theta)_{\frac{1}{2}} = \frac{\sin(\theta)_o - \sin(\theta)_u}{2} = \frac{\frac{\lambda}{b} - (-\frac{\lambda}{b})}{2} = \frac{\lambda}{b}$ sehr gering.

Fraunhofersche Beugung und Interferenz am Doppelspalt

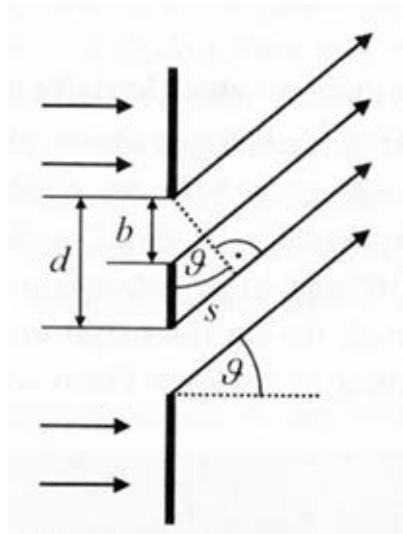


Abbildung 1.3: Beugung und Interferenz am Doppelspalt. Quelle: (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 440)

Die folgenden Berechnungen sind (Wagner, Reischl und Steiner 2012: 440ff) entnommen. Für einen Doppelspalt mit Spaltbreite b und Spaltabstand d ergibt sich für die Intensität des Wellenfeldes

$$I(\theta) = 4I_0 \frac{\sin^2(\pi \frac{b}{\lambda} \sin(\theta))}{(\pi \frac{b}{\lambda} \sin(\theta))^2} \cos^2(\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\theta)). \quad (1.40)$$

In Gleichung 1.40 beschreibt der erste Faktor die Beugung am Einzelspalt und der zweite Faktor die Interferenz der von den beiden Spalten ausgehenden Strahlenbündel. Es ergeben sich daher für die Interferenz folgende Eigenschaften:

- Intensitätsmaxima sind bei $\sin(\theta) = k \frac{\lambda}{d}$, $k \in \mathbb{N}_0$. Der Gangunterschied s für konstruktive Interferenz ist $s = d \sin(\theta) = k\lambda$.
- Intensitätsminima sind bei $\sin(\theta) = \frac{2k+1}{2} \frac{\lambda}{d}$, $k \in \mathbb{N}_0$. Der Gangunterschied s für destruktive Interferenz ist daher $s = d \sin(\theta) = \frac{2k+1}{2} \lambda$.

1.4 Didaktische Reduktion

Didaktische Reduktion oder Elementarisierung bedeutet: „Schwierige Begriffe und komplexe Geräte müssen zunächst elementarisiert, das heißt so vereinfacht, so zerlegt werden, dass sie von einer bestimmten Adressatengruppe gelernt werden können. Dabei darf der physikalische Sinn eines Begriffs nicht verfälscht, die Funktionsweise eines Gerätes nicht auf falsche physikalische Grundlagen bezogen und nicht trivialisiert werden.“ (Kircher, Girwidz und Häußler 2010: S. 132). Da die Mathematikkenntnisse, die für die Betrachtungen im Kapitel 1.3 notwendig sind, im Allgemeinen in der siebenten und achten Schulstufe noch nicht vorhanden sind, sollte man die Phänomene der Wellenoptik in diesem Sinne auf ein schulgerechtes Niveau bringen. Die entscheidenden Faktoren sollen hierbei die Kohärenz und der Gangunterschied sein.

1.4.1 Kohärenz

Zwei harmonisch schwingende Wellen sind kohärent, wenn sie wie in Abbildung 1.4 in einer festen Phasenbeziehung stehen (vgl. Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 436). Für Interferenzerscheinungen muss Kohärenz der Wellen vorliegen.

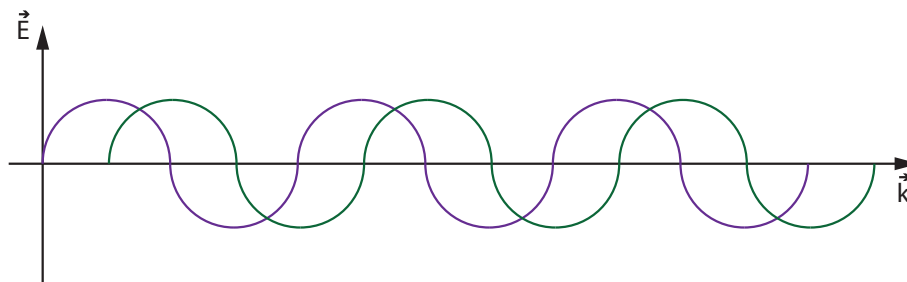


Abbildung 1.4: Zwei Wellen gleicher Frequenz in kohärenter Phasenbeziehung.

1.4.2 Phasenverschiebung und Gangunterschied

Besteht zwischen zwei kohärenten Wellen eine Phasenverschiebung, so kommt es zu Interferenzerscheinungen. Konstruktive Interferenz entsteht, wenn Wellenberge auf Wellenberge treffen wie in Abbildung 1.5, wo eine Phasenverschiebung um den Winkel 2π , also einem Gangunterschied Δs von einer Wellenlänge, vorliegt. Destruktive Interferenz entsteht, wenn Wellenberge auf Wellentäler treffen wie in Abbildung 1.6, wo eine Phasenverschiebung um den Winkel π , also einem Gangunterschied Δs von einer halben Wellenlänge, vorliegt. Natürlich sind auch Zwischenformen möglich wie in Abbildung 1.7.

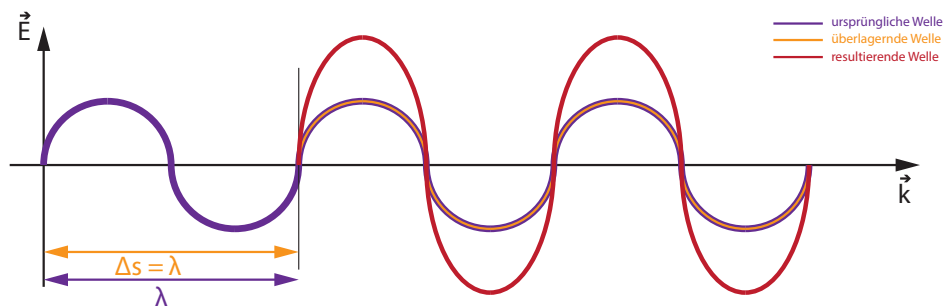


Abbildung 1.5: Überlagerung zweier Wellen gleicher Frequenz mit einem Gangunterschied von einer Wellenlänge ($\Delta s = \lambda$).

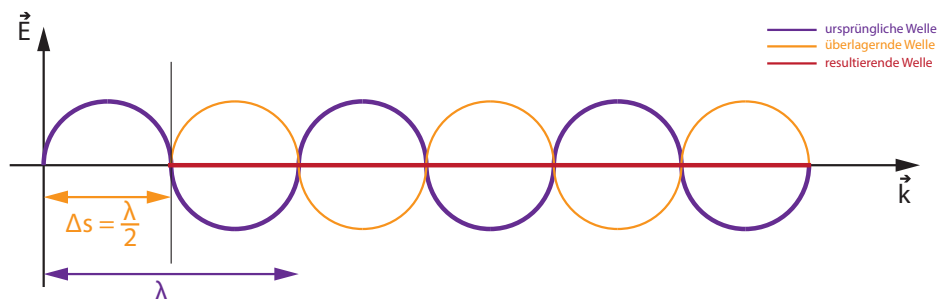


Abbildung 1.6: Überlagerung zweier Wellen gleicher Frequenz mit einem Gangunterschied von einer halben Wellenlänge ($\Delta s = \frac{\lambda}{2}$).

wo eine Phasenverschiebung um den Winkel φ , also einem Gangunterschied Δs von einer halben Wellenlänge, vorliegt.

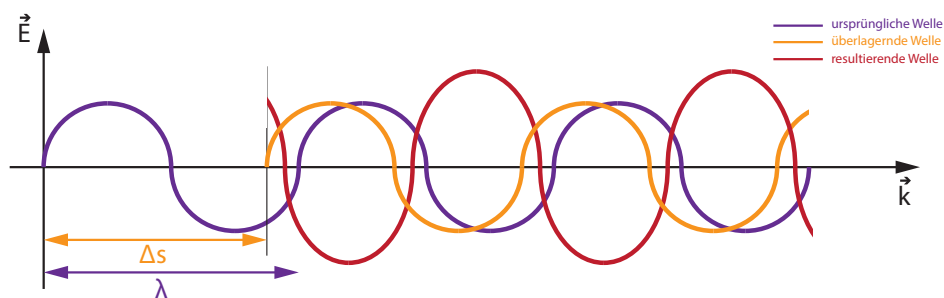


Abbildung 1.7: Überlagerung zweier Wellen gleicher Frequenz mit einem beliebigen Gangunterschied Δs .

Gangunterschied beim Doppelspaltexperiment

Der Gangunterschied Δs kann durch unterschiedliche Weglängen in der Apparatur entstehen. Beim Doppelspaltexperiment werden die kohärenten

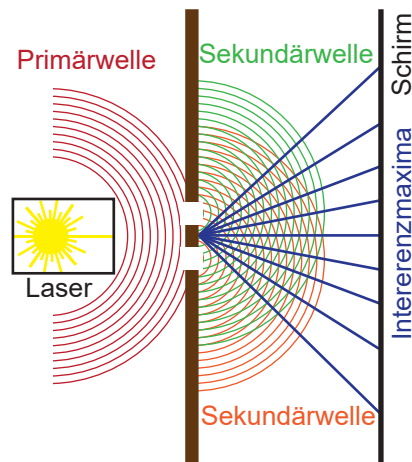


Abbildung 1.8: Wellenverlauf beim Doppelspaltexperiment. Der Laser erzeugt eine Primärwelle. Durch die zwei Spalten werden zwei Sekundärwellen erzeugt, welche kohärent sind. Durch die unterschiedlichen Weglängen entsteht ein Gangunterschied und daher erscheint am Schirm ein Interferenzmuster. Die blauen Striche deuten die Ausbreitungsrichtung der Interferenzmaxima an.

Wellen dadurch erzeugt, dass die ursprüngliche Wellenfront (Primärwelle) durch die beiden Spalten in zwei „Teilwellen“ (Sekundärwellen) aufgespalten wird. Man kann nun diese beiden Spalten als Ursprung jeweils einer neuen Kugelwelle ansehen (siehe Abbildung 1.8).

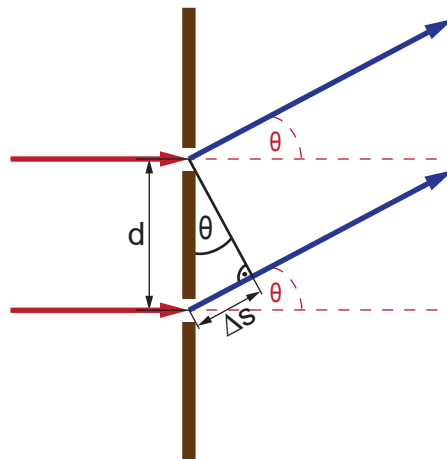


Abbildung 1.9: In dem rechtwinkligen Dreieck ist der Gangunterschied Δs die Gegenkathete zum Winkel θ . Mit der Hypotenuse d folgt daher $\Delta s = d \sin(\theta)$.

Diese beiden Kugelwellen sind kohärent und der Gangunterschied Δs ergibt sich wie in Abbildung 1.9 aus dem längeren Weg der, in der Abbildung, unteren Kugelwelle. In dem rechtwinkligen Dreieck ist der Gangunterschied Δs die Gegenkathete zum Winkel θ . Mit der Hypotenuse d folgt daher

$\Delta s = d \sin(\theta)$. Für konstruktive Interferenz unter dem Winkel θ muss daher der Gangunterschied Δs ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge sein: $\Delta s = d \sin(\theta) = k\lambda, k \in \mathbb{N}_0$.

Für die Interferenzmaxima gilt also $d \sin(\theta) = k\lambda, k \in \mathbb{N}_0$. Das erste Interferenzmaximum tritt daher am Schirm um einen Winkel $\theta = \arcsin\left(\frac{\lambda}{d}\right)$ auf.

Die Interferenzminima treten bei $\sin(\theta) = \frac{2k+1}{2} \frac{\lambda}{d}, k \in \mathbb{N}_0$ auf. Das erste Minimum unter dem Winkel $\theta = \arcsin\left(\frac{1}{2} \frac{\lambda}{d}\right)$.

Aus diesen Zusammenhängen erkennt man auch, dass wegen der Abhängigkeit $\frac{\lambda}{d}$ Interferenz am Doppelspalt nur bei Spaltabständen in der Größenordnung der Wellenlänge beobachtbar ist.

Gangunterschied beim Beugungsexperiment

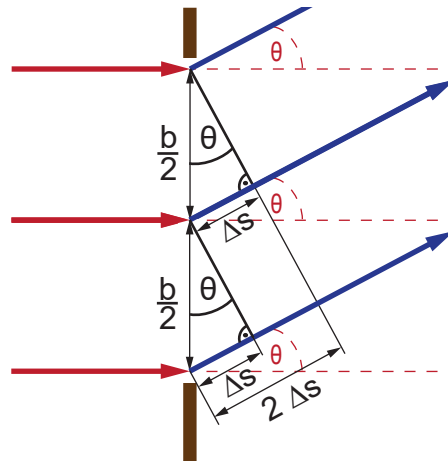


Abbildung 1.10: In dem rechtwinkligen Dreieck über den ganzen Spalt ist der Gangunterschied $2\Delta s$ zwischen den beiden Randstrahlen die Gegenkathete zum Winkel θ . Mit der Hypotenuse $2\frac{b}{2}$ folgt daher $2\Delta s = b \sin(\theta)$.

Bei der Beugung am einfachen Spalt wird nach dem Huygensschen Prinzip das Innere des Spalts als eine Quelle unendlich vieler neuer Kugelwellen angesehen. Wir betrachten nun die obere Hälfte des Spalts in Abbildung 1.10. Dort gilt für die beiden begrenzenden Kugelwellen ein Gangunterschied von $\Delta s = \frac{b}{2} \sin \theta$. Ist der Gangunterschied zwischen diesen beiden Wellen gleich $\frac{\lambda}{2}$, so liegt destruktive Interferenz vor. Für den gesamten Spalt gilt dann aber, dass der Gesamtgangunterschied der begrenzenden Kugelwellen gleich $2\Delta s$ ist. Der Gesamtgangunterschied ($2\Delta s$) ist also eine ganzen Wellenlänge λ . Es liegt konstruktive Interferenz vor. Man kann dies so interpretieren, dass zu jeder Kugelwelle in der oberen Hälfte eine passende Kugelwelle in der unteren Hälfte vorliegt, die mit dieser destruktiv interferiert. Der Gesamtgangunterschied $2\Delta s$ zwischen den beiden begrenzenden Kugelwellen des ganzen Spalts mit Spaltbreite b unter dem Winkel θ ist gegeben durch

$2\Delta s = b \sin \theta$ (siehe Abbildung 1.10). Für destruktive Interferenz ergibt sich daher $\frac{b}{2} \sin(\theta) = k \frac{\lambda}{2}, k \in \mathbb{N}_0$.

Für die Beugungsminima gilt daher $\sin(\theta) = k \frac{\lambda}{b}, k \in \mathbb{N}_0$. Das erste Minimum tritt unter dem Winkel $\theta = \arcsin\left(\frac{\lambda}{b}\right)$ auf.

Die Beugungsmaxima sind bei $\sin(\theta) = \frac{2k+1}{2} \frac{\lambda}{b}, k \in \mathbb{N}_0$. Das erste Maximum tritt unter dem Winkel $\theta = \arcsin\left(\frac{1}{2} \frac{\lambda}{b}\right)$ auf.

Auch hier gilt aufgrund der Abhängigkeit $\frac{\lambda}{b}$ der Umstand, dass Beugungerscheinungen am einfachen Spalt nur in der Größenordnung der Wellenlänge beobachtbar sind.

Kapitel 2

Untersuchungen zum Wellenoptik-Unterricht

2.1 Lehrplanbezug

Die Wellenoptik wird im Lehrplan der österreichischen allgemein bildenden höheren Schulen (in Folge mit AHS abgekürzt) nicht explizit ausgewiesen. Jedoch sollen im Lehrplan der 7. und 8. Klasse die Schülerinnen und Schüler unter anderem die physikalische Bildungsziele

- Licht als Überträger von Energie begreifen und über den Mechanismus der Absorption und Emission die Grundzüge der modernen Atomphysik (Spektren, Energieniveaus, Heisenbergsche Unschärferelation, Modell der Atomhülle, Beugung und Interferenz von Quanten, statistische Deutung) verstehen
- mit Hilfe der Elektrodynamik Grundphänomene elektrischer und magnetischer Felder (Feldquellen, Induktionsprinzip, elektromagnetische Wellen, Licht, Polarisierung, Beugung) erklären können und ihre Bedeutung in einfachen technischen Anwendungen verstehen sowie ein sicherheitsbewusstes Handeln im Umgang mit elektrischen Anlagen entwickeln

erreichen, in denen die Wellenoptik eine zentrale Rolle spielt (vgl. BMB 10.09.2017).

2.2 Aktueller Stand der Forschung

Da die Wellenoptik - wahrscheinlich aufgrund der mathematischen Probleme - erst sehr spät im Oberstufen-Unterricht behandelt wird, gibt es kaum Literatur zu den Problemen von Schülerinnen und Schülern zu diesem

Thema. Daher wird in dieser Arbeit hauptsächlich auf Fachliteratur zu Studentinnen und Studenten sowie auf eine Analyse von Schulbuch-Literatur zurückgegriffen (vgl. Schecker u. a. 2018: S. 296).

In Schecker u. a. 2018 werden hauptsächlich allgemeine Welleneigenschaften behandelt. Wie zum Beispiel: „Wellen werden von Schülerinnen und Schülern als materielle Objekte wahrgenommen, die sich nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten verhalten wie beispielsweise geworfene Steine oder rollende Bälle. Konkret nehmen Lernende den sich ausbreitenden Wellenpuls im Seilexperiment wie die Bewegung eines Wagens auf der Fahrbahn wahr. Diese Auffassung erklärt ja z. B. die Reflexion der Wellenpulse am Seilende.“ (Schecker u. a. 2018: S. 196) und weiter „Lernende zeigen dann z. B. mit dem Finger eine Wellenlinie in der Luft. Das mathematische Objekt „Welle“ wird so zu einem quasi-realen Objekt. Verantwortlich dafür ist die Verdinglichung der elektromagnetischen Wellen durch Analogieexperimente im Unterricht, z. B. mit der Wellenwanne.“ (Schecker u. a. 2018: S. 197) und es wird empfohlen: „Im Unterricht sollte man klar herausarbeiten, dass Wellen ein mathematisches Hilfsmittel sind, um die Ausbreitung elektromagnetischer Strahlung zu beschreiben und zu berechnen, ebenso wie die Verwendung von Strahlen in der geometrischen Optik. Die Wellenwanne veranschaulicht das mathematische Objekt Welle – nicht die elektromagnetische Strahlung selbst.“ (Schecker u. a. 2018: S. 197). „Es scheint, als ob Lernende auch noch auf Hochschulebene oft davon ausgehen, dass die Beugung eine Anwendung von Brechung oder von Reflexion ist. Selbst wenn schon unterrichtet wurde, dass Beugung und Interferenz grundsätzlich andersartige Phänomene als Brechung und Reflexion sind, wird dies von Lernenden in Anwendungssituationen nicht verwendet. Es kann auch passieren, dass argumentiert wird, dass sich eine Welle biegen (oder eben „beugen“) muss, um durch einen Spalt oder ein Gitter zu kommen.“ (Schecker u. a. 2018: S. 202) ist auch als Schülerinnen- und Schülervorstellung zu erwarten.

2.2.1 Drei große Probleme

Nach dem Artikel von Ambrose (vgl. Ambrose u. a. 1999: 146ff) sind nach dem universitären Wellenoptik-Unterricht die größten Verständnisproblem in diesen Feldern aufgetreten:

1. **Falsche Verwendung von geometrischer Optik und Wellen-Optik:** Die Studentinnen und Studenten wissen nicht, wann sie den geometrischen Grenzfall anwenden können und wann die Wellenoptik zur korrekten Beschreibung verwendet werden darf.
2. **Verständnis der Anwendung der Wellenoptik:** Die Studentinnen und Studenten erkennen zwar, dass sie das Wellenmodell anwenden müssen, können dies aber nicht korrekt ausführen.

3. **Probleme mit den Konzepten der modernen Physik:** Die Studentinnen und Studenten wenden falsche Erklärungen aus der Quantenmechanik an.

Das Setting der Studie basiert auf Fragen zu Beugung und Interferenz. Dazu wurden den Studierenden verschiedene Skizzen angeboten und sie sollten beschreiben, was sie erwarten auf einem entfernten Schirm zu beobachten. Sie sollten dann erklären wie dieses Bild entsteht.

Falsche Verwendung von geometrischer Optik und Wellen-Optik

Folgende Misskonzepte wurden unter diesem Punkt zusammengefasst:

- Verwendung von Wellenoptik zur Beschreibung beim Durchgang durch einen breiten Spalt. Zum Beispiel werden alle Spalten, unabhängig von Breite und Form, als sekundäre einfache Punkt-Lichtquelle betrachtet.
- Verwendung von geometrischer Optik bei Durchgang durch einen engen Spalt. Zum Beispiel, dass Verengung des Spalts zu einer Verengung des zentralen Beugungsmaximums führt.
- Verwendung eines Hybridmodells:
 - Anwendung von geometrischer Optik für Licht durch das Zentrum des Spalts und Wellenoptik für die Ränder,
 - sowie Missverständnis der Unterschiede bei Überlagerung im Fall der geometrischen Optik und der Wellenoptik bei Zweistrahlininterferenz.

Verständnis der Anwendung der Wellenoptik

Viele Studierende erkannten, dass die Weite des Spalts einen Einfluss auf das Beugungsbild hat. Es kamen aber folgende Fehlkonzepte zum Vorschein:

- Schwarzer Schirm wenn die Breite a kleiner ist als die Wellenlänge λ : $a < \lambda$. Die Studierenden gaben an, dass das Licht nicht mehr durch den Spalt „passt“.
- Beugung nur wenn die Spaltbreite a kleiner ist als die Wellenlänge λ : $a < \lambda$. Die Studierenden verwendeten für Wellenlängen, die kleiner als die Spaltbreite sind, die Strahlenoptik als Erklärung. Erst bei Unterschreitung der Spaltbreite wurde das Wellenbild angewandt.
- Polarisation und Interferenz: Viele Studierende sahen in dem Spalt einen Polarisator und erwarteten, dass, wenn man rechtwinkelig zum Spalt polarisiertes Licht verwendet, dass kein Licht durch den Spalt gehen würde. Auch wurde von einigen Studierenden vorhergesagt, dass



Abbildung 2.1: Einige Studierende kamen zu dem Schluss, dass im Punkt A immer konstruktive Interferenz vorliegt, unabhängig vom Abstand der Quellen von einander.

bei paralleler Polarisierung zum Spalt kein Beugungsmuster auftreten würde.

Bei der Untersuchung zum Verständnis von Interferenz wurden folgende Fehlkonzepte erkannt:

- Anwendung der Weglänge und nicht des Gangunterschiedes: Einige Studierende gaben an, dass die Weglänge vom Mittelpunkt der Quelle ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist und daher muss dort ein Maximum sein.
- Anwendung der Richtung: Einige Studierende kamen zu dem Schluss, dass konstruktive Interferenz vorliegt, wenn die Punkte in der selben Richtung wie in Abbildung 2.1 von der Quelle liegen.
- Bei sehr großen Entfernungen wird der Weglängenunterschied vernachlässigbar: Die Studierenden gaben an, dass für große Entfernungen die beiden Quellen als eine einzige Quelle betrachtet werden können und deshalb nur konstruktive Interferenz vorliegen kann.

Probleme mit den Konzepten der modernen Physik

Bei Studierenden die einen Kurs zur modernen Physik absolviert haben, wurden noch weitere Probleme im Verständnis von Beugung und Interferenz festgestellt:

- Studierende betrachten Licht fast ausschließlich als Teilchenphänomen (Photonen):
 - Photonen bewegen sich entlang gerader Bahnen und werden an den Rändern des Spalts abgelenkt,
 - Photonen bewegen sich auf einer sinusförmigen Bahn,
 - es sind mehr als ein Photon notwendig um ein Beugungs- oder Interferenzbild zu erhalten.
- Verständnis der De-Broglie-Wellenlänge:
 - Die Fehlvorstellung der sinusförmigen Bewegung der Photonen wurde auf Elektronen übertragen,

- Die De-Broglie-Wellenlänge wird als Teilcheneigenschaft unabhängig vom Impuls (der Geschwindigkeit) aufgefasst und daher wurde von diesen Studierenden geschlossen, dass die Geschwindigkeit keinen Einfluss auf das Beugungs- oder Interferenzbild hat.

In einem neueren Artikel von Mešic, Vanes; Hajder, Erna; Neumann, Knut; Erceg, Nataša identifizierten die Autoren aus der Literatur dieselben Probleme nach dem Wellenoptik-Unterricht wie oben. Bei einer Studie an 85 Schülerinnen und Schülern in einer Oberstufe in Bosnien-Herzegowina versuchten sie drei verschiedene Unterrichtsmethoden zum Wellenoptik-Unterricht:

- einen Standardunterricht bei dem die Wellen als sinusförmige Kurven dargestellt werden.
- Elektrische Feldvektoren als Darstellung für die Wellen.
- Phasoren als Darstellung für die Wellen.

(vgl. Mešic u. a. 2016: S. 1-2)

Die Studienautorinnen und -autoren fassten ihre allgemeinen Erkenntnisse folgendermaßen zusammen: die Wahl der Art der Darstellungen von Wellen hat großen Einfluss auf das Verständnis der Wellenoptik-Phänomene, muss aber auf die individuellen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler abgestimmt werden. In einem Grundlagenkurs können trotzdem sinnstiftend wichtige physikalische Konzepte erarbeitet werden. Die individuellen Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern werden durch die Verwendung einer Art der Darstellung von Wellen und ihre Anwendungen gebildet (vgl. Mešic u. a. 2016: S. 15). Im Speziellen fanden die Autorinnen und Autoren, dass die Anwendung von Vektordarstellungen und Phasoren gegenüber dem Standardunterricht ein besseres Verständnis über die Bildung des Interferenzbildes bringt. Die Verwendung von solchen Darstellungen während eines Experiments regt Diskussionen über grundlegende Konzepte der Wellenoptik an. Dabei brachte der Zugang mit Phasoren die besten Ergebnisse (vgl. Mešic u. a. 2016: S. 15-18).

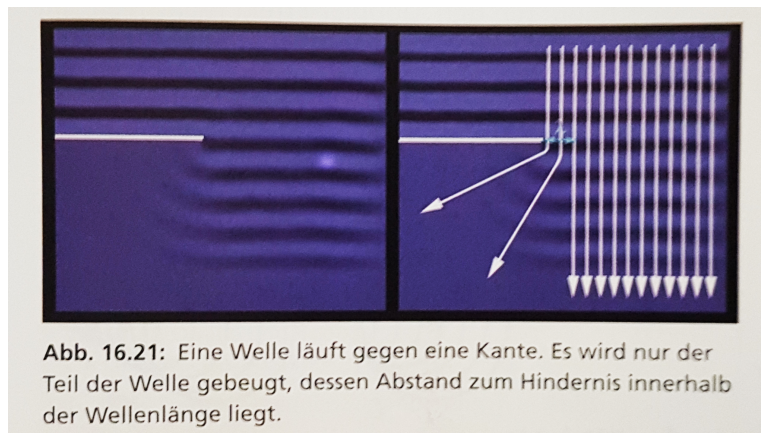


Abbildung 2.2: Erklärung der Beugung im Schulbuch (Apolin 2008: S. 65).

2.3 Schulbuchanalyse

In den untersuchten Schulbüchern in denen Wellenoptik behandelt wird, können folgende Erklärungen zu Fehlvorstellungen bei Schülerinnen und Schülern führen. Zur Polarisierung wurde in allen untersuchten Schulbüchern keine problematische Erklärung gefunden. Optische Gitter wurden gar nicht behandelt. Zur Interferenz und Beugung konnten jedoch folgende problematische Passagen gefunden werden. In den Schulbüchern von Jaros (Jaros, Nussbaumer und Nussbaumer 2012: S. 88) für die sechste Klasse und Sexl (Sexl u. a. 2012: 29ff) für die siebente Klasse wird von der Beugung am Doppelspalt gesprochen, es wird aber die Formel für die Maxima der Interferenz $d \cdot \sin(\theta) = k \cdot \lambda$, wobei d der Spaltabstand ist, angegeben. Für die Beugung am einfachen Spalt wird bei Sexl keine Formel angegeben. Es wird nur besprochen, dass es Hauptmaximum, Maxima und Minima gibt (vgl. Sexl u. a. 2012: S. 29). Bei Jaros wird die korrekte Formel für die Minima beim einfachen Spalt angegeben (vgl. Jaros, Nussbaumer und Nussbaumer 2012: S. 90). Bei beiden wird auch beim Strichgitter von Beugung und nicht von Interferenz gesprochen. Dies kann bei Schülerinnen und Schülern zu Problemen bei der Unterscheidung von Beugung am einfachen Spalt und Mehrstrahlinterferenz führen.

Im Schulbuch von Apolin (Apolin 2008: 64f) für die sechste Klasse wird unter dem Kapitel „Wellengrundlagen 2“ für die Beugung unter der Überschrift „um die Ecke sehen“ folgendes behauptet: „Unter Beugung versteht man, dass ein Teil einer Welle an einem Hindernis die Richtung ändert.“ (Apolin 2008: S. 64). Als Erklärung folgt: „Die an der Wellenfront entstehenden Elementarwellen können auch hinter ein Hindernis laufen. Der springende Punkt ist nun aber der: Es wird nur jener Teil der Welle gebeugt, dessen Abstand zum Hindernis etwa eine Wellenlänge beträgt.“ (Apolin 2008: S. 64)

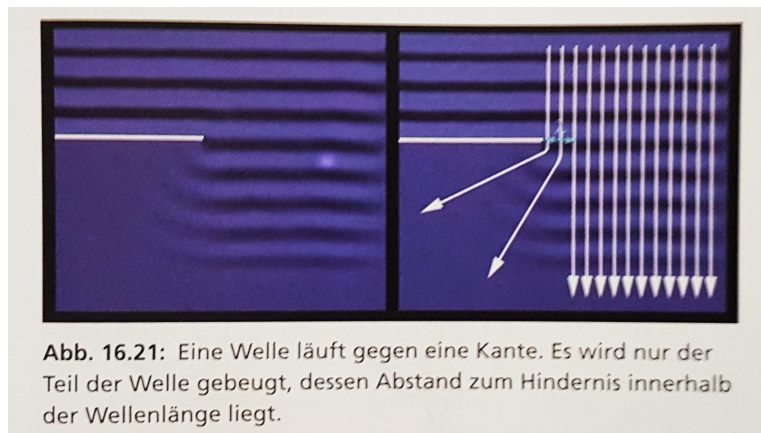


Abbildung 2.3: Erklärung der Beugung im Schulbuch (Apolin 2018: S. 54).

Zu dieser Erklärung wird Abbildung 2.2 geliefert. Die gleichen Abbildungen und Erklärungen werden auch im aktuellen Schulbuch von Apolin für die siebente Klasse wiederholt (vgl. Apolin 2018: S. 53-56). Dies wird in Schecker u. a. 2018 auch häufig als Fehlvorstellung bei Studentinnen und Studenten identifiziert: „Studierende können oft auch nach Vorlesungen über Wellenoptik keine physikalisch angemessene Deutung des Phänomens der Beugung am Einzelspalt geben. Meist argumentieren sie so, als ob der mittlere Teil des Lichtbündels unverändert durch den Spalt geht und nur die auf den Rand des Spalts treffenden Lichtstrahlen entweder abgelenkt werden.“ (Schecker u. a. 2018: S. 201). Diese Betrachtung der Beugung fördert die Fehlvorstellung, dass das Licht am Rand gebeugt wird und in der Mitte geometrische Optik vorherrscht.

2.4 Zusammenfassung

Wir können daher für Schülerinnen und Schüler nach dem Wellenoptik-Unterricht dieselben Probleme wie für Studierende erwarten. Bei der Polarisation sollten nach der Schulbuchanalyse und der Literaturuntersuchung keine größeren Probleme in der Vorstellung und der Erklärung auftreten. Für das Verständnis von Beugungs- und Interferenzphänomenen ist wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler folgende Konzepte verstanden haben: Bei der Beugung am einfachen Spalt:

- Im Fall, dass die Spaltbreite b sehr viel größer als die Wellenlänge λ ist ($b \gg \lambda$) gilt der geometrische Grenzfall (Strahlenoptik) mit dominantem Zentralmaximum mit geringer Halbwertsbreite.
- Im Fall, dass die Breite des Spalts b in der Nähe der Wellenlänge λ ist ($b > \lambda$) treten Maxima und Minima auf. Bei Verringerung der

Spaltbreite b verbreitert sich das Zentralmaximum und die Minima wandern am Schirm auseinander. Das k -te Minimum erscheint am Schirm unter dem Winkel θ , gegeben durch $b \cdot \sin(\theta) = k \cdot \lambda, k \in \mathbb{N}_0$

- Im Fall, dass die Breite des Spalts b kleiner als die Wellenlänge λ ist ($b \leq \lambda$) wird das zentrale Beugungsmaximum über den gesamten Schirm verteilt und es gibt daher keine Minima.
- Beugung ist nur von der Weglängendifferenz abhängig.

Bei der Interferenz:

- Interferenz kann nur bei nahezu kohärenten Wellen (gleiche Frequenz und fixe Phasenverschiebung) auftreten.
- Die k -te destruktive Interferenz findet an der Stelle statt, an der der Abstand der beiden Quellen d die Gleichung $d \cdot \sin(\theta) = \frac{2k+1}{2} \cdot \lambda, k \in \mathbb{N}_0$ erfüllt.
- Bei Abdeckung eines Spalts geht die Interferenz verloren und es bleibt nur mehr das Beugungsbild über (falls die Spaltbreite in der Nähe der Wellenlänge ist).
- Bei Interferenz durch den Doppelspalt ist immer auch Beugung zu beobachten.
- Interferenz ist nur von der Weglängendifferenz abhängig.

Bei der Polarisation:

- Licht breitet sich als Transversalwelle aus und kann daher polarisiert werden.
- Polarisation hat keinen Einfluss auf die Interferenz, insbesondere wirkt der Spalt nicht als Polarisator.

Kapitel 3

Methode

3.1 Qualitative Analyse

Als Analysetool wurde von Karolina Matejak an der Universität Zagreb ein halbstrukturiertes Demonstrationsinterview (siehe Anhang Interview-Leitfaden auf Seite 81) entwickelt, welches von der Betreuerin und dem Autor dieser Arbeit ins Deutsche übersetzt wurde. Es wurden vier große Teilgebiete der Wellenoptik - Polarisation des Lichtes, Interferenz am Doppelspalt, Beugung am einfachen Spalt und optische Gitter - identifiziert und zu diesen passende Fragen und Experimente ausgewählt. Für das halbstrukturierte Demonstrationsinterview wurde ein Leitfaden an Schlüsselfragen und möglichen Zusatzfragen erstellt. Im Interview wurden jeweils zuerst eine experimentelle Lernumgebung präsentiert, danach wurde nach der Erwartung der Schülerinnen und Schüler zum Ausgang des Experiments gefragt und nach der Demonstration die Beobachtungen der Schülerinnen und Schüler abgefragt. Dazu wurden jeweils Skizzen von den Schülerinnen und Schülern eingefordert und an geeigneter Stelle wurde vom Interviewer versucht, Erklärungen der Schülerinnen und Schüler zu ihren Erwartungen und Beobachtungen zu erhalten. Die Auswertung erfolgt als qualitative Inhaltsanalyse. Eine quantitative Inhaltsanalyse liegt deshalb nicht vor, da diese nach Mayring „Zahlenbegriffe und deren In-Beziehung-setzen mit mathematischen Operationen bei der Erhebung oder Auswertung“ (Mayring 2008: S. 16) beinhaltet. Die qualitative Inhaltsanalyse beruht auf drei Schritten:

1. Fragestellung, Begriffs- und Kategorienfindung, Analyseinstrumentarium.
2. Anwendung des Analyseinstrumentariums.
3. Rückbezug der Ergebnisse auf die Fragestellung.

(vgl. Mayring 2008: S. 17)

Der erste Schritt wurde von Karolina Matejak entwickelt und unter Schlüsselfragen

werden die vom Autor als am Wichtigsten erachteten Fragen behandelt. Der zweite Schritt beinhalte eine Transkription der Interviewaufnahmen von sechs Schülerinnen und Schülern aus vier Klassen und eine Exzerption der Schlüsselpassagen in einer Excel-Tabelle. Im dritten Schritt wurden diese Schlüsselpassagen zusammengefasst, verglichen und in Kapitel 4 der vorliegenden Arbeit ausgewertet. Da es sich um eine Inhaltsanalyse von nur sechs Schülerinnen und Schülern handelt, wurde nicht auf die Frequenz von Schlüsselbegriffen geachtet, sondern versucht, inhaltliche Zusammenhänge zu analysieren, um dadurch auf den Wissensstand der Schülerinnen und Schüler schließen zu können.

3.2 Interview

Drei der sechs Interviews fanden im Schulversuchspraktikum an der Universität Wien statt. Drei Interviews wurden in einem Aufenthaltsraum des BORG Hegelgasse 12 im ersten Wiener Gemeindebezirk geführt. Die Schülerinnen und Schüler wurden vor dem Interview über den Forschungsinhalt aufgeklärt: es geht nur darum, ihren Wissensstand festzustellen. Sie werden nicht beurteilt und nur anonymisiert in die Arbeit aufgenommen. Das Interview wurde für die spätere Auswertung mit einem Tonaufzeichnungsgerät aufgenommen. Nach dem Interview wurde den Schülerinnen und Schülern jeweils angeboten, die richtigen Antworten erklärt zu bekommen. Dies war aber nicht mehr Teil der Auswertung. Die Interviews dauerten zwischen 46 und 78 Minuten. Da die Wellenoptik erst sehr spät im Lehrplan der Sekundarstufe 7 auftritt war nur Schüler 5 aus einer Klasse der Sekundarstufe 7, die anderen fünf Schülerinnen und Schüler waren jeweils aus Klassen der Sekundarstufe 8.

Tabelle 3.1: Übersicht über die Schülerinnen und Schüler

	Schultyp	Klasse	Note	Dauer
Schüler 1	naturwissenschaftlicher Zweig	8	1	75 Min.
Schülerin 2	humanistischer Zweig	8	3	54 Min.
Schüler 3	humanistischer Zweig	8	3	46 Min.
Schüler 4	humanistischer Zweig	7	1	46 Min.
Schülerin 5	naturwissenschaftlicher Zweig	8	2 - 3	57 Min.
Schüler 6	naturwissenschaftlicher Zweig	8	1 - 2	78 Min.

3.3 Schlüsselfragen

3.3.1 Polarisation

Frage 1a: „Den Autofahrern wird empfohlen, Polarisationsbrillen anstatt einfacher Sonnenbrillen zu kaufen. Was sind die Vorteile von Polarisationsbrillen gegenüber einfacher Sonnenbrillen und warum werden sie den Autofahrern daher empfohlen?“

Erwartete Antwort: Einfache Sonnenbrillen schützen nur vor UV-Licht. Polarisationsbrillen können Spiegelungen auf der Fahrbahn unterdrücken.

Falls die Frage 1a von den Schülerinnen und Schülern nicht beantwortet werden kann wird das Bild 3.1 gezeigt und **Frage 1b:** „Eine Abbildung ist durch eine Polarisationsbrille, die andere durch eine einfache Sonnenbrille aufgenommen worden. Kannst du herausfinden, welche Abbildung durch welche Brille entstanden ist?“ gestellt.



Abbildung 3.1: Bei Frage 1b vorgelegtes Bild.

Erwartete Antwort: Das rechte Bild wurde durch eine polarisierte Linse aufgenommen.

Frage 1c: „Hier haben wir zwei Folien und ein Dia mit Polarisationsfolie. Wie könntest du überprüfen, welche der beiden Folien ebenfalls eine Polarisationsfolie ist?“

Erwartete Antwort: Die Schülerinnen und Schüler sollen durch Drehen der zu untersuchenden Folie gegen die Polarisationsfolie herausfinden, ob diese polarisierend ist oder nicht. Wenn die zu untersuchende Folie polarisierend ist und um 90 Grad gegen die Polarisationsebene der Polarisationsfolie gedreht wird, kann kein Licht beide Folien durchdringen und die Folien erscheinen in der Durchsicht schwarz.

Frage 1d: „Wie würdest du diese Experimente erklären (Folien und Polarisationsfolie)? Warum sehen wir kein Licht durch die Folien, wenn wir sie um 90° gegeneinander verdrehen? Wie würdest du die Polarisation des Lichtes erklären?“

Erwartete Antwort: Elektromagnetische Wellen sind Transversalwellen und können daher polarisiert werden. Eine Polarisationsfolie erzeugt linear polarisiertes Licht indem es die anderen Schwingungsrichtungen unterdrückt und

nur eine ausgewählte Schwingungsrichtung passieren lässt. Wenn die zweite Polarisationsfolie um 90° gegen die erste Polarisationsfolie verdreht ist, kann kein Licht mehr passieren.

3.3.2 Interferenz

Frage 2a: „Hier haben wir eine experimentelle Lernumgebung, die aus einem roten Laser, einem Doppelspalt und einem Schirm zusammengesetzt ist. Was erwartest du, am Schirm zu sehen, wenn wir das Laserlicht durch den Doppelspalt durchschicken? Skizziere und erkläre deine Erwartung.“

Erwartete Antwort: Es wird ein Interferenzmuster mit einem überlagerten Beugungsmuster zu sehen sein. Von Schülerinnen und Schülern wird man als Antwort nur ein „Interferenzmuster“ erwarten können.

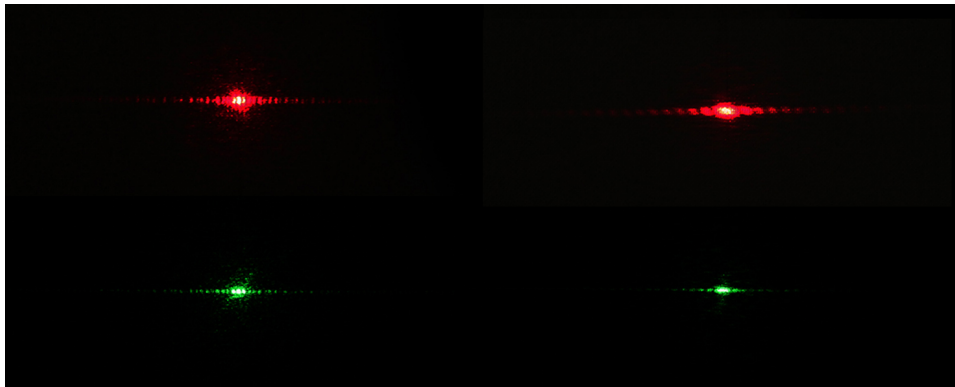


Abbildung 3.2: Die Abbildungen auf dem Schirm beim Doppelspaltversuch mit 0,25 mm Spaltabstand (links) und 1 mm Spaltabstand (rechts)

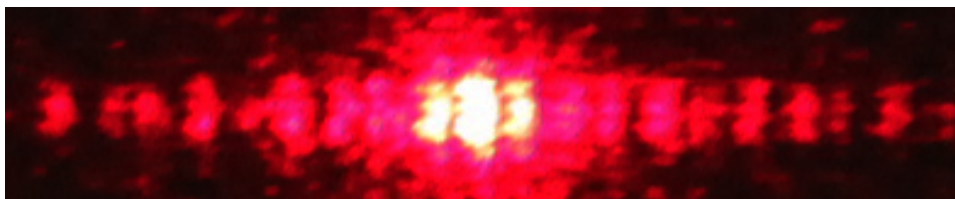


Abbildung 3.3: Vergrößerung der Abbildung des ersten Beugungsmaximums auf dem Schirm beim Doppelspaltversuch mit 0,25 mm Spaltabstand.

Frage 2c: „Wie würdest du erklären, wie die Abbildung am Schirm zustande gekommen ist?“

Erwartete Antwort: Das Interferenzmuster kommt zustande, weil durch die beiden Spalten zwei neue kohärente Quellen entstehen. Die Wellen aus diesen Quellen überlagern einander und bilden daher auf dem Schirm ein Inter-

ferenzmuster je nach Gangunterschied zum Schirm. Im Zentrum treffen die beiden Wellen immer konstruktiv aufeinander. Ist der Gangunterschied

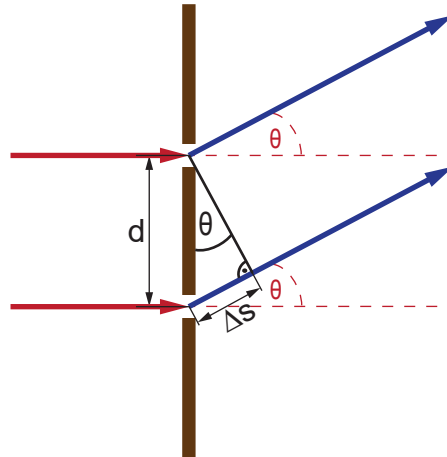


Abbildung 3.4: Skizze für die Berechnung der Interferenzminima.

$\Delta s = d \cdot \sin(\theta)$ zweier Wellen ein Vielfaches der halben Wellenlänge, so entsteht ein Minimum am Schirm (siehe Abbildung 3.4). Die Lage des ersten Interferenzminimums hängt daher vom Abstand d der beiden Spalten, dem Winkel θ und von der Wellenlänge λ ab und gehorcht bei Schirmabstand $D \gg d$ der Gleichung $d \cdot \sin(\theta) = \frac{2k+1}{2} \cdot \lambda$, $k \in \mathbb{N}_0$. Durch die Abhängigkeit des Winkels θ von $\frac{\lambda}{d}$ rücken die Interferenzminima zusammen, wenn der Spaltabstand vergrößert, oder die Wellenlänge verringert wird.

Frage 2i: „Die Abbildung zeigt zwei Wellenquellen (z.B. Wellen auf einer Wasseroberfläche), die um 2λ voneinander getrennt sind (siehe Abbildung 3.5). Wird im Punkt B ein Minimum oder ein Maximum sein?“ „Wird im Punkt A ein Minimum oder ein Maximum sein?“

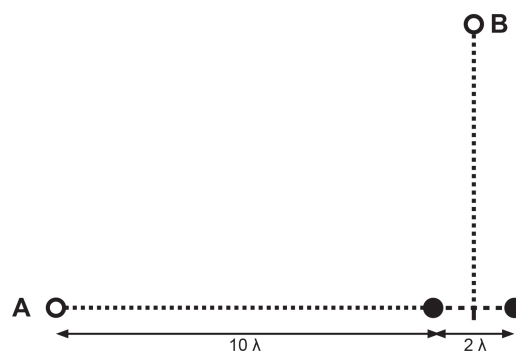


Abbildung 3.5: Zur Frage 2i.

Erwartete Antwort: Im Punkt A und Punkt B ist ein Interferenzmaximum, da jeweils der Gangunterschied ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge beträgt.

Frage 2j: „Die Abbildung zeigt zwei Wellenquellen (z.B. Wellen auf einer Wasseroberfläche), die um $\frac{3}{2}\lambda$ voneinander getrennt sind (siehe Abbildung 3.5). Wird im Punkt B ein Minimum oder ein Maximum sein?“ „Wird im Punkt A ein Minimum oder ein Maximum sein?“

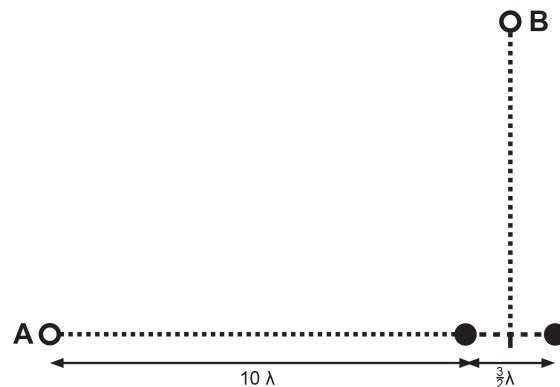


Abbildung 3.6: Zur Frage 2j.

Erwartete Antwort: Im Punkt A ist ein Minimum, da der Gangunterschied der beiden Wellen von den Quellen ein halbzahliges Vielfaches der Wellenlänge beträgt und daher hier destruktive Interferenz vorliegt. Im Punkt B liegt noch immer ein Maximum vor, da es keinen Gangunterschied zwischen den beiden Wellen gibt.

3.3.3 Beugung

Frage 3a: „Die experimentelle Lernumgebung entsteht aus einem verstellbaren Spalt, einem roten Laser und einem Schirm. Der Spalt hat am Beginn die Breite von ungefähr 2,5 mm. Was erwartest du auf dem Schirm zu sehen, wenn das rote Laserlicht auf den Spalt trifft? Skizziere deine Vermutung und erkläre deine Antwort.“

Erwartete Antwort: Einen Punkt.

Frage 3c: „Jetzt werden wir den Spalt auf ungefähr 0,3 mm schmaler machen. Wird sich die Abbildung auf dem Schirm ändern und wenn ja wie, wenn wir den Laser wieder einschalten? Skizziere und erkläre deine Vermutung.“

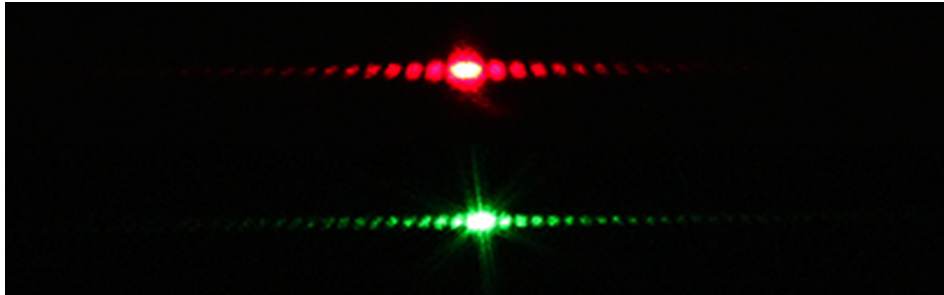


Abbildung 3.7: Die Abbildungen auf dem Schirm beim Beugungsexperiment mit Spaltbreite 0,3 mm.

Erwartete Antwort: Ein Beugungsmuster, weil jetzt die Spaltbreite in der Nähe der Wellenlänge ist.

Frage 3e: „Erkläre, warum wir Minima und Maxima auf dem Schirm sehen. Gibt es eine Regel, wann du Minima und wann du Maxima siehst? Erkläre vor allem, wann wir den ersten dunklen Bereich sehen. Erkläre anhand einer Skizze.“

Erwartete Antwort: Der Spalt dient als Quelle unendlich vieler neuer Quellen. Wenn nun die Spaltbreite b in der Nähe der Wellenlänge ist, so treten Beugungsminima bei $b \cdot \sin \theta = k \cdot \lambda$, $k \in \mathbb{N}$ auf. Wird die Spaltbreite verringert, oder die Wellenlänge vergrößert, so rücken die Minima weiter weg vom Zentrum. Ist der Gangunterschied zweier Wellen ein Vielfaches der Wellenlänge, so entsteht ein Minimum am Schirm.

Frage 3j: „Was würden wir auf dem Schirm sehen, wenn die Spaltbreite kleiner als die Wellenlänge des Lichts wäre? Erkläre deine Antwort.“

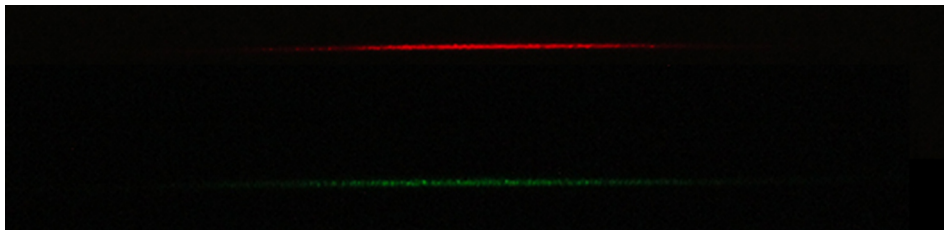


Abbildung 3.8: Die Abbildungen auf dem Schirm beim Beugungsexperiment mit Spaltbreite kleiner als die Wellenlänge.

Erwartete Antwort: Das Hauptmaximum der Beugung wird über die gesamte Schirmbreite ausgedehnt.

3.3.4 Optische Gitter

Frage 4a: „Hier haben wir zwei unterschiedliche optische Gitter. Wie würdest du erklären, was ein optisches Gitter ist? Kennst du ein Beispiel für ein optisches Gitter aus dem täglichen Leben?“

Erwartete Antwort: Ein optisches Gitter ist eine periodische Anordnung von Spalten. Beispiel für optische Gitter ist die Compact Disc (CD).

Frage 4b: „Was erwartest du auf dem Schirm zu sehen, wenn das Licht eines roten Lasers auf das Gitter mit 80 Linien/mm trifft? Skizziere und erkläre deine Erwartung.“

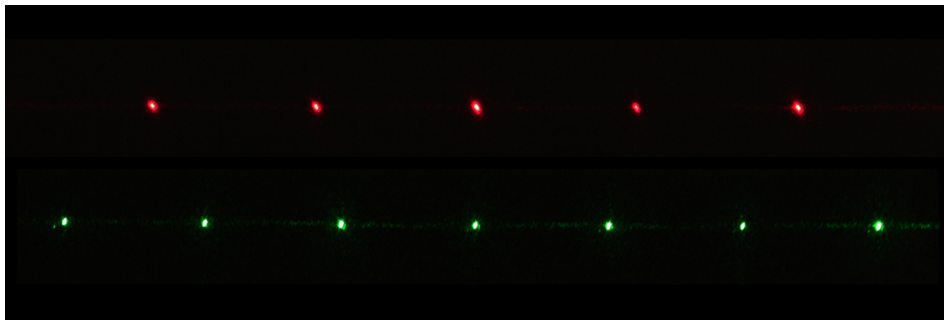


Abbildung 3.9: Die Abbildungen auf dem Schirm mit einem optischen Gitter von 80 Linien pro Millimeter.

Erwartete Antwort: Es werden mehrere Interferenzmaxima zu sehen sein.

Frage 4h: „Was erwartest du auf dem Schirm zu sehen, wenn wir jetzt das Gitter mit weißem Licht beleuchten? Erkläre und skizziere deine Erwartung.“

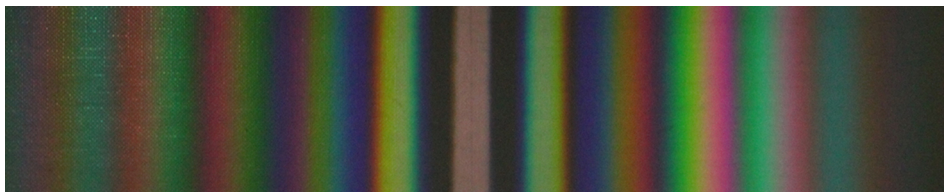


Abbildung 3.10: Die Abbildungen auf dem Schirm mit weißem Licht durch ein optisches Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.

Erwartete Antwort: Im Zentrum ein weißes Beugungsmaximum und dann eine Auftrennung der Nebenmaxima in die Spektralfarben aufgrund des Wellenlängenunterschieds.

Kapitel 4

Auswertung

Die Zitatzeilen der Schülerinnen und Schüler beziehen sich auf die jeweilige Transkription im Anhang 6.3 Die Zitate wurden zur besseren Lesbarkeit von Füllwörter wie „ähm, uhm“ und Ähnlichem bereinigt.

4.1 Polarisation

Frage 1a: „Den Autofahrern wird empfohlen, Polarisationsbrillen anstatt einfacher Sonnenbrillen zu kaufen. Was sind die Vorteile von Polarisationsbrillen gegenüber einfacher Sonnenbrillen und warum werden sie den Autofahrern daher empfohlen?“

Auf diese Frage konnte nur von zwei Schülern eine annähernd befriedigende Antwort gegeben werden. Schüler 6 antwortete: „War das nicht so, dass Polarisationsbrillen eine bestimmte Richtung der Wellenlänge [...] einfach nicht durchlassen. [...] Wie sie gelegen ist, also ob sie jetzt horizontal [...] oder waagrecht [liegen]?“ (6.3.6, Zeile 4-7) und erklärte Polarisation durch Reflexion mit, dass „eine Fahrbahn nass ist oder so, dann sieht man die Spiegelung von der Sonne zum Beispiel nicht so stark und ja das ist eben der Vorteil, dass man nicht geblendet ist von unten.“ (6.3.6, Zeile 29-31) Schüler 1 sprach von Abschwächung des Sonnenlichts und erst beim Nachfragen lieferte er die Antwort: „weil die Polarisationsfilter nur die Teile des Licht durchlassen die in eine bestimmte Orientierung haben.“ (6.3.1, Zeile 27-29) Er erkennt aber nicht die Polarisation durch Reflexion, sondern nimmt nur die Polarisation in der Brille an. Schülerin 2 (vgl. 6.3.2, Zeile 4) und Schüler 4 (vgl. 6.3.4, Zeile 7) antworteten mit UV-Licht. Schülerin 5 identifiziert zwei Arten von Licht, spricht aber in weitere Folge von verschiedenen Farben und nicht von verschiedenen Orientierungen. (vgl. 6.3.5, Zeile 5-18)

Frage 1b: „Eine Abbildung ist durch eine Polarisationsbrille, die andere durch eine einfache Sonnenbrille aufgenommen worden. Kannst du herausfinden, welche Abbildung durch welche Brille

entstanden ist?“

Alle sechs Schülerinnen und Schüler identifizierten das rechte Bild in Abbildung 3.1 als jenes mit der Polarisationsbrille aufgenommene.

Frage 1c: „Hier haben wir zwei Folien und ein Dia mit Polarisationsfolie. Wie könntest du überprüfen, welche der beiden Folien ebenfalls eine Polarisationsfolie ist?“

Die Schülerinnen und Schüler 1, 4 und 6 haben von selbst versucht, durch Drehung der Folien herauszufinden welche polarisierend ist und welche nicht. Die anderen drei konnte dies erst nach einer Hilfestellung durch den Interviewer: „versuch die Folie zu drehen.“ feststellen.

Frage 1d: „Wie würdest du diese Experimente erklären (Folien und Polarisationsfolie)? Warum sehen wir kein Licht durch die Folien, wenn wir sie um 90° gegeneinander verdrehen? Wie würdest du die Polarisation des Lichtes erklären?“

Schüler 1 sprach weiter von Abschwächung. (vgl. 6.3.1, Zeile 33-34) Schülerin 2 brachte „Magnete“ (6.3.2, Zeile 75) mit dem Effekt in Verbindung. Schüler 3 wusste zwar, dass 3D-Brillen im Kino nach diesem Prinzip funktionieren, hatte sich aber nie Gedanken über diesen Effekt gemacht. (vgl. 6.3.3, Zeile 62-83) „Polarisation bedeutet, dass die Licht in eine bestimmte Richtung eingestuft wird“ (6.3.4, Zeile 14-15) erklärte Schüler 4. Schülerin 5 blieb bei verschiedenen Arten von Licht mit: „da gibt's zwei verschiedene Arten und die haben und die einen sind irgendwie die mit den Farben und die anderen sind die Schwarzen und Weißen.“ (6.3.5, Zeile 69-71) und glaubte „das Licht wird irgendwie abgestoßen, das heißt, es kommt da quasi nicht durch. Also für unser Auge zumindestens nicht.“ (6.3.5, Zeile 85-86) Schüler 6 verwendete die Vorstellung von: „Gitterstäbe[n ...] die nur eine Richtung durchlassen [...] wie die Welle sich im Bezug auf die x-Achse bewegt, also ob sie senkrecht auf die x-Achse steht, oder waagrecht auf die x-Achse steht.“ (6.3.6, Zeile 67)

4.2 Interferenz

Frage 2a: „Hier haben wir eine experimentelle Lernumgebung, die aus einem roten Laser, einem Doppelspalt und einem Schirm zusammengesetzt ist. Was erwartest du, dass du am Schirm sehen wirst, wenn wir das Laserlicht durch den Doppelspalt durchschicken? Skizziere und erkläre deine Erwartung.“

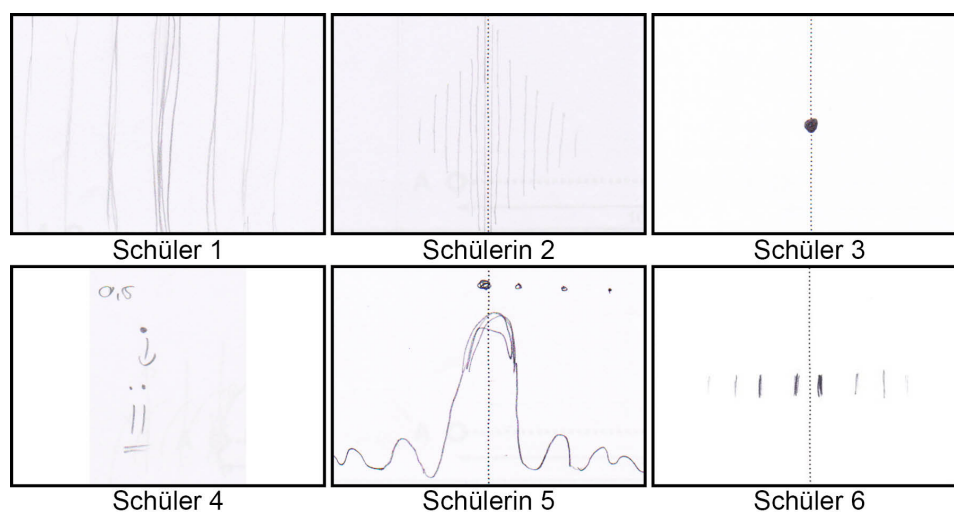


Abbildung 4.1: Erwartung der Sch黶lerinnen und Sch黶ler beim Doppelspaltexperiment mit Spaltabstand 0,25 mm.

Die Sch黶lerinnen und Sch黶ler 1, 2, 5 und 6 erwarteten wie in Abbildung 4.1 ein Interferenzmuster zu sehen. Sch黶lerin 2 erinnerte sich an den Unterricht: „Also, das Logische was jeder am Anfang denken w黵de, ist zwei Striche, aber wir haben bereits gelernt, irgendwie es werden zwei Striche sein, doch ab dem Zeitpunkt ab dem man messt kommt ein Interferenzmuster, [Interferenzmuster]“ (6.3.2, Zeile 123-125). Sch黶lerin 5 zeichnete zuerst eine Intensitätskurve (im Bild unten) und dann, nach Hinweis, dass diese so nicht auf dem Schirm zu sehen sein wird, versuchte sie es mit einem regelmäßigen Punktmuster: „die Maxima werden oben also in der Mitte [...] dann Minima wieder, keine Ahnung, hier unten und dann wieder ein Maximum. Das ist halt immer gleichmäßig, weil da nach unten und oben in den gleichen Winkel geht und dann ist es so also immer wieder gleich und es geht halt immer wieder weiter. Das sollte halt gleich sein auf den beiden Seiten“ (6.3.5, Zeile 152-161). Sch黶ler 6 erwartete: „dass in der Mitte eben kein Strahl ist, sondern nur seitlich davon, zwei die breiten, also die hellsten Strahlen“ (6.3.6, Zeile 105-106) sind. Sch黶ler 3 erwartete, dass „wieder ein Punkt“ (6.3.3, Zeile 92) erscheint und Sch黶ler 4 eine klassische Aufspaltung mit: „Da kommen

irgendwie zwei Punktchen oder zwei Linien“ (6.3.4, Zeile 91).

Frage 2b: „Was siehst du am Schirm? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Wie stimmt deine Beobachtung mit deiner Erwartung überein?“

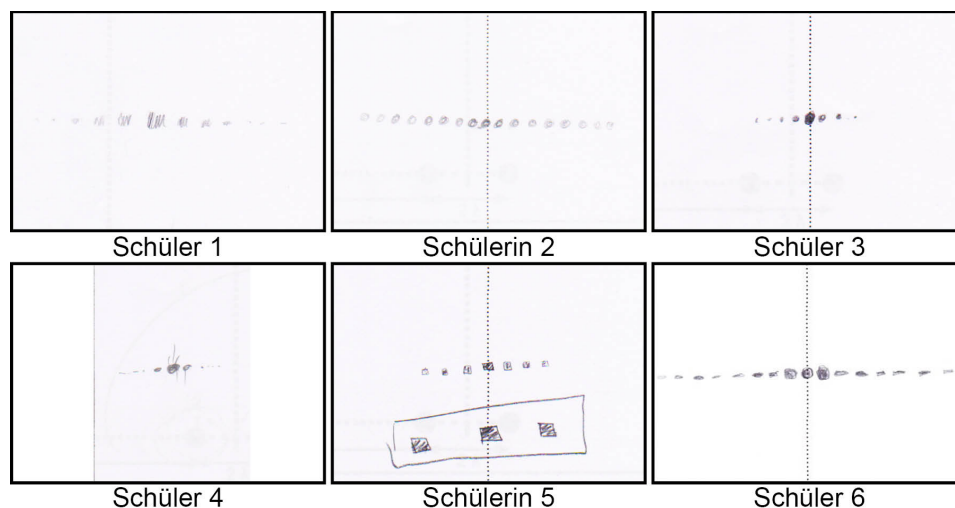


Abbildung 4.2: Beobachtung der Schülerinnen und Schüler beim Doppelspaltexperiment mit Spaltabstand 0,25 mm.

Alle Schülerinnen und Schüler nahmen nur das Beugungsmuster wahr. Schüler 1: „weil der Laser [...] ziemlich fokussiert ist und deswegen auch wenn die Spalten nach oben auch offen sind kommt das Licht nicht so weit nach oben“ (6.3.1, Zeile 119-121) und Schülerin 2: „eigentlich ist es logisch, weil der Laser ist ja nur ein Punkt“ (6.3.2, Zeile 163-164) fokussierten sich nur darauf, dass keine Striche zu sehen sind. Das Interferenzmuster im ersten Beugungsmaximum wurde erst nach Hilfestellung unter Zuhilfenahme einer Lupe erkannt und nur von Schülerin 5 in das Kästchen unten in Abbildung 4.2 als Vergrößerung eingezeichnet. Schüler 4 fiel die Bezeichnung „Interferenz“ für den Effekt nicht ein und zeigte aber ein Desktop-Bild auf seinem Mobiltelefon zur Beschreibung. Darauf waren zwei interferierende kreisförmige Oberflächenwellen zu sehen (vgl. 6.3.4, Zeile 112-119).

Frage 2c: „Wie würdest du erklären, wie die Abbildung am Schirm zustande gekommen ist?“

Schüler 1 erklärt die Beobachtung mit: „zur Seite kommt es eben wegen quantenmechanischen Effekten“ (6.3.1, Zeile 121-122). Schülerin 2 hat keine Erklärung und konnte sich auch nicht erinnern, dass dies im Unterricht behandelt wurde (vgl. 6.3.2, Zeile 177-198). Schüler 3 fragte: „ist das die

Superposition oder nicht?“ (6.3.3, Zeile 128) und ergänzte weiter: „das ist wieder mit Teilchen-Wellen-Prinzip. Irgendwas hat das mit dem zu tun, aber wie’s genau heißt, beziehungsweise was es genau ist weiß ich leider auch nicht mehr“ (6.3.3, Zeile 136-138). Schüler 6 glaubt: „das ist quantenmechanisch. Also in der Quantenmechanik, [...] dass [sich] hier ein Teilchen wie eine Welle und ein Teilchen bewegen kann. Und das Doppelspaltexperiment zeigt eben quasi, dass ich durch die Art der Beobachtung ändern kann wie sich das Teilchen verhält, dass heißt, wenn ich jetzt am Doppelspalt beobachte durch welchen, also wenn ich einzelne Teilchen nur schieß, also keinen ganzen Strahl, sondern nur Einzelteilchen nacheinander und den Doppelspalt beobachte und schau durch welche, mit einem Detektor zum Beispiel, [...] durch welchen Spalt es durchgeht, dann werde ich einfach nur zwei Striche dahinter sehen“ (6.3.6, Zeile 141-151). Auf die Anmerkung, dass dies hier nicht der Fall sei, meinte er: „Ja. Das ist eben, weil wir’s nicht [...] beobachten genau und dadurch interferiert das Licht mit sich selbst und selbst wenn wir einzelne Teilchen durchschicken würden, würd’s ein Interferenzmuster bilden weil das Teilchen quasi mit sich selbst als Welle interferiert“ (6.3.6, Zeile 153-156). Schüler 4 aus der Sekundarstufe 7 versuchte eine andere Erklärung mit: „jetzt haben wir nicht nur eine Quelle, sondern zwei Lichtquellen, weil die haben das gesteuert, so verteilt“ (6.3.4, Zeile 137-138).

Frage 2d: „Warum sehen wir Minima und Maxima? Gibt es irgendeine Regel, wann wir ein Maximum sehen werden und wann wir ein Minimum sehen werden? Skizziere und erkläre deine Antwort. Kennst du einen Namen für diese Abbildung auf dem Schirm?“

Schülerin 2 und Schüler 3 konnten keine Erklärung liefern. Schüler 1 erklärte zu seiner Skizze in Abbildung 4.3: „Also ich kann mir einfach hier vorstellen, dass [...] in der Mitte sich die meisten Wellen treffen werden, weil es die meisten Schnittpunkte zwischen den vielen verschiedenen Wellen gibt und je weiter nach außen man geht, desto weniger passieren diese Schnittpunkte und es gibt eben manche Stellen, wo [...] es eine kleinere Häufigkeit, [...] eine nicht so große Dichte an Schnittpunkten gibt“ (6.3.1, Zeile 177-183). Schüler 4 ist der Meinung, dass Maxima nur an den Stellen sind, wo sich zwei Wellen schneiden und Minima, wo nur eine Welle ist, und beschreibt dies anhand seiner Skizze in Abbildung 4.3: „mit den zwei Quellen. [...] Dann haben wir hier eine Quelle. [...] Es wird hier plötzlich zweimal [...] und] das wird ein[e]. Hier ist Maxima glaub ich. [...] Weil da eins gibt’s und zwei Wellen kommen zusammen. Und bei einem Minima wahrscheinlich nur die und keine andere“ (6.3.4, Zeile 150-159). Schülerin 5 glaubte sich an eine Winkelabhängigkeit zu erinnern und welchen Weg die Wellen nehmen: „ich glaube es ist einfach, weil es sind ja verschiedene Längen. Also es sind ja zwei Spalte. Und es ist ja ein Spalt und da geht’s durch und desto größer der Winkel, desto mehrere quasi gibt’s, die da irgendwie durchgehen [...] und] das dort, das ist ja steiler,

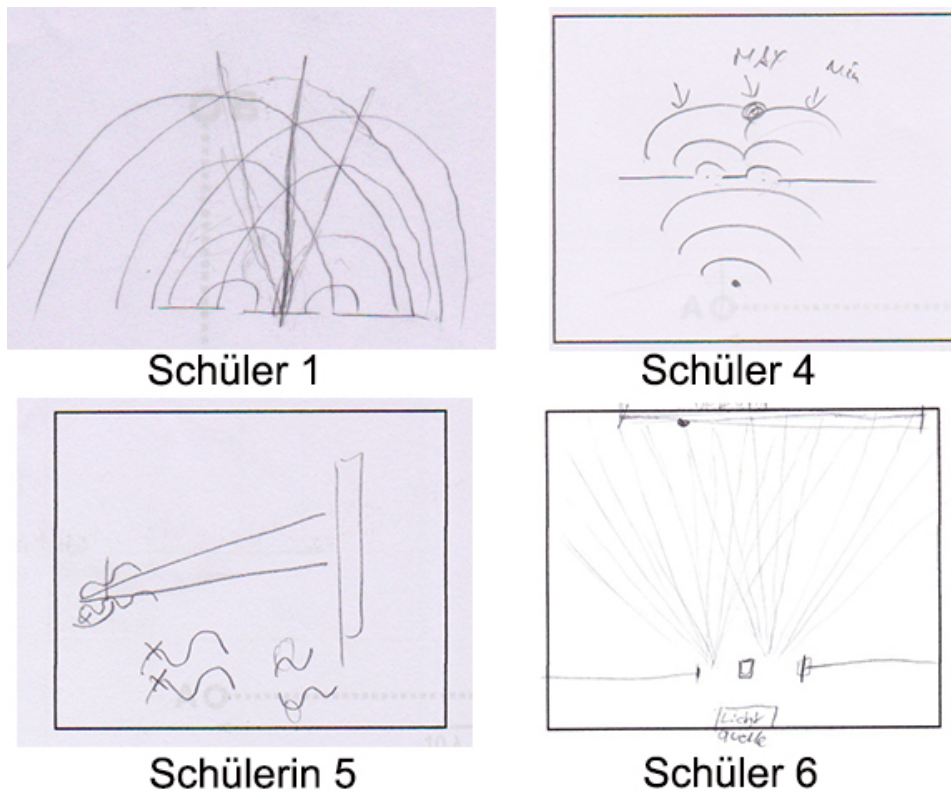


Abbildung 4.3: Skizzen zur Erklärung der Sch黶lerinnen und Sch黶ler zur Entstehung von Maxima und Minima beim Doppelspaltexperiment.

deshalb braucht es nicht so lange. Das kommt schneller an. [... D]eswegen ist es nicht gleichmäßig, wie wenn's parallel wr. [... W]ie die Wellen dann eben gehen. Das eine tut sich dann wegtun und das andere nicht.“ (6.3.5, Zeile 230-239) und: „das ist ein Maxima und das ist ein Minima und kann man eben sich glaub ich ausrechnen. Je nachdem, ich weiß nicht, vielleicht wie weit die Winkel auseinander sind oder nicht“ (6.3.5, Zeile 261-263). Sch黶ler 6 erinnerte sich an die Bedingungen der Apparatur: „na von der Distanz. [...] Von der, wie weit die Spalten auseinander sind. Das bestimmt, wie weit die Maxima auseinander liegen. Glaub ich [so] war's. Die Distanz zum Detektor und ich glaub, die Art der Strahlung macht, glaub ich, keinen Unterschied“ (6.3.6, Zeile 186-190). Diese letzte Bemerkung revidierte er dann bei der nächsten Frage.

Frage 2e: „Wir verwenden jetzt statt einem roten Laser einen gr黱en Laser? Wird sich die Abbildung auf dem Schirm ändern und wenn ja wie? Falls du keine Änderungen erwartest, erkläre warum. Falls du eine Änderung erwartest, skizziere was du erwartest und erkläre deine Antwort.“

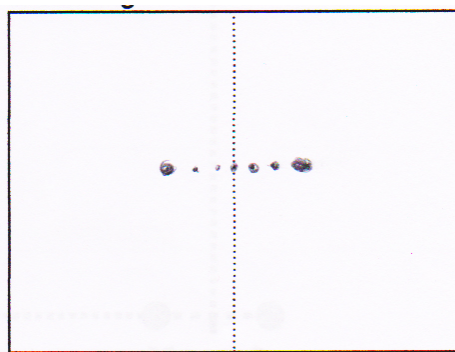


Abbildung 4.4: Erwartung des Schülers 3 beim Doppelspaltexperiment mit grünem Laser.

Vier der sechs Schülerinnen und Schüler erwarteten eine Veränderung aufgrund der Frequenzänderung. Richtigerweise liegen sie bei Schüler 6: „näher beisammen die Maxima. [...] Weil die Frequenz bei Grün kleiner als bei Rot ist“ (6.3.6, Zeile 220-222). Auch Schüler 1 kennt die richtige Abhängigkeit: „von der Wellenlänge des Lichtes, und nachdem müsste sich etwas ändern, wenn es rot und grün wäre. Das heißt bei grün wären sie näher zusammen“ (6.3.1, Zeile 211-213). Zu seiner Erwartung in Abbildung 4.4 könnte sich Schüler 3 „vorstellen, dass es vielleicht außen die großen Punkte sind und dann innen kleine“ (6.3.3, Zeile 212-213). Er beharrt aber darauf, dass die Abstände gleich wie bei dem Experiment mit dem roten Laser bleiben (vgl. 6.3.3, Zeile 219-222). Auch Schüler 4 ist die Frequenzabhängigkeit klar, jedoch nicht die Art der Änderung: „die Frequenz ist nicht dasselbe. So ich glaube es wird ein bisschen anders sein, aber ich weiß nicht wie“ (6.3.4, Zeile 197-199).

Frage 2f: „Wenn wir den Abstand zwischen den Spalten vergrößern, wird sich die Abbildung auf dem Schirm ändern und wenn ja wie? Warum?“

Schüler 1 ist der Meinung „das sich nichts ändert, weil die Wellen trotzdem an der gleichen Stelle überlappen würden“ (6.3.1, Zeile 233-234) und auch Schülerin 2 erwartete keine Veränderung in den Abständen, nahm aber eine Abschwächung der Intensität an (vgl. 6.3.2, Zeile 243-245). Schüler 3 denkt, „dass es sich weiter verteilt“ (6.3.3, Zeile 233). Schüler 4 erwartet, dass die „Pünktchen“ auch weiter auseinander sind und begründet dies mit dem nun weiteren Spaltabstand (vgl. 6.3.4, Zeile 213-219). Schülerin 5 erklärt wieder zuerst zu einem Intensitätsbild (siehe Abbildung 4.5) „es wird dann schmaler werden, generell aber halt, es wird nicht so viele Maxima und Minima geben“ (6.3.5, Zeile 386-388) und erst auf Nachfrage präzisiert sie im Vergleich zu Abbildung 4.2: „wie da, nur eben mit mehr Abstand“ (6.3.5, Zeile 397). Schüler 6 erwartete ebenfalls, dass die Maxima aufgrund des

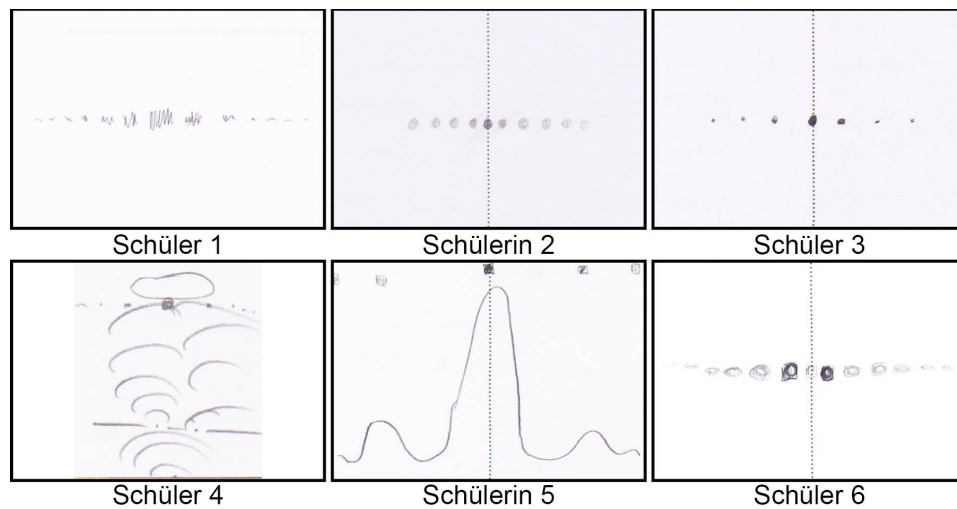


Abbildung 4.5: Erwartung der Schülerinnen und Schüler beim Doppelspaltexperiment mit Spaltabstand 1 mm.

breiteren Spaltabstandes weiter auseinander gehen (vgl. 6.3.6, Zeile 232-233), begründet dies damit, „dass [...] die beiden Strahlen [...] von den beiden Spalten nicht mehr so schnell treffen und dadurch einfach die Maxima sich verschieben“ (6.3.6, Zeile 239-242) und dass dabei das mittlere Maximum weniger intensiv sein wird (vgl. 6.3.6, Zeile 244-246).

Frage 2g: „Was kannst du auf dem Schirm beobachten? Mach eine Skizze und beschreibe deine Beobachtungen. Wie stimmt deine Beobachtung mit deiner Erwartung überein? Wie könntest du das erklären?“

Alle Schülerinnen und Schüler erkannten, dass sich das Interferenzmuster anders geändert hatte, als sie erwartet hatten. Schüler 1: „Oh ja doch, doch es hat sich geändert, dass die Maxima größer sind. [...] Nun ich hab bemerkt, dass die Maxima einfach in die Länge gezogen wurden. Also, dass die Wellen, wenn sie weiter auseinander anfangen [...] die Wahrscheinlichkeit, dass die Teilchen in diesem Teil auftreffen, dass [...] der Teil mit dem die Teilchen wahrscheinlich auftreffen werden, größer ist. [...] Jetzt gerade fällt mir nichts ein“ (6.3.1, Zeile 244-263). Schülerin 2: „Genau das Gegenteil. Man sieht sie sogar noch stärker. [...] Ja. Sind jetzt eben noch stärker und ich schätze, es schaut so aus als wenn sie, sie verschmelzen ineinander, das Interferenzmuster. [Vergrößert:] Ja. Also es sind jetzt nicht drei Punkte, sondern es ist ein großer Punkt“ (6.3.2, Zeile 251-258). Schüler 3: „ich glaube schon, dass es sich breiter verteilt. [...] Aber dass in der Mitte der Punkt sich eben in die Länge zieht. Ja das ist schon. Also, es sind keine Punkte mehr, sondern Striche. [...] Ja, also man sieht auf der Seite durch die Lupe, sieht man auf der Seite fast

nichts mehr und nur mehr diesen Punkt eben in der Mitte. Aber da sieht man schon, dass es auf jeden . ich glaub', dass es schwächer ist als beim ersten" (6.3.3, Zeile 241-254). Schüler 4: „Ähm das ist, es gibt . . bei den Maxima eine große Fläche jetzt, nicht mehr diese drei Kleine mit den Abstand, sondern ein Große" (6.3.4, Zeile 226-227) und nach Vergrößerung mit der Lupe: „Striche. Dunkle. [...] Ja, viele Striche. Mehr als früher" (6.3.4, Zeile 234-236) wobei er als Erklärung meinte: „Ja, weiter auseinander, deswegen ist diese Interferenz ich glaube, mehr kompliziert. So. Bis dem Licht da erreicht, die Wand erreicht, werden nicht nur diese zwei Wellen, sondern ich glaub mehr Wellen" (6.3.4, Zeile 243-245). Schülerin 5 nach Vergrößerung mit der Lupe: „Ach so. Dann es ist es jetzt noch genauer geworden. Denn es ist genau nicht so wie ich gedacht hab, sondern eben noch viel schmaler zusammen" (6.3.5, Zeile 417-418). Schüler 6: „Es ist ja durchgehend hell, es sind keine drei mehr, sondern es sind jetzt in der breitere" (6.3.6, Zeile 266-267) und versuchte eine Erklärung mit: „Das weiß ich gerade nicht ganz. Es könnte sein, dadurch dass die Spalten jetzt breiter auseinander sind, dass sich die Strahlen gleichmäßiger hinten treffen. [...] Das die Strahlen einfach dadurch gradliniger ganz hinten treffen und dadurch ein breiteres, ein breiteres Feld einfach ergeben" (6.3.6, Zeile 270-277).

Frage 2h: „Wir wollen jetzt kurz über Wasserwellen sprechen, dasselbe gilt aber auch für Lichtquellen. Die Abbildung zeigt zwei kohärente Wellenquellen. Was bedeutet, dass die Wellenquellen kohärent sind und warum ist das wichtig für die Interferenz?“

Nur Schüler 1 sprach ganz korrekt von einer Phasenbeziehung: „Dass sie mit derselben, also dass sie gleich anfangen, dass es keine Phasenverschiebung zwischen den Wellen gibt" (6.3.1, Zeile 270-271). Schülerin 2: „Dass sie die gleiche Wellenlänge haben. [...] Dass sie gleich frequent sind. Schätz ich, und nur dann können sie, nur dann beeinflussen sie einander" (6.3.2, Zeile 273-278). Schüler 3: „Also gehört hab ich's schon. Ich kann mich erinnern, dass ich's schon mal gehört hab', aber was jetzt genau, wie gesagt die Definition? Weiß ich nicht, beziehungsweise was es bedeutet. Vielleicht die Wellenlänge, aber ich weiß es nicht. Also ich könnt jetzt nicht zu, nicht mal zu 50 Prozent, sagen, was das ist. [...] Die müssen gleich weit vom Ursprung weg vielleicht? [...] Also ich hab wirklich keine Ahnung" (6.3.3, Zeile 300-311). Schüler 4: „Kohärent bedeutet, dass die genaue Eigenschaften haben. Dass die zusammenspielen und dasselbe, so die Wellen haben dasselbe Frequenz" (6.3.4, Zeile 262-264). Schülerin 5: „Also ich glaube, wenn sie gleich sind, dann können sie quasi zusammenfließen. Wenn das jetzt wirklich Wellen verwenden. Und wenn sie verschieden sind dann würden sie ja nicht zusammen, also dann hätten sie ja nicht in eine Welle weiterfließen, quasi. So hätte ich das verstanden" (6.3.5, Zeile 520-523). Schüler 6 hatte schon bei der Erklärung, wie Maxima und Minima entstehen (Frage 2c) nach Nach-

fragen als zweite Möglichkeit neben quantenmechanischen Effekten gemeint: „oder ich schau, ob sich da grad Wellen treffen beim Detektor. [...] Also, ob sich zwei Wellenhochs, sagt man Wellenhochs? treffen. [Wellenberge] Zwei Wellenberge treffen dort. Dann schaukeln sie sich gegenseitig nochmal höher auf und dadurch wird die Welle auch kraftvoller und dadurch kann man auch beobachten, dass es ein Maximum ist. [Bedingung dafür?] Dass die Wellen die gleiche Schwingung, dass sie die gleiche Periode zur gleichen Zeit haben“ (6.3.6, Zeile 196-206). An dieser Stelle meinte er nur mehr beziehungsweise auf das vorhin Gesagte: „Dass sie gleich schwingen“ (6.3.6, Zeile 283).

Frage 2i: „Die Abbildung zeigt zwei Wellenquellen (z.B. Wellen auf einer Wasseroberfläche), die um 2λ voneinander getrennt sind. (siehe Abbildung 3.5) Wird im Punkt B ein Minimum oder ein Maximum sein?“

Drei der Schülerinnen und Schüler meinen, dass ein Maximum an der Stelle B ist. Schüler 1: „weil der Punkt B von beiden Punkten gleich weit entfernt ist“ (6.3.1, Zeile 285). Schüler 4 schloss aus den vorigen Beobachtungen: „das Maximum muss in der Mitte und im Rand auf der Seite“ (6.3.4, Zeile 272) sein. Schüler 3 erwartet: „dass da die Wellen aufeinandertreffen. [...] Also sie würden gleichmäßig aufeinandertreffen. Das heißt, sie gehen wieder in dieselbe Richtung zurück. Wenn sie unterschiedlich aufeinandertreffen würden, dann würden sich die Wellen gegenseitig auslöschen“ (6.3.3, Zeile 315-318). Schülerin 2 und Schülerin 5 erwarteten, dass ein Minimum am Punkt B ist. Wobei Schülerin 2 keine Begründung angab (vgl. 6.3.2, Zeile 284-287) und Schülerin 5 dies begründet mit „wenn die Wellen zusammen [treffen]“ (vgl. 6.3.5, Zeile 535). Schüler 6 erwartet im Punkt B weder ein Maximum noch Minimum zu finden. Er zeichnete einen Strich von nur einer Quelle und maß die Länge des Striches ab, um zu dieser Aussage zu kommen. Auch nach dem Hinweis, dass er nur eine Quelle beachtet hatte, blieb er bei der Aussage: „Es ist im Endeffekt, würde es auf der anderen Seite genauso aussehen und sich im selben Maß des Anstiegs von der Welle treffen“ (6.3.6, Zeile 338-339). Er korrigierte seine Antwort später im Zuge der nächsten Frage und gab dann ebenfalls ein Maximum im Punkt B an.

Zusatzfrage: „Wird im Punkt A ein Minimum oder ein Maximum sein?“

Schüler 3 meinte als Einziger es müsse ein Minimum sein, „weil die Welle schwingt ja weiter und irgendwann hört sie ja auf im Wasser“ (6.3.3, Zeile 325-326) und blieb auch nach Hinweis, dass wir annehmen, die Welle pflanze sich unendlich fort, bei seiner Aussage, dass im Punkt A ein Minimum sei. Die anderen Schülerinnen und Schüler gaben ein Maximum im Punkt A an. Schülerin 2 und Schülerin 5 fanden keine Möglichkeit, diese Aussage zu

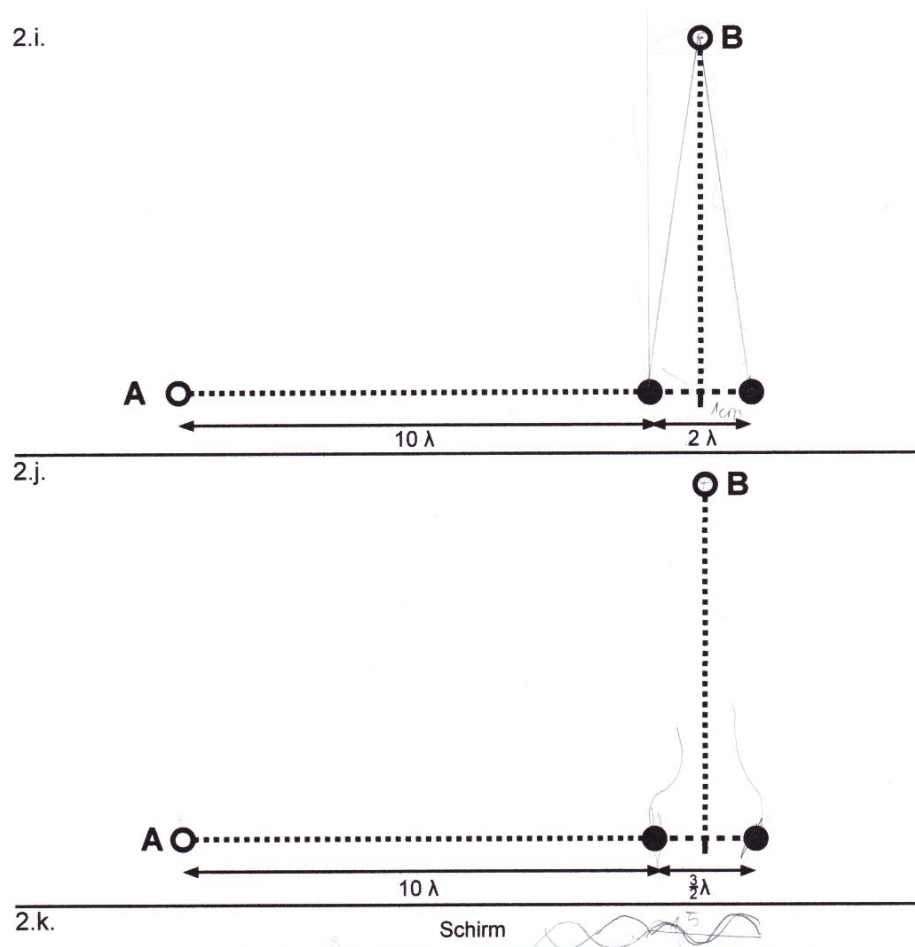


Abbildung 4.6: Skizze von Schüler 6 zu den Fragen 2i und 2j.

verifizieren: „Ich weiß nicht wie man das überhaupt sagen könnte“ (6.3.5, Zeile 550-551). Schüler 1 meinte: „es wird ein Maximum sein glaub ich, weil die Wellenlängen kohärent sind, es wird ein kleiner[es] Maximum sein, aber wenn die Wellenlängen kohärent sind dann treffen sich hier [...] irgendwann zwei Wellen, beziehungsweise diese Wellen kommen von hier schon zusammen an“ (6.3.1, Zeile 290-293), konnte aber keine weitere Begründung angeben. Schüler 4 begründete mit: „die Wellen die beide von x_1 und x_2 hier sein, so dass die Maximum und es gibt kein Minimum wahrscheinlich, denn da haben wir nur die eine Quelle eigentlich, weil die sind polarisiert so in derselben Richtung in derselben Linie stehen die“ (6.3.4, Zeile 281-284). Für Schüler 6 galt: „wenn die zwei Strahlen kohärent sind und sich genau hier ein Maximum treffen“ (6.3.6, Zeile 429).

Zusatzfrage: „Wenn der Abstand zum Punkt A 11λ ist, wird im Punkt A

ein Minimum oder ein Maximum sein?“

Die fünf Schülerinnen und Schüler die bei 10λ ein Maximum angegeben hatten, blieben bei ihrer Aussage. Nur Schüler 4 änderte seine Meinung, nachdem er an sein Interferenzbild am Mobiltelefon gedacht hatte: „Interferenz bleibt auch immer dasselbe so da wird wenn 10 eine Maximum ist, dann wenn 11 kann nicht eine Maximum sein, weil die Quellen sind mit 2 Lambda sich voneinander entfernt. So ich glaub, wenn 12 Lambda wieder eine Maximum und hier nicht“ (6.3.4, Zeile 350-353). Schülerin 2 (vgl. 6.3.2, Zeile 298-301) gab wie Schülerin 5 (vgl. 6.3.5, Zeile 550-563) zu diesem Zeitpunkt an, keine Ahnung zu haben wie man dies überhaupt feststellen könnte.

Frage 2j: „Die Abbildung zeigt zwei Wellenquellen, die um $\frac{3}{2}\lambda$ voneinander getrennt sind. (siehe Abbildung 3.6) Wird im Punkt B ein Minimum oder ein Maximum sein? Warum?“

Nur Schüler 3 erwartete jetzt ein Minimum im Punkt B, allerdings ohne Begründung. Schülerin 2 blieb weiterhin ohne Begründung bei einem Minimum im Punkt B (vgl. 6.3.2, Zeile 281-284) und Schülerin 5 machte keine Angabe. Schüler 1 begründete: „im Punkt B würden wir immer noch ein Maximum sehen, weil das immer noch gleich entfernt ist und sich die eigentlich alle Wellen dort treffen“ (6.3.1, Zeile 305-306). Schüler 4 geht davon aus, dass sich aufgrund des geringeren Abstandes der beiden Quellen das „Maximum [...] ein bisschen verschmolz[en]“ (6.3.5, Zeile 299) sein wird. Für Schüler 6 ist im Punkt B ein Maximum „weil sie sich von hier nämlich mit der gleichen Wellenlänge ausbreiten und sich dann hier treffen“ (6.3.6, Zeile 458-459).

Zusatzfrage: „Wird im Punkt A ein Minimum oder ein Maximum sein? Warum?“

Schüler 3 erwartete jetzt ein Maximum in Punkt A, konnte dies aber nicht begründen (vgl. 6.3.3, Zeile 338). Schüler 1 begründete ein Minimum mit: „Nein. Es würden sich keine Wellen treffen“ (6.3.1, Zeile 311) und auf die Nachfrage, was er darunter verstehe: „es werden sich keine zwei Wellen die sich in die gleiche Richtung ausbreiten [...] auf dieser Linie [...] treffen“ (6.3.1, Zeile 335-336). Schüler 4 erkannte richtig: „Maximum ist es nicht bei 10 [...] weil das $\frac{3}{2}$ Lambda ist. Sondern irgendwo anders. In dieser Linie“ (6.3.4, Zeile 359-364) ging aber fälschlicherweise von einem Maximum entlang der Linie Quellen-Punkt A aus. Schüler 6 zeichnete Abbildung 4.6 und erklärte dazu: „Ich zeichne mir nur auf, wie das dann aussieht. Als eben mit 1,5 also drei halbe Lambda aufgezeichnet. [...] D]as heißt in A wird kein Maximum sein, weil sich die Wellen eben ungleichmäßig treffen werden und grad an dem Punkt hier, wo also das erste, das ganz rechte Medium, die linkere, also die linke Lichtquelle, erreicht, beginnt das Licht so und das Licht so

und dadurch wird sich's eben überschneiden und wird eben nicht zu einem Maximum“ (6.3.6, Zeile 438-452).

Zusatzfrage: „Wenn der Abstand zum Punkt A 11λ ist, wird im Punkt A ein Minimum oder ein Maximum sein? Warum?“

Schüler 1 und 6 gaben korrekt an, dass es weiterhin ein Minimum bleibt. Schüler 1 begründete mit: „Wenn die Wellenpunkte kohärent [...] sind und ich nehme an ich sollt sagen, dass die Wellen sich auch mit der gleichen Geschwindigkeit ausdehnen [...] und die Wellenlängen und der Abstand zwischen diesen drei Halbe ist, sich hier keine Wellen jemals treffen werden, sondern immer, sondern, sie werden sich in anderen. Nein. Es werden sich keine zwei Wellen, die sich in die gleiche Richtung ausbreiten werden, sich auf dieser Linie nie treffen“ (6.3.1, Zeile 327-336). Schüler 6 argumentierte mit (siehe auch Abbildung 4.6): „Das wird nichts ändern, also weil sich die Wellen, also die Wellen trotzdem nicht kohärent sind, sondern sich noch immer, also um eins, verschoben sind“ (6.3.6, Zeile 463-464).

Frage 2k: „Zurück zum Licht. Gegenüber von zwei Lichtquellen befindet sich ein Schirm. Wie würdest du bestimmen, ob du in einem Punkt auf dem Schirm ein Minimum oder ein Maximum sehen wirst?“

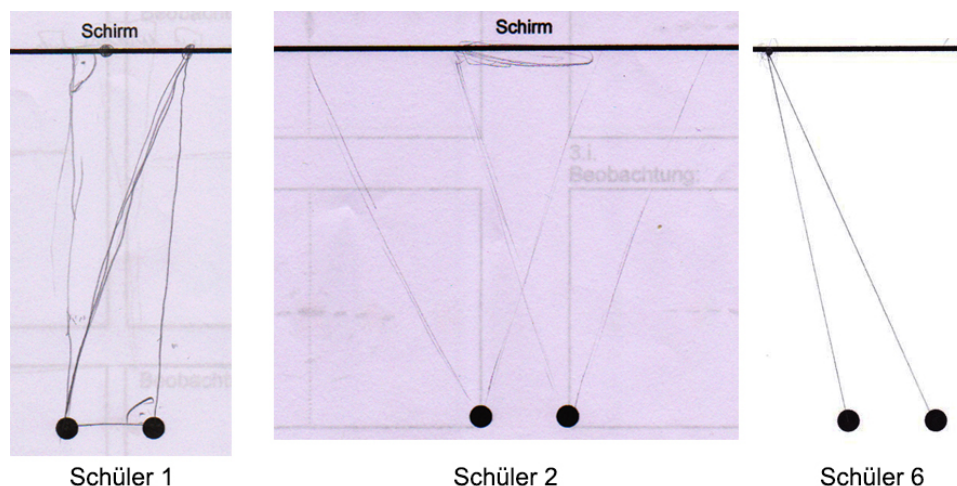


Abbildung 4.7: Skizzen der Schülerinnen und Schüler zur Frage 2k.

Die Schülerinnen und Schüler konnten keine Regeln nennen, wie man die Intensität an einem Punkt des Schirmes bestimmen könnte. Die Erklärungsversuche der meisten Schülerinnen und Schüler drehten sich nur um den Abstand vom Schirm (vgl. Skizzen in Abbildung 4.7), wie zum Beispiel Schüler 6: „Na

ja wenn ich die Distanz von beiden ausmach. Weil hier waren die immer gleich weit vom Medium entfernt und hier sind sie's nicht. Also von dem Punkt jetzt, der aufgezeichnet ist. Das heißt, ist es im Endeffekt, es könnte sein, dass da ein Maximum ist wenn die Wellen, also wenn die Wellen . . der Abstand durch Zufall zulässt, dass sie, dass sie hier kohärent sind“ (6.3.6, Zeile 469-477). Schülerin 5 kam der Erklärung mit Gangunterschied am nächsten mit: „Aber je nachdem wie die Formel ist, dann kann man ja sagen, um wie viele Wellenbreiten das weg ist, das ist, also man könnte sich ausrechnen wenn man die Angaben hat, je nachdem, ob ein Maximum oder ein Minimum ist“ (6.3.5, Zeile 583-585).

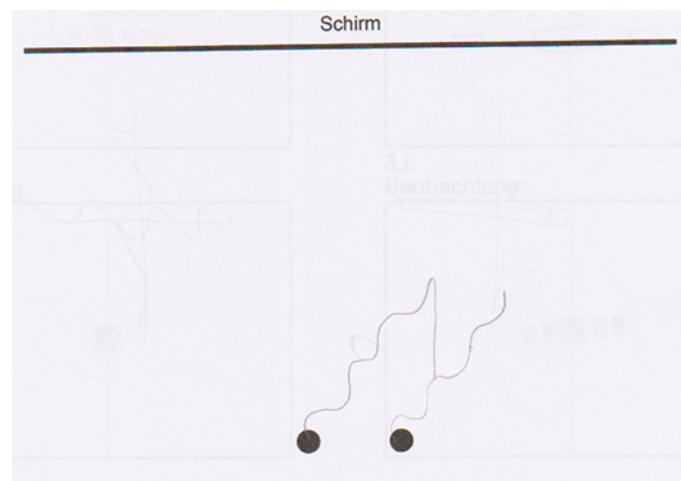


Abbildung 4.8: Skizze der Schülerin 5 zur Frage 2k.

Zusatzfrage: „Hast du schon einmal in diesem Zusammenhang etwas von Gangunterschied gehört?“

Schüler 1: „[W]enn diese Welle anfängt, und diese Welle zum Beispiel später anfängt, oder früher und sie nicht, also, die, die, die Quellen, die, die, die Wellenquellen (lacht) nicht in der gleichen Geschwindigkeit oder nicht in der gleichen Zeit die Wellen aussenden“ (6.3.1 Zeile 374-376).

Schülerin 2: „Nein“ (6.3.2 Zeile 346).

Schüler 3: „Nein, also das hätte, ich glaub, das hab ich noch nie gehört. Es kann sein, dass es schon mal erwähnt wurde, aber ich glaub, gehört hab ich's noch nie“ (6.3.3, Zeile 459-460).

Schüler 4: „Gangunterschied sagt mir nichts, aber Phasen . da kann ich mir was vorstellen. [...] Ja, das ist einfach unterschiedliche Frequenzen sind . was dem ganzen Experiment den Maximum und Minimum glaub ich verändert wegen den Unterschiede. Wenn eine größer ist oder kleiner [...] dann dem Maximum ist nicht in der Mitte, sondern irgendwo“ (6.3.4, Zeile 389-396). Auf den Hinweis, dass wir von gleichen Frequenzen ausgehen, fand er keine

Erklärung mehr (vgl. 6.3.4, Zeile 397-401).

Schülerin 5: „Ist das nicht eh irgendwie, da gibts doch irgendwie ein destruktives und ein . nicht destruktive eben und ich glaub das ist eben das destruktive und dass das konstruktive quasi. Wenn das überhaupt die richtigen Worte sind (lacht). Ich bin mir nicht sicher, weil. [...] Ok. Also ich glaub das ist dann einfach, wenn die Wellen quasi, wenn sie so sind, dass sie sich nicht quasi eben zerstören sozusagen und dann, dann kommt eben Maxima und Minima raus. Also quasi. Also das sind dann die Maxima und die anderen sind die Minima. Also die Minimums keine Ahnung, also ja. Das hätte ich gesagt. Aber das weiß ich eigentlich generell nicht“ (6.3.4, Zeile 269-286).

Schüler 6: „Nein“ (6.3.6, Zeile 498).

4.3 Beugung

Frage 3a: „Die experimentelle Lernumgebung entsteht aus einem verstellbaren Spalt, einem roten Laser und einem Schirm. Der Spalt hat am Beginn die Breite von ungefähr 2,5 mm. Was erwartest du auf dem Schirm zu sehen, wenn das rote Laserlicht auf den Spalt trifft? Skizziere deine Vermutung und erkläre deine Antwort.“

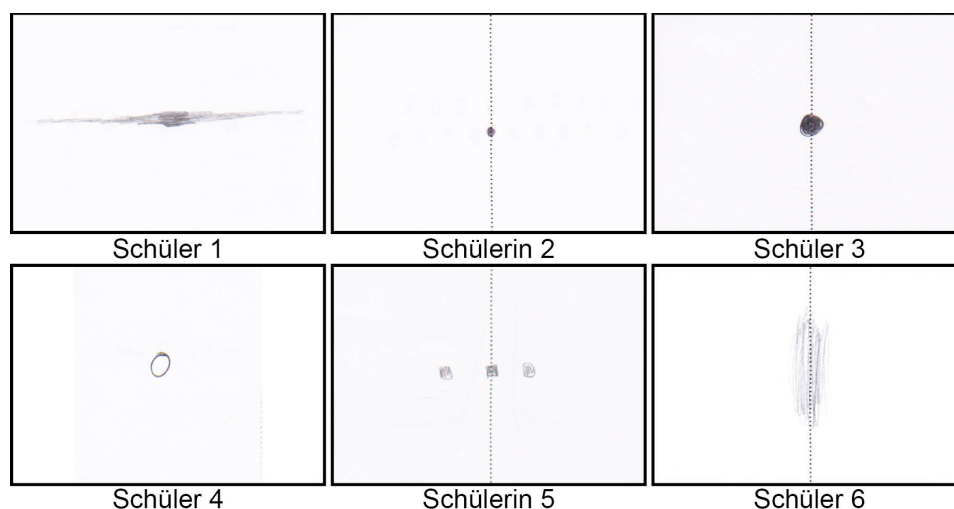


Abbildung 4.9: Erwartung der Schülerinnen und Schüler beim Einzelspaltexperiment mit Spaltbreite 2,5 mm.

Schüler 1 erklärte zu seiner Skizze in Abbildung 4.9: „Das in der Mitte heller ist als nach außen“ (6.3.1 Zeile 404-406) und begründete dies mit: „wenn wir es so wie bei dem Doppelspaltexperiment erklären, dann weil sich die Welle kreisförmig ausbreitet, aber es wahrscheinlich ist, dass die Teilchen durchkommen ohne abgelenkt zu werden, [...] vor allem sie werden ja zerstreut und je weiter man nach außen geht, desto weniger Teilchen gehen, desto kleiner wird die Teilchendichte pro Zentimeter“ (6.3.1 Zeile 413-418). Schülerin 2 (vgl. 6.3.2 Zeile 355), Schüler 3 (vgl. 6.3.3 Zeile 372) und Schüler 4 (vgl. 6.3.4 Zeile 417) gingen davon aus, dass der Laserstrahl einfach durchgeht und nur Schülerin 5 erwartete ein Interferenzmuster wie in Abbildung 4.9 wegen: „Kein Doppelspalt mehr. Dann gehen jetzt mehr Wellen durch, glaub ich. [...] Weil beim Doppelspalt gibt's ja nur zwei kleine Öffnungen und [...] das ist jetzt ein größerer auch noch. [...] Es gibt mehr, das heißt, es könnten auch wieder mehr wegfallen. Dann sollte es, glaub ich, so ausschauen. Ich glaube, dann ist es wieder weiter auseinander“ (6.3.5 Zeile 641-650). Schüler 6 erwartete: „Rotes Licht als einzelnen Strahl“ (6.3.6 Zeile 564).

Frage 3b: „Was kannst du beobachten? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Wie stimmt deine Beobachtung mit deiner Erwartung überein? Erkläre, wie die Abbildung auf dem Schirm zustande gekommen ist.“

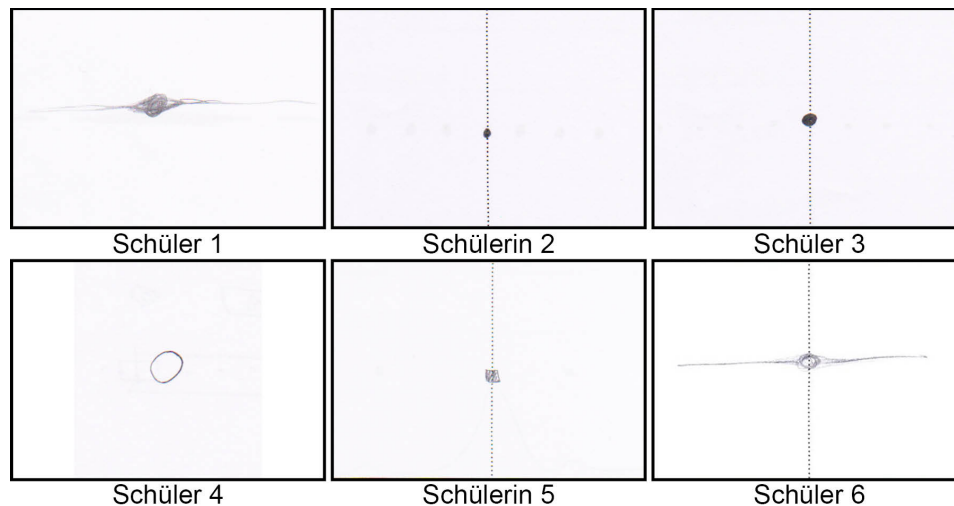


Abbildung 4.10: Beobachtung der Schülerinnen und Schüler beim Einzelspaltexperiment mit Spaltbreite 2,5 mm.

Schüler 1 beobachtete (Siehe Abbildung 4.10), obwohl der Laserstrahl mit vollem Durchmesser durch den Spalt passte, eine leichte horizontale Ausdehnung auf dem Schirm: „Also die Mitte ist ein bisschen heller als erwartet, aber es gibt eine schöne Linie, die sich nach rechts und nach links ausbreitet. [...] Weil ich glaube, der Spalt so groß war, dass [...] der ganze Laserstrahl durchkommen konnte und deswegen ist es kreisförmig und heller als ich es hier erwartet hätte“ (6.3.1 Zeile 424-430). Auch Schüler 6 machte eine ähnliche Beobachtung: „Na es, es verzieht sich hier auf der Seite, also es kommen auch noch Lichtstrahlen raus. [...] W]eil das Licht Interferenzmuster bildet. Nein, ich weiß es nicht, um ehrlich zu sein. Wir haben das ja auch wenn wir in Lichtquellen schauen, dass sich rundherum eben, eben wie heißt's, also dass sich eben rundherum auch so Lichtstrahlen weg. So zum Beispiel bei Sternen oder so. In Wirklichkeit sind sie eigentlich rund, nur wir sehen sie mit so wegstehenden Strahlen“ (6.3.6 Zeile 574-585). Schülerin 5 war auch nach Betrachtung mit einer Lupe überrascht: „Das ist ja dann nur ein Fleck. Also quasi, dann gibt's nur das Maximum. Weeeiil, ich schätze mal, alle anderen lösen sich weg“ (6.3.5 Zeile 655-657).

Frage 3c: „Jetzt werden wir den Spalt auf ungefähr 0,3 mm schmaler machen. Wird sich die Abbildung auf dem Schirm ändern und wenn ja wie, wenn wir den Laser wieder einschalten? Skizziere

und erkläre deine Vermutung.“

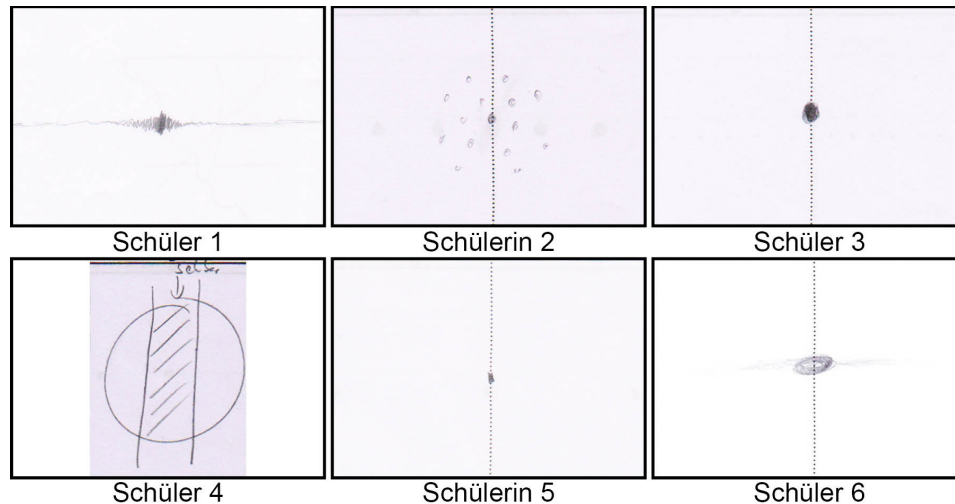


Abbildung 4.11: Erwartung der Schülerinnen und Schüler beim Einzelspaltexperiment mit Spaltbreite 0,3 mm.

Schülerin 2 erwarteten wieder einen Punkt zu sehen (vgl. 6.3.2 Zeile 367) und meinte sich zu erinnern: „Ich glaub, da gab’s auch wieder so was wie wenn das Licht durch ein Loch geht, durch einen Spalt geht, das genauso groß ist oder genauso breit ist wie das Licht durchgeht, dann passiert auch irgendetwas“ (6.3.2, Zeile 367-370). Sie zeichnete dazu Abbildung 4.11 mit den Worten: „Auch so etwas Verstreutes“ (6.3.2, Zeile 374) und „Vielleicht so was ähnliches wie beim Grünen wo sich das dann eher rundherum“ (6.3.2, Zeile 380). Wobei sie sich auf das Interferenzexperiment zu Frage 2e (6.3.2, Zeile 214-217) bezog. Auch Schülerin 5 blieb bei einem Punkt: „Also dasselbe, nur schmaler“ (6.3.5 Zeile 682) und Schüler 6 erwartete: „Die Mitte wird etwas breiter und außen wird’s aber schwächer“ (6.3.6 Zeile 588-589). Schüler 1 erwartete weniger Intensität: Dass das „Maximum hier kleiner ist als da oben und nicht so hell und dass [... er sich] weiter ausdehnt der Strich, obwohl da weiß ich nicht genau ob er so lange sichtbar ist, weil weniger Licht durchkommt“ (6.3.1 Zeile 443-446). Schüler 4 erwartete eine Verschmälerung des Punktes auf dem Schirm und erklärte zu seiner Skizze in Abbildung 4.11: „ich zeichne’s jetzt größer. Nur das werden wir sehen, das ist sehbar. Weil die ander sind von diese Maschine blockiert. So ich glaube es wird ein bisschen, diese Punkt wird ein bisschen schmaler“ (6.3.4 Zeile 428-435).

Frage 3d: „Was kannst du beobachten? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Wie stimmt deine Beobachtung mit deiner Erwartung überein? Erkläre, wie die Abbildung auf dem Schirm zustande gekommen ist.“

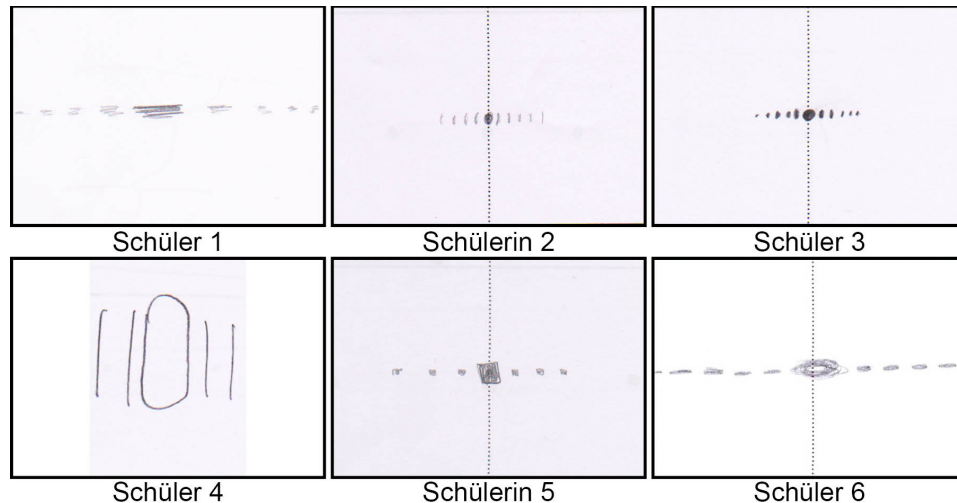


Abbildung 4.12: Beobachtung der Schülerinnen und Schüler beim Einzelspaltexperiment mit Spaltbreite 0,3 mm.

Alle Schülerinnen und Schüler identifizierten die Beobachtung als Interferenzmuster, konnten aber nicht die Beugung als das vorliegende Phänomen benennen. Schülerin 2 fiel als Einziger der Unterschied auf: „Ein Interferenzmuster, aber [...] nicht so wie am Anfang, dass drei stärkere Punkte in der Mitte sind, sondern einer“ (6.3.2, Zeile 392-393).

Frage 3e: „Erkläre, warum wir Minima und Maxima auf dem Schirm sehen. Gibt es eine Regel, wann du Minima und wann du Maxima siehst? Erkläre vor allem, wann wir den ersten dunklen Bereich sehen. Erkläre anhand einer Skizze.“

Schüler 1: „Ich habe mir was Kontinuierlicheres erwartet. Aber es war auch ein Interferenzmuster. So wie beim Doppelspalt. Erstens kann ich vermuten, dass auch beim ersten Mal ein Interferenzmuster entstanden ist, aber dass beim zweiten Mal mehr zu sehen war, weil der Abstand zwischen den Maxima größer wurde“ (6.3.1, Zeile 456-460) und versuchte eine quantenmechanische Er-

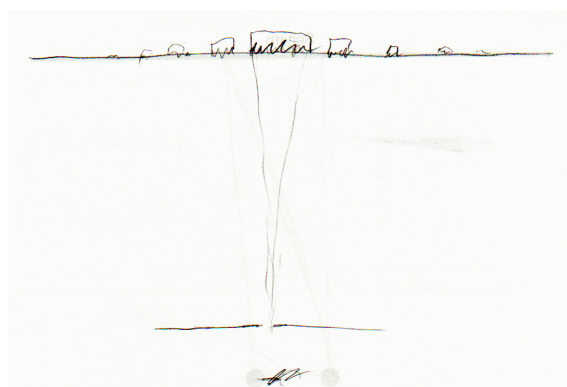


Abbildung 4.13: Skizze des Schülers 1 zur Frage 3e.

klärung zu Skizze 4.13: „[E]ine Vermutung die ich haben könnte ist, dass das ... Licht durch, mir jetzt gerade unbekannte quantenmechanische Effekte, ein eine Wahrscheinlichkeitswelle, ein Wahrscheinlichkeitsmuster hat, also das die, das . es gibt ein, einen, ein bestimmtes, dieses Muster hier ist eben nur ein Muster von Wahrscheinlichkeit, wo es wahrscheinlich ist, dass das Licht ankommt oder nicht. Aber ich kann mir gerade nicht erklären wieso“ (6.3.1, Zeile 475-480).

Schülerin 2 hatte keine Erklärung für das Phänomen, glaubte sich aber daran zu erinnern, dass dies im Unterricht behandelt wurde (vgl. 6.3.2, Zeile 416-417).

Schüler 3 konnte sich erinnern, dass Beugung im Unterricht behandelt wurde, konnte aber keine Regel für die Entstehung von Maxima und Minima bei der Beugung benennen: „Nein, weiß ich leider nicht. Ich weiß es nur, dass einzige was wir halt. Ich, ich hab's mir immer so vorgestellt, dass, wenn Licht jetzt zum Beispiel nur ein Teilchen wär, dass es eben nicht funktioniert, da wenn man jetzt zum Beispiel, da ich Fußballfan bin und sehr gern Fußball schau, dass es nicht möglich ist, dass ich jetzt zum Beispiel einen Ball durch so ein kleines Loch schießen würde und dass er dann nach dem



Abbildung 4.14: Skizze des Schülers 3 zur Frage 3e.

Loch also geradlinig auf das Loch zufliegt und dann auf einmal so um die Kurve fliegt, ohne dass er irgend einen anderen Impuls bekommt, beziehungsweise verändert wird, weil seine Flugbahn ist geradlinig weiter und deshalb [...] Das wär das einzige, was ich mir drunter vorstellen könnte, dass unter Beugung, also, dass das Licht seitlich gebeugt [wird]“ (6.3.3, Zeile 415-425). Als Erklärung zu Abbildung 4.14 lieferte er: „Wenn ich da den Schirm hab, dann trifft es halt da diese Lichtquelle, soll ich Lichtquelle dazuschreiben? Dass man sich's vorstellen kann. Auf jeden Fall kommt halt da dann das Licht, aber der Punkt ist ja größer als der Spalt, das sieht man auch, also der Punkt wird da durchtreffen, dann geht hier

das Licht durch und das, was ich mir eben jetzt nicht erklären kann, also logisch erklären kann, ist, wieso das Licht, denn eigentlich dürfte man den Punkt ja nur hier sehen. Das ist nicht der Fall, also müsste sich das Licht so [...] ausbreiten, aber es ist ja auch nicht durchgehend, sondern man sieht ja auch, dass [...] manche Spalte sind wo nichts ist“ (6.3.3, Zeile 447-456).

Schüler 4 konnte sich das Beugungsmuster beim Einzelspalt nicht erklären: „Wenn’s am Schirm trifft? Ich weiß nicht, wieso hat das dann mehrere diese kleine Streichen, aber das hat eine veränderte Aussehen wegen der veränderte Lochweite“ (6.3.4, Zeile 478-480) und versuchte eine Erklärung mit seiner Skizze in Abbildung 4.15: „Vielleicht wegen der schmalen Loch wird das Licht so gehen und deswegen ist das. Verstehst du. [...] Vielleicht ist das entsteht zwei und deswegen die interferieren miteinander. [...] Denn wenn du nur ein hast dann das wird wieso?“ (6.3.4, Zeile 486-492).

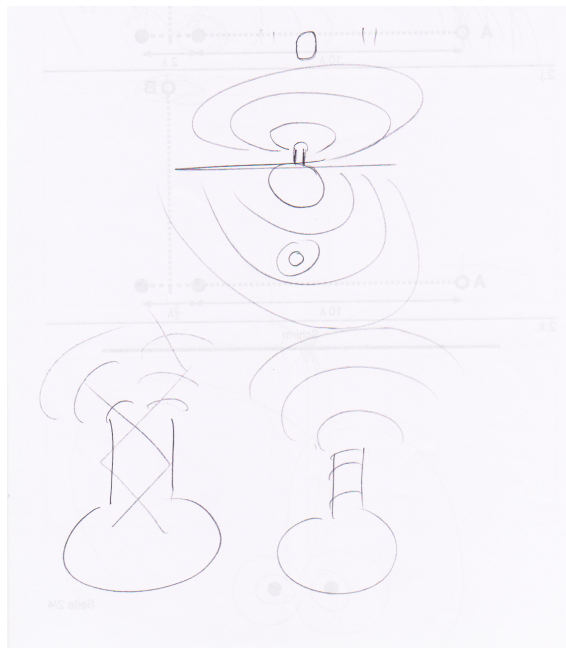


Abbildung 4.15: Skizze des Schülers 4 zur Frage 3e.

Schülerin 5 erklärte zur Abbildung 4.16: „Also ich schätze mal, dadurch, der Strahl ist ja größer als der Spalt und dann . auf der an . also . vorne geht’s ja gleich durch, aber hinten spaltets sich dann auf[. ...] Also wenn das der Spalt ist. und der ist schmäler als davor. [...] Dann gehts’s hier rein. [...] Weil . . . es muss ja irgendwie den Platz bekommen rauszukommen, aber . es hat nicht genug Platz im



Abbildung 4.16: Skizze der Schülerin 5 zur Frage 3e.

Spalt, weil der Spalt zu schmal ist und es sollte eigentlich so irgendwie sein und deshalb bricht das dann quasi ab. [...] Einfach das es, es will durch, aber es kann nicht durch. Also quasi wenn man einen Strahl zerquetschen würde. Das ist ja so wie wenn man, wenn ich jetzt meine Hand also einquetschen würde, dann . also wenn das jetzt irgendwas wäre, was man teilen kann und das geht durch und dann quetsche ich es aber und dann geht's auseinander“ (6.3.5, Zeile 706-726). Sie wechselt in der folgenden Erklärung mehrmals zwischen Teilchen- und Wellenbild: „Und so ist es eben im Strahl auch. Und die Teilchen werden eben quasi zusammengedrückt und damit gehen sie auseinander, weil [...] Jetzt sind's Teilchen, genau. Aber es ist ja nur ein Strahl, aber es sind ja mehrere Wellen im Strahl. [...] Also ich glaube, es sind mehrere Wellen in einem Strahl drinnen und wenn man das, wenn dann der Strahl weniger wird das sie dann, dann lösen sie sich auseinander, also dann gehen sie auseinander.“ (6.3.5, Zeile 728-736). Sie kennt aber keine Regel für Maxima und Minima bei der Beugung (vgl. 6.3.5, Zeile 738).

Schüler 6 auf die Frage des Interviewers, ob er schon einmal etwas von Beugung am Spalt gehört habe: „Ist es das, wo die Wellen so draufkommen und sich dann so rundherum bewegen und dann so auseinander bewegen?“ (6.3.6, Zeile 620-621). Er erklärte dies mit der Abbildung 4.17 mit den Worten: „Also es ist das, wo wenn Wellen so sich auf was zubewegen [...] und grad hier sind, das sie sich, weil sie einfach so viel (unverständlich) und da rundherum bewegen und hier dann so auseinander gehen. [...] Und dadurch wenn das auf beiden Seiten passiert, wenn das hier auch passiert. [...] Dann trifft sich das hier [...] Weil der mittlere Punkt

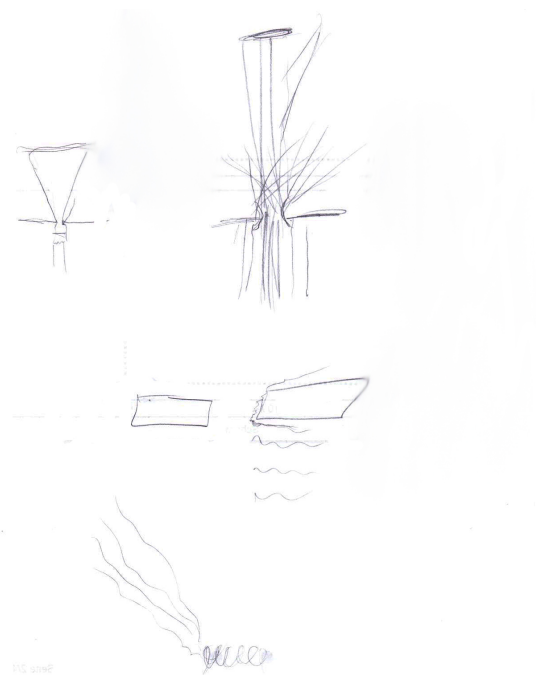


Abbildung 4.17: Skizze des Schülers 6 zur Frage 3e.

ist klar, weil hier einfach Strahlen ungehindert durchkommen, kommen sie hier zum mittleren Punkt und dadurch, dass sich jetzt aber eben hier die Wellen einfach so um das Hindernis halt beugen, dass dadurch eben das Interferenzmuster zustande kommt“ (6.3.6, Zeile 624-636). Der untere Teil der Abbildung 4.17 beinhaltet die Erklärung des Schülers mit Wasserwellen:

„Na ja, weil daaaa . gehen die Wellen jaaa so. [...] Und wenn sie hier drauf-treffen [...] wird die Welle eben, das ist die Welle zugehörig und hier wird die Welle bewegt sich aber so auf die Seite weiter, weil, eben weil ein Teil der Welle abgerissen wird und die andere sich aber ein bisschen zur Seite dreht.“ (6.3.6, Zeile 661-667) Auf die Frage, wovon die Lage der Minima und Maxima bei der Beugung ankommen, meinte Schüler 6: „Na von der Breite des Spalts“ (6.3.6, Zeile 691) und nach einer kurzen Nachdenkpause: „und vielleicht von der Wellenlänge“ (6.3.6, Zeile 693).

Frage 3f: „Was erwartest du auf dem Schirm, wenn wir den Spalt noch enger machen? Skizziere und erkläre deine Erwartung.“

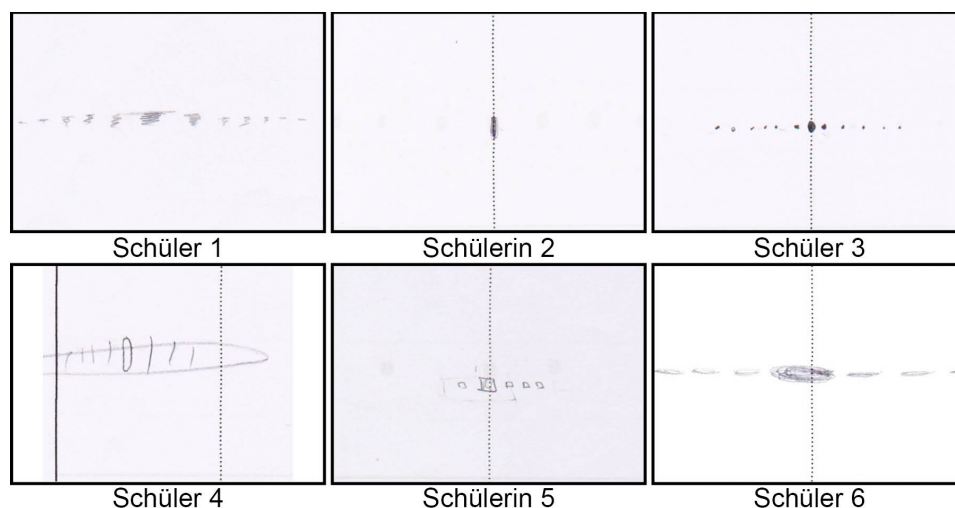


Abbildung 4.18: Erwartung der Schülerinnen und Schüler beim Einzelspaltexperiment mit Spaltbreite kleiner 0,3 mm.

Alle Schülerinnen und Schüler bis auf Schüler 3 erwarteten richtigerweise, dass die Maxima und Minima weiter auseinander liegen würden. Schüler 6 sagte sogar die Verbreiterung des Hauptmaximums der Beugung voraus (vgl. 6.3.6, Zeile 748-749).

Frage 3g: „Was kannst du beobachten? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Wie stimmt deine Beobachtung mit deiner Erwartung überein?“

Schüler 3, der keine Veränderung bei Verringerung der Breite erwartete 4.18 meinte zur Beschreibung seiner Beobachtung in Abbildung 4.19: „Ja, ja, das versteh ich schon, aber nur das was ich komisch find, ist, dass es von der Breite, also zumindest hätte ich das so gesehen von der Höhe, das es da eigentlich fast immer gleich bleibt aber nur dass es sich in die Breite

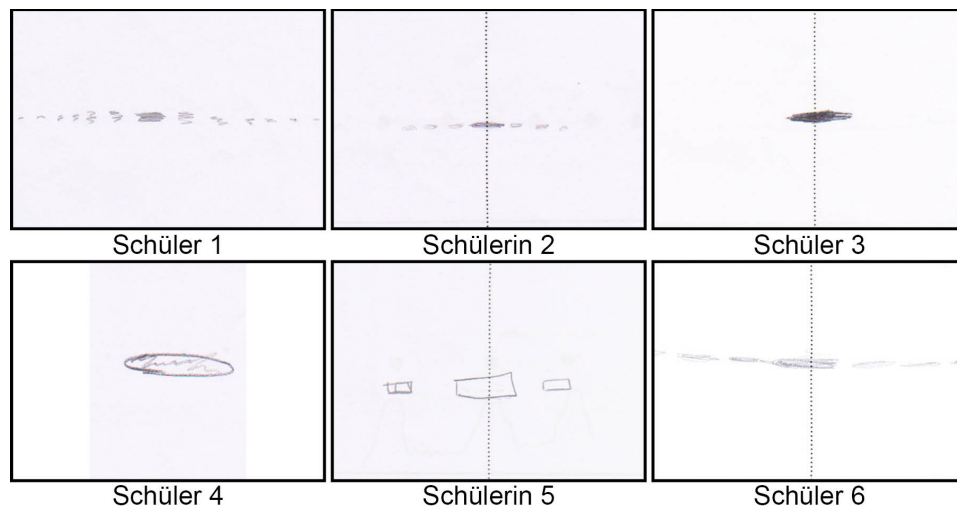


Abbildung 4.19: Beobachtung der Schülerinnen und Schüler beim Einzelspaltexperiment mit Spaltbreite kleiner 0,3 mm.

zieht und das ist meiner Meinung nach irgendwie komisch, weil ich ja die Breite eigentlich vom Spalt verringere. [...] Das heißt, das Licht müsste sich, umso enger es wird, umso breiter müsste es sich verfächern eigentlich, also beziehungsweise ausbreiten. [...] Aber ein Unterschied ist zu dem, also zu dem jetzt ist, dass es da durchgehend ist, weil vorher hat man wirklich noch solche Abgrenzungen gesehen und die sieht man jetzt, find ich, fast gar nicht mehr“ (6.3.3, Zeile 490-502).

Frage 3h: „Was erwartest du, wenn wir statt einem roten Laser einen grünen Laser verwenden? Wird sich auf dem Schirm etwas ändern und wenn ja wie? Falls du keine Änderungen auf dem Schirm erwartest, erkläre warum. Falls du eine Änderung erwartest, skizziere was du erwartest und erkläre deine Antwort.“



Abbildung 4.20: Skizzen des Schülers 3 zu den Fragen 3h (links) und 3i (rechts).

Schüler 1 und Schüler 4 gingen hauptsächlich davon aus, dass sich die

Helligkeit ändert. Schüler 1 dachte zusätzlich: „Ich würde sagen so wie hier, aber die Abstände zwischen den Spalten sind. Ich würde auf kleiner tippen“ (6.3.1, Zeile 494-495) und begründete dies mit: „Dass es vielleicht mit der Wellenlänge des Lichts zu tun haben könnte [, ...] ob es jetzt von dem Spalt reflektiert wird oder nicht. Also nicht, dass die Wellenlänge jetzt, dass das Licht so sehr ausschwingt, aber dass es wahrscheinlicher ist, dass es den Spalt trifft oder nicht, aber ich weiß es nicht“ (6.3.1, Zeile 504-508). Schüler 3 war der einzige, der eine signifikante Änderung erwartete, jedoch in eine ganz andere Richtung wie Abbildung 4.20 links: „ich könnt mir vorstellen, dass es genau wieder so unterschiedlich ist, sondern das es da nach außen eben größer wird. Wieso weiß ich auch nicht“ (6.3.3, Zeile 528-530). Schülerin 2 erwartete ein verstreutes Bild wie in Abbildung 4.21 (vgl. 6.3.2, Zeile 459-470). Die anderen Schülerinnen und Schüler meinten, dass sich nichts an den Abständen am Schirm ändern würde.



Abbildung 4.21: Skizzen der Schülerin 2 zu den Fragen 3h (links) und 3i (rechts).

Frage 3i: „Was kannst du beobachten? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Wie hat sich das Bild im Vergleich zum Bild mit dem roten Laser verändert? Versuche die Änderungen zu beschreiben.“

Nur Schülerin 2 beobachtete keinen Unterschied zum roten Laser davor. Schülerin 5 bot größere Wellen als Erklärung an: „Ich schätze mal, dass [...] die Welle hier größer ist als wie bei dem anderen und wenn man jetzt es wieder, obwohl, ja oja. Deswegen passt eben nicht so viel durch quasi. Beziehungsweise nicht alles, man kann nicht alles sehen“ (6.3.5, Zeile 853-856). Auf die Nachfrage, was sie unter größerer Welle versteht, korrigierte sie sich auf größere Wellenlänge (vgl. 6.3.5, Zeile 872). Schüler 6 bot folgende Erklärung: „Wahrscheinlich weil sie eine andere Frequenz haben, beziehungsweise Wellenlänge, wahrscheinlich in weiterer Folge [...] dass sich dadurch die grünen Strahlen einfach woanders treffen als die roten“ (6.3.6, Zeile 734-737).

Frage 3j: „Was würden wir auf dem Schirm sehen, wenn die Spalt-

breite kleiner als die Wellenlänge des Lichts wäre? Erkläre deine Antwort.“

Nur Schüler 6 glaubte, dass kein Licht mehr durchgeht: „Dann wird nichts durchgehen. [...] Weil die Wellen nicht mehr durch können“ (6.3.6, Zeile 763-765). Schülerin 5 glaubte zuerst: „ein paar Wellenlängen gehen durch. Nicht alle aber“ (6.3.5, Zeile 801-802), revidierte aber nach dem Hinweis, dass der Laser nur eine Wellenlänge aussendet: „Dann geht’s ja eigentlich, dann geht’s ja, sollte es gar nicht mehr durchgehen. Also glaub ich. Nein dann geht’s gar nicht durch. Dann ist es einfach. Geht’s nicht durch“ (6.3.5, Zeile 808-810). Alle anderen Schülerinnen und Schüler erwarteten, dass sich das Hauptmaximum verbreitert (vgl. z.B. 6.3.3, Zeile 558), zum Teil bis nur mehr ein Strich zu sehen ist, wie zum Beispiel Schüler 4: „Und statt den Löchern [... e]ine ganze Linie“ (6.3.4, Zeile 584-585).

Zusatzfrage: „Hast du eine Erklärung warum am Schirm noch etwas zu sehen ist?“

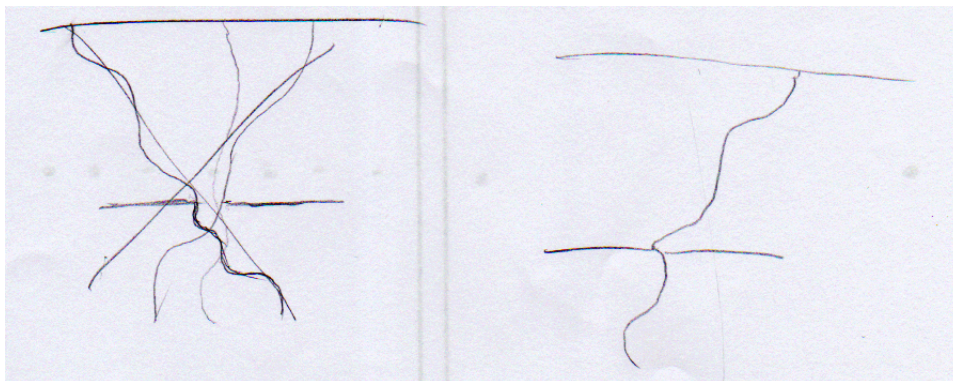


Abbildung 4.22: Skizze zur Erklärung des Schülers 1 zu Frage 3h.

Schüler 1 stellte fest: „Na das, dass die Wellenlänge des Lichts eine Rolle spielt. [...] Je kleiner der Spalt desto wahrscheinlicher ist, dass das Licht abgelenkt wird vom Spalt und in eine andere Richtung verläuft“ (6.3.1, Zeile 612-615) und versuchte zu Abbildung 4.22 weiter zu erläutern: „Ein bisschen grob und ein bisschen vereinfacht. Wenn ein Lichtstrahl so durch geht, ist es ziemlich wahrscheinlich, dass er durchkommt. Wenn ein Lichtstrahl, ich mach ihn jetzt von hier, obwohl er natürlich von hier kommt ... dass ein Lichtstrahl so durchgeht, ist unwahrscheinlicher, weil er dagegen [...] Also, dass es genau diese Ausrichtung haben muss, dass es hier durchgeht. [...] Natürlich kommen die nicht so schräg aber jeder Lichtstrahl in einer .. aber sie haben Recht, das kommt nicht wirklich, das hat keine so große [...] Breite. Plus sie würden nicht so weit da hinkommen. Nein. Dann einfach nur, dass .. das wenn sie .. hier ankommen, hier auftreffen, sie möglicherweise

die Richtung ändern. [...] Jetzt nicht genau so, aber so stell ich mir das vor“ (6.3.1, Zeile 631-655).

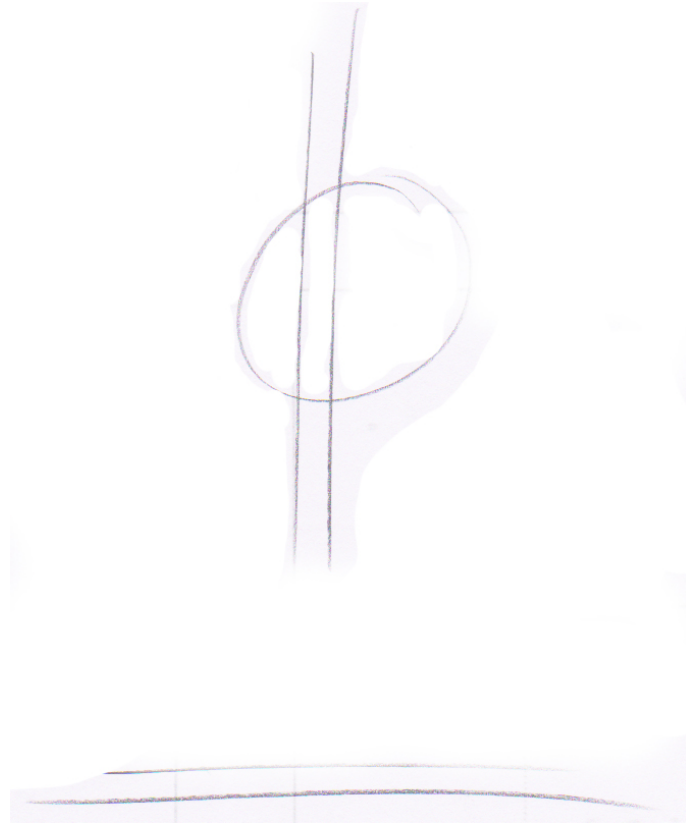


Abbildung 4.23: Skizze des Schülers 4 zur Erklärung zu Frage 3h.

Schüler 4 glaubte nach dem Experiment mit kleinstem Spalt, dass der Spalt um 90 Grad gedreht abgebildet wird und versucht diese mit Polarisation zu erklären: „So ich hab hier eine[n] Kreis [...] Und ich hab den Loch [...] Nicht waagrecht sondern senkrecht ist das. [...] Aber auf dem Wand steht das so waagrecht und vielleicht ist das mit dem Polarisation zu tun [...] Weil ich hab erwartet, dass es so ausschaut und nicht so. So. Ja. Und wieso, das weiß ich leider nicht. Es wird von dem Loch beeinflusst. Polarisiert oder nicht, das weiß ich nicht“ (6.3.4, Zeile 542-557).

Schüler 6 erklärte zu seiner Skizze in Abbildung 4.24: „Na ja da, entweder es geht nur noch ein Strahl durch, der auseinander gezerrt wird. Also quasi die Seiten der Welle beugen sich um die Ding herum. [...] Na wenn der Spalt [...] so ist und [...] ich hab hier eine Welle und die [...] kommt da drauf zu. [...] Dann beugen sich die Enden um das rundherum und breiten sich so aus und dadurch bekomme ich hier. [...] Also jeder einzelne Punkt ist jetzt schwächer



Abbildung 4.24: Skizze des Schülers 6 zur Erklärung zu Frage 3h.

als der, als die Ursprungswelle. Also die breitet sich in eine so trichterförmig so aus nach vorne“ (6.3.6, Zeile 790-806).

4.4 Optische Gitter

Frage 4a: „Hier haben wir zwei unterschiedliche optische Gitter. Wie würdest du erklären, was ein optisches Gitter ist? Kennst du ein Beispiel für ein optisches Gitter aus dem täglichen Leben?“

Die Schülerinnen und Schüler kennen optische Gitter nicht aus dem täglichen Leben, nur Schüler 4 vermutete: „Ich fotografiere mit [...] Kameras die Linse[n] haben und da habe ich eine für dann drauf. [...] Welche verschiedenen Lichtquellen beeinflusst. So ausloggt. Aus, so das kann nicht reingehen in den Linse“ (6.3.4, Zeile 597-601). Schüler 1 meinte: „Also optisches Gitter. Na ja. Hab ich wahrscheinlich irgendwo bei Experimenten mal gehört, in der Quantenmechanik höchstwahrscheinlich [...] aber auch im täglichen [...] Gebrauch werden sie [verwendet]. Ich weiß aber eben nicht mehr genau, wo“ (6.3.1, Zeile 678-682). Fast alle Schülerinnen und Schüler schauten durch die Gitter und erkannten wie zum Beispiel Schüler 3: „Schaut aus wie eine Seifenblase. [...] Man sieht zwar was dahinter ist, aber erstens verschwommen und in den Farben vom Regenbogen“ (6.3.3, Zeile 587-590). Schüler 1 versuchte als Einziger eine Erklärung: „Nun es scheint, dass das eben so wie ein Polarisationsfilter ist [...] das sind einfach Linien, aufgereiht in eine bestimmte Ausrichtung, also alle senkrecht oder alle waagrecht, und je nachdem wie man durchschaut, wird das Licht so in diesem Spaltenexperiment gebrochen halt. Man sieht eine Art Interferenzmuster, wenn man [auf] die Tischkante schaut“ (6.3.1, Zeile 666-671).

Frage 4b: „Was erwartest du auf dem Schirm zu sehen, wenn das Licht eines roten Lasers auf das Gitter mit 80 Linien/mm trifft? Skizziere und erkläre deine Erwartung.“

Schüler 1 erwartete ein Muster wie in Abbildung 4.25: „[w]eil wenn ich durchschaue [...] Dass das Licht von diesen Linien was vielleicht wegen verschiedener optischer Dichte sind. Ich weiß nicht genau eben ja gebrochen wird in verschiedenen Richtungen abgestrahlt wird“ (6.3.1, Zeile 697-700).

Schülerin 2 erwartete kein Interferenzmuster, sondern nannte es in ihrer Skizze in Abbildung 4.25 eine Art „Raster“ mit zwei Reihen (6.3.2, Zeile 531-544).

Schüler 3 erwartete eine breite Verteilung: „Ich glaub, dass das Laser dann viereckig, also dass er sich verteilt. [...] Na, dass er dann ein großer Kreis aber nicht mehr so ...“ (6.3.3, Zeile 599-601).

Schüler 4 erwartete ein chaotisches Bild mit sehr vielen Linien (vgl. 6.3.4, Zeile 609-613).

Schülerin 5 erwartete „mehr Maxima und Minima [...] also mehr Interferenz. [...] Weil, da gibt's mehr Möglichkeiten dafür“ (6.3.5, Zeile 899-902).

Schüler 6 ging davon aus, dass es verzerrt würde (vgl. 6.3.6, Zeile 820) und

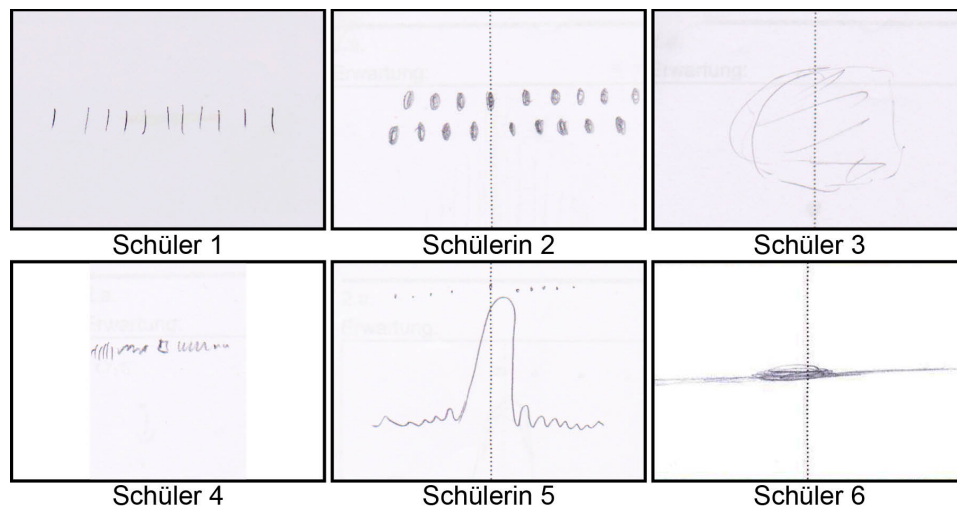


Abbildung 4.25: Erwartungen der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit dem optischen Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.

auf die Nachfrage, ob die Experimente von vorher helfen würden, meinte er: „Dann arbeite ich halt mit mehr als drei Spalten, so im Vergleich eben mit soviel Spalten eben wie das Licht durchkommt. [...] Ist ganz gefinkelt (lacht), da müsst ich jetzt als drei oder vier, also das Licht, das [von] drei oder vier Spalten kommt [...] halt dann noch ein größeres Interferenzmuster bilden oder es bleibt einfach ein gerader Strahl. [...] Also ich glaub es wird ein gerader Strahl, der in der Mitte heller ist und auf den Seiten ein bisschen dunkler“ (6.3.6, Zeile 828-902).

Frage 4c: „Was kannst du beobachten? Skizziere deine Beobachtung. Erkläre warum du so ein Bild beobachten kannst.“

Schüler 1 meinte zu seiner Skizze in Abbildung 4.26, dass das Ergebnis des Experiments seiner Erwartung entspricht, nur, dass er die geringe Ausdehnung des Lasers nicht bedacht hätte und erläuterte dazu: „widerlegt meine Hypothese nicht, dass das Licht einfach gebrochen wird durch diese Linien“ (6.3.1, Zeile 716-717). Schülerin 2 konnte sich das Ergebnis nicht erklären: „kann man sagen das Licht gebrochen, keine Ahnung. Weil es, es hat auf jeden Fall mit dem Licht gespielt“ (6.3.2, Zeile 557-558) und auf den Hinweis ob vorherige Experimente helfen könnten, antwortete sie mit „aber da is eben nix, da interferiert nix. Das sind einfach nur viele Punkte. Keine Ahnung, aber ich glaub schon, dass irgend eine Art Loch drinnen ist, dass [es] vielleicht viele Löcher sind“ (6.3.2, Zeile 564-566). Schüler 6 vermuteten keine Interferenzerscheinung, sondern dass der Strahl nur aufgeteilt wird in so viele Teile wie es Spalten gibt (vgl. 6.3.6, Zeile 861-862) und meinte dazu: „es beugt sich vielleicht nichts, deswegen entsteht kein Muster“ (6.3.6,

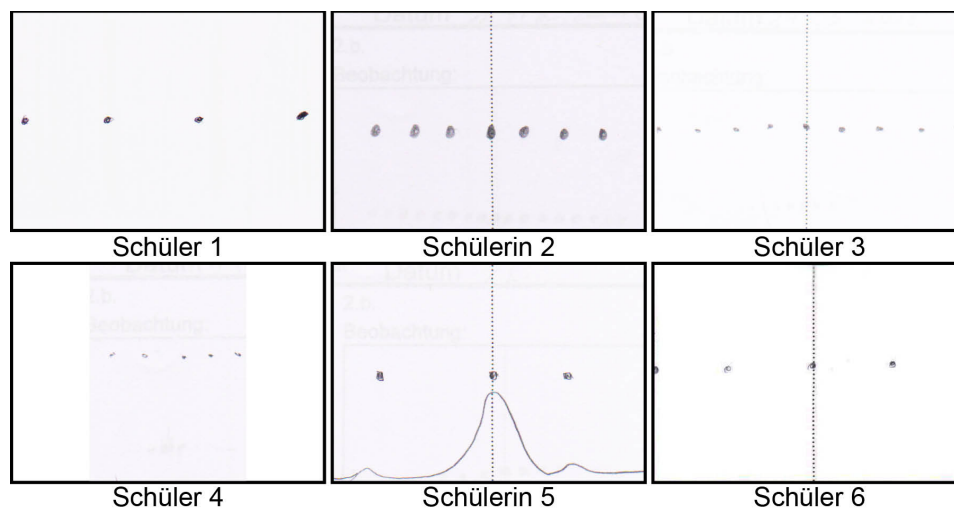


Abbildung 4.26: Beobachtungen der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit dem optischen Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.

Zeile 864). Schüler 3 (vgl. 6.3.3, Zeile 645-662) vermutete ebenfalls, dass der Strahl nur aufgeteilt wird in so viele Teile wie es Spalten gibt und wunderte sich zusätzlich: „Es ist anders als in meiner Erwartung, ja. Ok, jetzt wo ich drüber nachdenk' ist's logisch, dass kein großer Punkt erscheinen würd, weil der Punkt ja nur auf einen kommt und nicht irgendwie eine Linse die's größer macht oder so. Das ist jetzt im Nachhinein, also ich glaub zumindest, dass das als logisch erklärbar ist durch das was ich eben hab. Nur, das was mich wundert ist, dass es sich trotzdem wieder nach rechts verbreitert. Zwar nicht wie davor, dass es eben schmaler wird. Sondern, dass es immer gleichbleibende Punkte wird, die alle dieselbe Stärke haben“ (6.3.3, Zeile 613-622). Schüler 4 meinte, dass es jetzt Pünktchen mit derselben Intensität sind und dass dies alles Maxima seien (vgl. 6.3.4, Zeile 622-631). Schülerin 5 begann mit einer phänomenologischen Erklärung, dass der Strahl nicht durch alle Spalten durchgehe (vgl. 6.3.5, Zeile 919-931) und auf die Nachfrage, ob sie wirklich glaube, dass der Laser nicht durch alle Spalten durchgeht, korrigierte sie: „Halt ich glaub, dass [...] das wieder destruktiv ist die Interferenz, dass sich die dann auslöschen wieder, weil das eben so viele sind, weil die in verschiedene Richtungen gehen und desto mehr es wird, desto mehr werden irgendwie weggehen“ (6.3.5, Zeile 937-940).

Frage 4d: „Auf diesem optischen Gitter stehen 300 Linien pro mm. Was bedeutet das? Wie unterscheidet sich dieses Gitter von dem vorherigen? (Das vorherige hat 80 Linien pro mm) Wird sich auf dem Schirm etwas ändern und wenn ja wie, wenn wir jetzt das Gitter mit 300 Linien pro mm verwenden? Skizziere und erkläre deine Erwartung.“

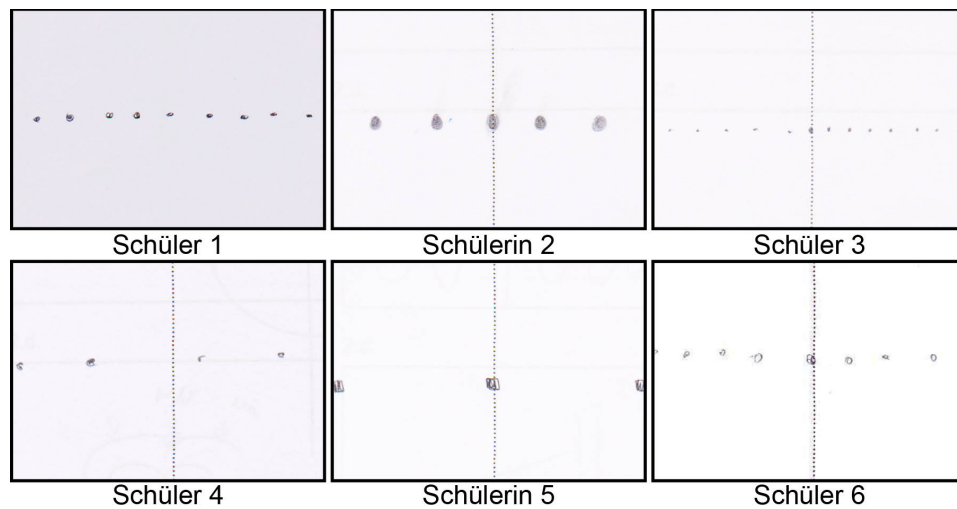


Abbildung 4.27: Erwartungen der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit dem optischen Gitter mit 300 Linien pro Millimeter.

Schüler 1 blieb bei seiner Hypothese, dass die Linien das Licht brechen und schloss daher „müssten eigentlich mehr Punkte auf dem Bildschirm sein [...] und deswegen auch nicht so weit voneinander entfernt“ (6.3.1, Zeile 724-727). Schülerin 2 erklärte nach Blick durch das Gitter mit 300 Linien pro Millimeter: „Würde man sich mehr Punkte vorstellen, aber ich glaube, ich sehe hier weniger Regenbögen als vorher also schätze ich es werden größere, weniger Punkte“ (6.3.2, Zeile 574-576). Schüler 3 (vgl. 6.3.3, Zeile 667-673) und Schüler 6 (vgl. 6.3.6, Zeile 869-877) waren unsicher, entschieden sich dann aber dafür, dass mehr Punkte zu sehen sein würden, das heißt, dass die Maxima enger beieinander liegen. Schüler 4 erwartete: „die Pünktchen stehen weit weg voneinander. Mehr weiter weg als bei dem 80“ (6.3.4, Zeile 636-637). Auch Schülerin 5 erwartete eine Verbreiterung: „das heißt, es wird glaub ich noch mehr auseinander sein“ (6.3.1, Zeile 942).

Frage 4e: „Was kannst du beobachten? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Wie stimmt deine Beobachtung mit deiner Erwartung überein?“

Schüler 1 blieb bei seiner Aussage, dass das Licht gebrochen wird: „Nun, dann würde ich meine vorige Hypothese fallen lassen und statt dem das Licht von den Linien gebrochen wird, scheint es, dass das Licht also nicht von einer Linie gebrochen wird sondern je mehr Linien da sind, desto mehr wird das Licht eben gebrochen, beziehungsweise desto mehr ist der Abstand zwischen den Punkten“ (6.3.1, Zeile 734-738). Auf die Nachfrage was er unter „gebrochen“ verstehe, antwortete er mit zwei Möglichkeiten: „Zwei Sachen

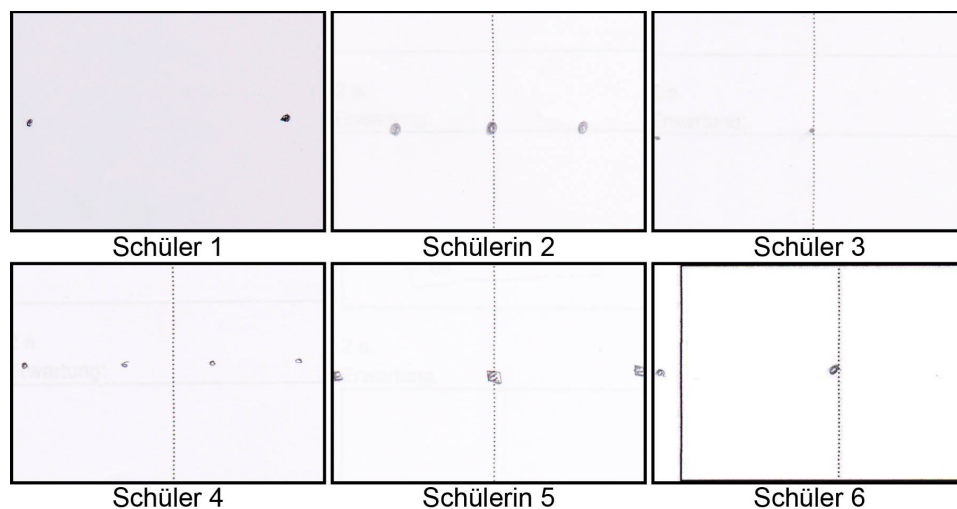


Abbildung 4.28: Beobachtungen der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit dem optischen Gitter mit 300 Linien pro Millimeter.

würde ich sagen, also das erste was passieren könnte ist, dass das Licht eben wortwörtlich gebrochen wird und das zweite was passieren könnte [..., dass die] Linien einfach [...] so wie Spalten sind“ (6.3.1, Zeile 745-748). Nach Vergleich mit seinen Skizzen zum Doppelspaltexperiment verwarf er die Idee mit dem Interferenzphänomen wegen: „[Insofern s]pricht es eher dagegen, dass es viele Spalten sind, weil dann ein Interferenzmuster entstehen würde und keine so hellen Punkte zu sehen sein würden, wenn die Spalten so klein sind“ (6.3.1, Zeile 754-757). Schüler 3 verglich mit dem Beugungsexperiment und folgerte: „dass, wenn man vorher den Spalt hat und umso kleiner man den Spalt macht, umso breiter wird’s gezogen und daher nehm ich an, umso mehr Linien, also wenn man es mit 500 machen würde glaube ich, wäre es noch breiter auseinander“ (6.3.3, Zeile 679-682). Die Erwartungen der Schüler 4 (vgl. 6.3.4, Zeile 641-643) und Schülerin 5 (6.3.5, Zeile 948-951) wurden bestätigt. Schüler 6 stellte nur fest, dass er „falsch geraten“ (6.3.6, Zeile 879) hat.

Frage 4f: „Wird sich auf dem Schirm etwas ändern und wenn ja wie, wenn grünes Licht auf das Gitter mit 80 Linien pro mm trifft? Skizziere und erkläre deine Vermutung.“

Es gab alle Formen der Erwartung wie in Abbildung 4.29 zu sehen ist. Schülerin 2 erinnerte sich an das Interferenzexperiment, wo sie Streulicht beim grünen Laser beobachten konnte: „Dann glaub, ich dass jeder von denen ein paar Punkte um sich herum hat. Und die dann halt ziemlich viel werden, weil ich glaub, weil es gibt auch so Party-Laser, wo so das ganze Raum beleuchtet ist“ (6.3.2, Zeile 594-596), ging aber nicht näher auf die Änderung

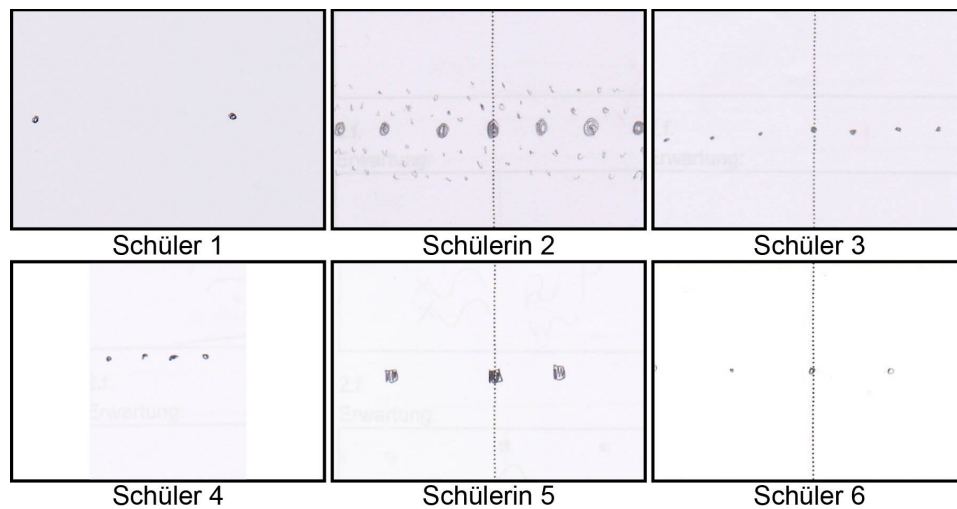


Abbildung 4.29: Erwartung der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit grünem Laser und dem optischen Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.

der Abstände ein. Schüler 1 erwartete, „[d]ass sie weiter auseinander sind“ (6.3.1, Zeile 782). Schüler 3 erwartete ebenfalls, dass die Maxima weiter auseinander liegen (vgl. 6.3.3, Zeile 689). Schüler 4 erwarteten aufgrund des Einzelspaltexperiments genau das Gegenteil (vgl. 6.3.4, Zeile 648-657). Schülerin 5 erwartete ebenfalls aufgrund der größeren Wellenlänge ein engeres Bild (vgl. 6.3.5, Zeile 965-966). Schüler 6 ging wegen der Frequenzänderung davon aus, dass die Maxima an der gleichen Stelle erscheinen, aber diesmal heller sind (vgl. 6.3.6, Zeile 965-966).

Frage 4g: „Was kannst du beobachten? Skizziere und erkläre was sich geändert hat?“

Alle Schülerinnen und Schüler beobachteten die Zwischen-Maxima wie in Abbildung 4.30 zu sehen ist, konnten deren Auftreten aber nicht erklären. Für Schüler 1 spielte die Wellenlänge eine Rolle und er verglich das optische Gitter jetzt doch mit einem Mehrspaltexperiment „und, dass das auch ein Interferenzmuster davon ist“ (vgl. 6.3.1, Zeile 803-829). Schülerin 2 stellte fest: „In der Mitte sind auch noch viele, die hab ich nicht eingezeichnet“ (6.3.2, Zeile 610-611) und erklärte dazu: „Also es hat sich definitiv was geändert wie mit beim Roten. Eben diese kleinen umschwärmenden Pünktchen, auch noch und eine Idee vielleicht, weil’s eben das grüne Licht eine kleinere, was ich vorher mir schon gedacht hab, dass es eine kleinere Wellenfrequenz hat als das Rote“ (6.3.2, Zeile 619-622). Schüler 3 vermutete einen Zusammenhang mit dem Farbspektrum (vgl. 6.3.3, Zeile 710). Schüler 4 beobachtete zuerst: „ich glaube die Breite zwischen zwei Punkte ist dasselbe beim Rot also auch beim Grün“ (6.3.4, Zeile 662-663). und revidierte erst nach erneutem Vergleich mit

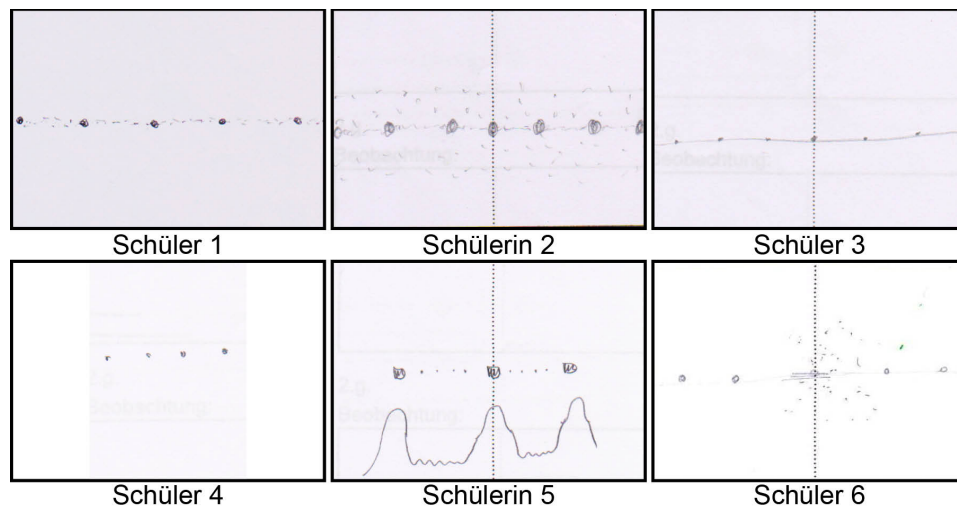


Abbildung 4.30: Beobachtung der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit grünem Laser und dem optischen Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.

dem roten Laser. Schülerin 5 fühlte sich in ihrer Erwartung bestätigt und begründete wieder: „[w]eil die Wellenlänge wieder größer ist“ (6.3.5, Zeile 992). Schüler 6 konnte keine Erklärung finden (6.3.6, 915).

Frage 4h: „Was erwartest du auf dem Schirm zu sehen, wenn wir jetzt das Gitter mit weißem Licht beleuchten? Erkläre und skizziere deine Erwartung.“

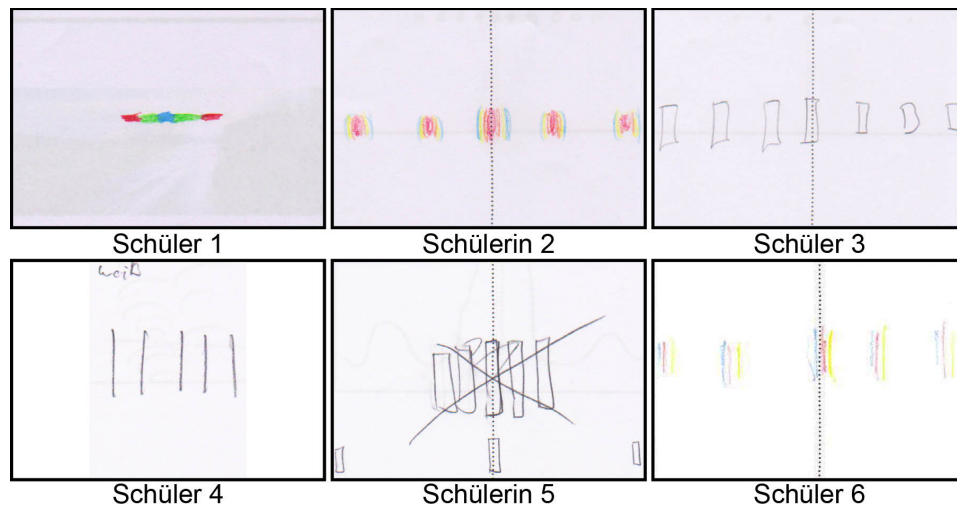


Abbildung 4.31: Erwartung der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit weißem Licht und dem optischen Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.

Schüler 1 erwartete wie in Abbildung 4.31 zu sehen ist, eine Aufspaltung in die Spektralfarben: „ich kann es mir nicht so überlegen als wären alle Wellenlängen einzeln vertreten, sondern, na ja die [...] erste Annahme ist natürlich, dass ein Regenbogen entsteht“ (6.3.1, Zeile 874-875). Er spekulierte wegen der Reihenfolge und auf Hinweis, ob die vorherigen Experimente helfen könnten, meinte er: „also Grün, also eine kleine Wellenlänge ist näher zusammen, das heißt, da es näher zusammen ist, ist es intensiver und daher könnte es in der Mitte sein“ (6.3.1, Zeile 884-886). Auch Schülerin 2 erwarteten eine Aufspaltung in die Spektralfarben: „Regenbögen. [...] Ich mal einfach. Blau ist relativ am Schluss noch hinter lila. Oder ist Blau am Anfang? Ich mal mal Blau zum Schluss. Und dann gibt's so mehrere Punkte die regenbogenartig aussehen. Ok. Ich hab das mehr strichig gemacht und nicht rund. Oder wird das drumherum gemessen?“ (6.3.2, Zeile 625-638). Schüler 3 erwarteten nur ein weißes Interferenzmuster (vgl. 6.3.3, Zeile 734-735). Auch Schüler 4 ging von einem nicht so fokussiertem weißem Interferenzmuster aus, weil das „weiße Licht ist nicht so gut fokussiert, wie zum Beispiel das rote oder grüne. So das ist mehr größer, so statt den Pünktchen haben wir wieder eine [...] Linie. So mit den 80 glaub ich es wird schärfer, aber solche Linien nebeneinander stehen“ (6.3.4, Zeile 683-686). Schülerin 5 erwartet keine Aufspaltung in die Spektralfarben und spricht von einem Filter anstatt von einem Gitter (vgl. 6.3.5, Zeile 1003). Schüler 6 ging von einer Aufspaltung nur „in die RGB-Farben“ (6.3.6, Zeile 927), also in Rot, Gelb und Blau, aus.

Frage 4i: „Was kannst du beobachten? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Erkläre wie das Bild zustande gekommen ist? (Warum sehen wir unterschiedliche Farben?)“

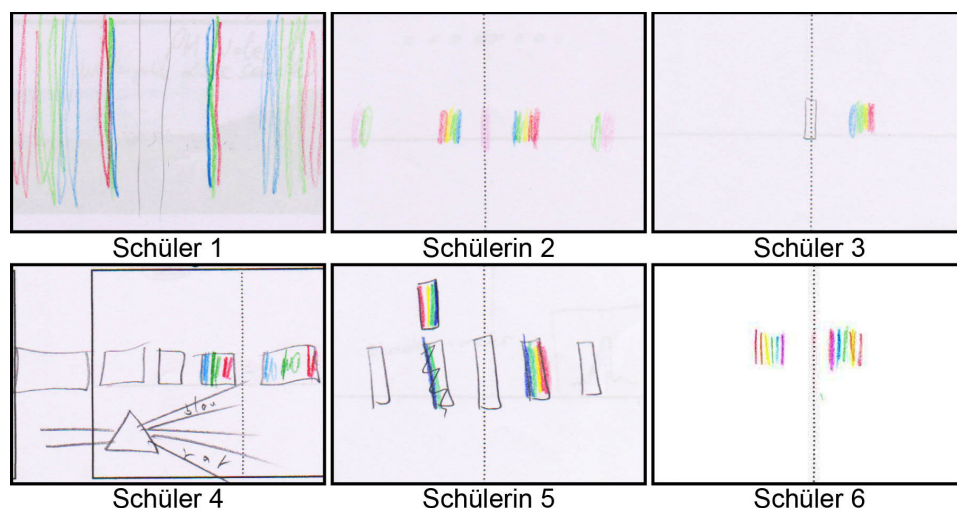


Abbildung 4.32: Beobachtung der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit grünem Laser und dem optischen Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.

Schüler 1 erklärte sich den Effekt dadurch, dass „die verschiedenen Wellenlängen anders gebrochen werden. [...] Das heißt, insofern wird sicher nicht etwas gebrochen, vielleicht nicht in dem klassischen Sinne, dass es [...] ändert die Richtung, aber ich weiß nicht, ob im quantenmechanischen oder im klassischen Sinne“ (6.3.1, Zeile 918-923). Er erklärte seine Unterscheidung von klassischem und quantenmechanischen Fall mit: „Beim Licht ist eine klassische Brechung [...], dass zum Beispiel vom optisch dichteren ins optisch dünnere Medium kommt und gebrochen wird deswegen. Und eine quantenmechanische [...] ist so wie ein Interferenzmuster. Das halt, wo es halt keine wirkliche Medien gibt, keine optischen Medien. Sondern einfach nur [...] die quantenmechanischen Eigenschaften, also die Welleneigenschaften vielleicht des Lichtes es brechen oder eine Rolle spielen“ (6.3.1, Zeile 926-939). Schülerin 2 ist vom Ergebnis überrascht: „Also in der Mitte das schaut sehr rosa aus. Keine Ahnung. Und dann eben hat sich der Regenbogen, den ich falsch gefärbt hab, geformt, aber ich hab in der Mitte eine Farbe genommen und außen dann die gleichen Farben, aber hier ist von links nach rechts“ (6.3.2, Zeile 645-649). Auf die Frage, warum dieses Muster auftritt, antwortete sie mit „[w]ürde sagen, dass Licht ist gebrochen“ (6.3.2, Zeile 671). Schüler 3 sah seine Vermutung der Aufspaltung bestätigt: „Aber die Farbe ändert sich ja. Ich hab’s mir schon ungefähr vorstellen können, dass sich die Farbe ändert, ja“ (6.3.3, Zeile 739-740) und erklärte es sich „wie beim Regenbogen, das durch die Wassertropfen dass Licht so, also beim Regenbogen wenn ich das richtig im Kopf hab, dass durch die Wassertropfen in der Luft das Licht so gebrochen wird, dass es dann genau so erscheint“ (6.3.3, Zeile 757-760). Schüler 4 erklärte es in Abbildung 4.32 „wie bei dem Prismaeffekt. Dem Licht wird dem weiße Licht. So dem weiße Licht beinhaltet alle Farben eigentlich. [...] Und aber die verschiedenen Farben haben verschiedene Energien, oder Frequenzen, oder Wellenlängen. [...] Und zum Beispiel eine rote Wellenlänge ist anders als einen blaue“ (6.3.4, Zeile 706-712). Schülerin 5 wusste: „Im weißen Licht sind mehrere, also bei grünen, rot, war es vorher, dass nur Grün und Rot drinnen war und bei weißem Licht sind aber alle Farben drinnen“ (6.3.5, Zeile 1070-1071) und unterscheidet trotzdem zwischen weißem und farbigem Licht: „Weil der Filter das wahrscheinlich trennt, also beziehungsweise die Farben von dem weißen Licht werden dann auf dem [Schirm] angezeigt. [...] Und [...] diese eine Art von anderen Licht, von der ich geredet habe, dass das jetzt eben da durchkommt, aber in der Mitte dann wieder nicht“ (6.3.5, Zeile 1035-1042). Schüler 6 erklärte das ganze Farbspektrum, im Gegensatz zu seiner vermuteten RGB-Aufspaltung, mit: „Also bei dem Grünen war’s halt so, dass es miteinander interferiert hat und weil da weißes Licht eben aus der Kombination von . von eigentlich allen, also weißes Licht entsteht aus der Kombination von allen Lichtfarben. Also in weiterer Folge von RGB, von RGB-Spektrum, deswegen hab ich mir gedacht, dass eigentlich nur die drei Farben kommen, nur Regenbogen macht eigentlich auch Sinn, weil’s eben

in alle Farben halt aufgeteilt ist und die dadurch einfach so miteinander, also einfach so aufgespalten werden“ (6.3.6, Zeile 980-986). Auf dem Hinweis, dass die Mitte bei echtem Weißlicht weiß wäre, antwortete er: „Ach so. Also das sollt weiß sein. Na ja, wie, wie, wie beim, beim einzelnen Spalt vorher, dass es in der Mitte, dass es in der Mitte entweder direkt durchkommt, oder dass sich grad alles so in der Mitte trifft, dass es wieder weiß ist“ (6.3.6, Zeile 995-997).

Kapitel 5

Zusammenfassung der Aussagen der Schülerinnen und Schüler

5.1 Polarisation

Alle Schülerinnen und Schüler hatten vom Begriff Polarisation schon gehört. Nur die Schüler 4 und 6 konnten die Polarisation teilweise befriedigend erklären. Die andern Schülerinnen und Schüler hatten eine vage bis gar keine Vorstellung. Besonders auffällig ist hier das Fehlkonzzept von Schülerin 5, die zwar zwei Arten von Licht identifiziert, diese aber in die Art von Licht mit Farben und die Art von schwarz-weißem Licht unterscheidet. Dieses Vorstellung trat bei ihr immer wieder während des ganzen Interviews auf. Genauso auffällig sind die Passagen, wo die Interviewten über UV-Licht sprechen.

5.2 Interferenz

Die meisten Schülerinnen und Schüler hatten schon einmal etwas von Interferenz gehört, konnten diese dem Experiment 2a aber nicht immer sofort zuordnen. Bei Schülerin 2 und Schüler 3 war dies, da sie sich an kein Experiment dieser Art aus der Wellenoptik erinnern konnten. Schüler 3 erwartete nur einen Punkt zu sehen und Schüler 4 zwei Striche. Die anderen erwarteten ein Interferenzmuster, meist aufgrund des quantenmechanischen Doppelspaltexperiments. Fast alle Schülerinnen und Schüler haben bei der ersten Vorstellung vor dem Experiment den schmalen Durchmesser des Laserstrahles nicht in ihre Überlegungen mit einbezogen und daher zuerst einmal ein Interferenzmuster in Form von senkrechten Strichen erwartet. Nach dem Hinweis auf die Überlagerung mit der Beugung wurde im Folgenden hauptsächlich über die Interferenz im Hauptbeugungsmaximum gesprochen,

meist unterstützt mit einem Blick durch eine Zerstreuungslinse als Lupe. Nur Schülerin 5 sprach von sich aus von Interferenzmaxima und -minima und benannte eine Winkelabhängigkeit und ein Unterschied in der Weglänge als ausschlaggebend. Alle anderen Schülerinnen und Schüler hatten zwar schon im Unterricht davon gehört, konnten diese aber nicht auf Anhieb benennen. Die Wellenoptik wird in den meisten Schulen in Österreich erst spät im siebenten Schuljahr behandelt und daher waren die meisten der interviewten Schülerinnen und Schüler bereits im achten Schuljahr, wo bereits Quantenmechanik unterrichtet wird. Bei diesen fünf Schülerinnen und Schülern wurde das Doppelspalt-Experiment automatisch mit quantenmechanischen Phänomenen in Beziehung gebracht. Überhaupt tendierten die Schülerinnen und Schüler aus der Sekundarstufe 8 jedes Phänomen mit Licht, das sie sich nicht erklären konnten, mit Effekten aus der Quantenmechanik zu erklären. Die Fehlvorstellung, dass bei Vergrößerung des Spaltabstandes die Interferenzmaxima weiter auseinander liegen werden, trat bei vier der sechs Schülerinnen und Schüler auf, die beiden anderen erwarteten kein Veränderung der Abstände der Maxima und Minima.

Bei der Wasserwellenbetrachtung konnte nur Schüler 1 die Phasenbeziehung als wichtig für die Betrachtung nennen. Schüler 3 und Schülerin 5 hatten zwar schon davon gehört, konnten aber keine genaueren Angaben machen. Die andern Schülerinnen und Schüler verbanden die Kohärenz nur mit gleicher Frequenz. Bei Schüler 6 trat die Fehlvorstellung auf, dass es nur vom Abstand einer Quelle zum Detektor abhängig ist, ob an der angegebenen Stelle ein Maximum oder ein Minimum am Schirm zu sehen sein wird. Schüler 4 hatte ein stationäres Bild im Kopf und kam daher zur Fehlvorstellung, dass entlang der Linie von den zwei Quellen bis zum Punkt A abwechselnd Maxima und Minima auftreten.

Die Schülerinnen und Schüler konnten keine Regeln nennen, wie man die Intensität an einem Punkt des Schirmes bestimmen könnte. Die Erklärungsversuche der meisten Schülerinnen und Schüler drehten sich nur um den Abstand vom Schirm. Nur Schüler 1 und Schülerin 5 konnten sich an den Begriff Gangunterschied aus dem Unterricht erinnern, sie konnten diesen aber nicht ganz korrekt erklären.

5.2.1 Beugung

Vier Schülerinnen und Schüler gingen davon aus, dass der Laserstrahl einfach durchgeht, nur Schülerin 5 erwartete ein Interferenzmuster wie in Abbildung 4.9 zu sehen. Schüler 6 vermutete, dass der Strahl vertikal verteilt wird, was auf eine Polarisationsfehlvorstellung schließen lässt. (Siehe Abbildung 4.9) Schülerin 2 konnte sich an eine Aussage im Unterricht erinnern, dass etwas passiert, wenn die Spaltbreite in der Nähe der Wellenlänge ist, konnte dies aber im Interview nicht umsetzen. Alle Schülerinnen und Schüler identifizierten die Beobachtung als Interferenzmuster, konnten aber nicht

die Beugung als das vorliegende Phänomen benennen und erkannten - bis auf Schülerin 5 - auch nicht, dass die Interferenzmaxima und -minima im ersten Beugungsmaximum fehlen. Die verschiedenen Erklärungsversuche reichten von Quantenmechanik bis Fußball, waren jedoch nur phänomenologische Erklärversuche und keine Erkenntnisse aus dem Unterricht. Schüler 6 zeigte klar die Vorstellung aus dem Lehrbuch von Apollin mit dem durchpassenden geometrischen Strahl und der Beugung nur am Rand.

5.2.2 Optische Gitter

Die Schülerinnen und Schüler konnten optische Gitter nicht aus dem täglichen Leben benennen. Fast alle Schülerinnen und Schüler blickten durch das Gitter und erkannten im Sonnenlicht eine Aufspaltung in die Spektralfarben, die sie aber meist als „Regenbogen“ bezeichneten. Sie waren durchwegs überrascht vom auftretenden Interferenzmuster beim optischen Gitter. Die Erklärungen reichten dann von „gebrochenen Strahlen“, also der Interpretation des Effekts mit der Brechung von Licht, über Aufspaltung des Laserstrahls durch die einzelnen Spalten des Gitters („so viele Punkte wie Spalten“) bis zur Interferenz. Fast allen Schülerinnen und Schülern war nach dem Hinweis, dass die davor stattgefundenen Experimente helfen könnten, klar, dass die Wellenlänge Einfluss auf das Interferenzbild auf dem Schirm hat und daher wurde auch bei drei der sechs Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit weißem Licht richtigerweise die Spektralaufspaltung erwartet.

5.3 Vorstellungen zum Licht

Die Schülerinnen und Schüler haben, insbesondere nach dem Quantenmechanik-Unterricht, nur vage Vorstellungen zum Licht. Ein typisches Beispiel ist der folgende Interviewteil mit Schülerin 5:

„IA: Was ist überhaupt generell deine Vorstellung von Licht. Das würde ich generell gerne mal wissen.

S5: Von Licht. Ok. Also das Erste was ich denke, wenn ich höre Licht ist einfach die Sonne.

IA: Ja.

S5: Und dann irgendwie, wenn ich genau darüber nachdenke, sind's halt eben diese Wellen. Ja. Weil durch die Wellen sehen wir das Licht und dann gibt's eben verschiedene Arten dann wieder was für Licht wir sehen. Dann gibt's ja auch irgendwie, dass manche Tiere mehr Licht sehen als wir und so also Farben eigentlich Lichtfarben irgendwie so. Ja.

IA: Was, wovon hängt das ab, was wir sehen können und was nicht?

S5: Ähm, ich glaub einfach was für uns zugänglich ist von unserem Auge also welche Sachen wir eben absorbieren können und welche nicht, glaube ich.

IA: Aber welche physikalische Eigenschaft hat diese Welle? [...]

S5: Und das hat Photonen oder ist Photon nicht eh auch ein Licht?“ (6.3.5,

Zeile 287-310).

Ein weiteres Beispiel, dass im Unterricht keine Vorstellungen gebildet werden, sondern widersprüchliche Erklärungen einfach akzeptiert werden, ist repräsentativ bei Schüler 6 zu erkennen. Schüler 6: „na ja, Licht ist Energie, die sich in Form von Photonen [...] gleichzeitig als Welle und als Teilchen bewegt“ (6.3.6, Zeile 506-507). Auf die Frage „Wie stellen wir uns jetzt Licht als Welle vor?“ antwortet Schüler 6: „Na das sich durch's Anregen von Atomen eben Energie aussendet, zum Beispiel [...] bei den alten Lampen, da erhitz ich die, also schicke ich Strom durch. Dadurch werden die einerseits heiß, was ja eigentlich nur das Nebenprodukt ist, nur die waren halt sehr ineffizient und deswegen wurden sie mehr heiß als dass sie Licht abgegeben haben und dadurch strahlen sie auch und schicken eben Wellen in jede beliebige Richtung aus“ (6.3.6, Zeile 514-519). Auf die Frage, wie er sich das konkret vorstellt, antwortete er mit: „Na eigentlich gar nicht. Ich akzeptier's einfach. Weil das Ganze, es ist, es ist gleichzeitig Welle und, und Teilchen ist in meinen Augen ein bisschen gegen sich selbst, also ist, ist widersprüchlich finde ich und deswegen fahre ich leichter, also kann ich's mir leichter akzeptieren, dass es beides ist, wenn ich's mir nicht vorstell“ (6.3.6, Zeile 527-534).

5.4 Zusammenfassung

Im Allgemeinen kann man aus den Interviews herauslesen, dass die Schülerinnen und Schüler keine tieferen Vorstellungen zur Wellenoptik entwickelt haben. Die in der Literatur gefundenen Fehlvorstellungen bei Studentinnen und Studenten konnten durchwegs auch bei den interviewten Schülerinnen und Schülern gefunden werden und zwar unabhängig von deren Selbsteinschätzung bezüglich der Note. Da in Österreich Wellenoptik erst am Ende der siebenten Schulstufe unterrichtet wird und die Interviews bis auf eines mit Schülerinnen und Schülern der achten Schulstufe durchgeführt wurden, traten auch die Probleme durch quantenmechanische Erklärungen auf, da am Beginn der achten Schulstufe bereits Quantenmechanik unterrichtet wird. Das Doppelspaltexperiment gilt für die Schülerinnen und Schüler ab dann nur mehr als Hinweis für quantenmechanische Effekte und nicht lediglich zum Beweis, dass Teilchen auch Welleneigenschaften besitzen können.

Kapitel 6

Anhang

6.1 Mathematischer Anhang

6.1.1 Vektorproduktregel

Die Vektorproduktregel ist gegeben durch

$$\vec{A}_1 \times (\vec{A}_2 \times \vec{A}_3) = \vec{A}_2 (\vec{A}_1 \vec{A}_3) - \vec{A}_3 (\vec{A}_1 \vec{A}_2). \quad (6.1)$$

6.2 Interview-Leitfaden

Am Beginn sollte man die Schülerin/den Schüler über die Ziele des Interviews aufklären:

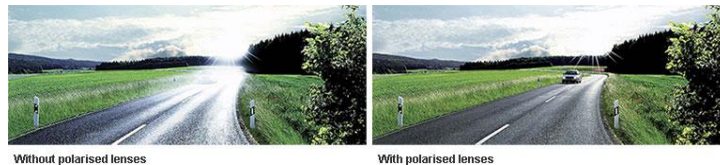
Es geht um Forschung über das Verständnis der Wellenoptik mit dem Ziel der Verbesserung des Physikunterrichts. Daher ist es wichtig für uns, dass die Schülerin/der Schüler so gut wie möglich mitmacht, laut denkt, seine Skizzen kommentiert und möglichst viele seiner Gedanken mitteilt. Dabei geht es nicht um die Richtigkeit der Antworten, diese werden auch nicht kommentiert oder bewertet, sondern um die selbst gebildeten Vorstellungen zum Thema Wellenoptik.

Das Interview wird zur besseren Auswertung aufgezeichnet, jedoch weder veröffentlicht, noch namentlich ausgewertet. Es werden nur Teile davon anonymisiert in eine etwaige Arbeit aufgenommen. Sollte die Schülerin/der Schüler es wünschen, so kann am Ende des Interviews eine Erklärung der Sachverhalte erfolgen.

1) POLARISATION

- Den Autofahrern wird empfohlen, Polarisationsbrillen anstatt einfacher Sonnenbrillen zu kaufen. Was sind die Vorteile von Polarisationsbrillen gegenüber einfacher Sonnenbrillen und warum werden sie den Autofahrern daher empfohlen?

Nach der Antwort, oder auch falls keine Antwort kommt (Hast du überhaupt schon einmal von Polarisationsbrillen gehört? Z.B. 3D-Brille in Kino), werden zwei Abbildungen gezeigt. Eine Abbildung ist durch eine Polarisationsbrille, die andere durch eine einfache Sonnenbrille aufgenommen.



Beschreibe die Unterschiede zwischen diese beiden Abbildungen? Kannst du erklären, wie diese Unterschiede zustande gekommen sind?

- Eine Abbildung ist durch eine Polarisationsbrille, die andere durch eine einfache Sonnenbrille aufgenommen worden. Kannst du herausfinden welche Abbildung durch welche Brille entstanden ist?

- Kannst du jetzt erklären, was die Vorteile von Polarisationsbrillen sind und warum?

(Hilfsfragen: Warum ist die Straße auf der einen Abbildung so hell und auf der anderen nicht? Kannst du das reflektierte Licht mit der Polarisation verbinden? Welche Rolle spielen hier die Brillen?)

Der Schülerin/dem Schüler werden zwei Folien (eine Polarisationsfolie und eine einfache dunkle Folie) sowie ein Dia mit Polarisationsfolie gegeben.

- Hier haben wir zwei Folien und ein Dia mit Polarisationsfolie. Wie könntest du überprüfen welche der beiden Folien ebenfalls eine Polarisationsfolie ist?
(Hilfsfrage: Wie könntest du die Unterschiede zwischen diesen beiden Folien herausfinden?)

Falls die Schülerin/der Schüler gleich zu experimentieren beginnt, gleich erwähnen, dass sie/er laut denken soll und dass sie/er jeden experimentellen Schritt beschreiben soll. Auch nachfragen: Warum machst du das?

Falls die Schülerin/der Schüler keine Idee zur Problemlösung hat, nachfragen: Hast du in der Schule ein Experiment zur Polarisation gesehen? Was habt ihr gemacht?

Falls dies auch nicht hilft, zwei andere Polarisationsfolien bereit haben und zeigen, was passiert, wenn man eine Folie um 90° dreht. Nachher fragen: Was ist passiert, als ich die eine Folie gedreht habe. Warum? Hast du jetzt eine Idee, wie du überprüfen könntest, welche Folie eine Polarisationsfolie ist?

- Wie würdest du diese Experimente erklären (Folien und Polarisationsfolie)? Warum sehen wir kein Licht durch die Folien, wenn wir sie um 90° gegeneinander verdrehen?
- Wie würdest du die Polarisation des Lichtes erklären?
- (Was passiert mit dem Licht, wenn es durch einen Polarisator durchgeht? – Hilfsfrage: Nachhacken, wie stellst du dir das genau vor?.)
- *Hilfsfrage: Warum sehen wir trotzdem die Lichtquelle, wenn wir nur einen Polarisator haben?*

2) INTERFERENZ: Laser und Doppelspalt

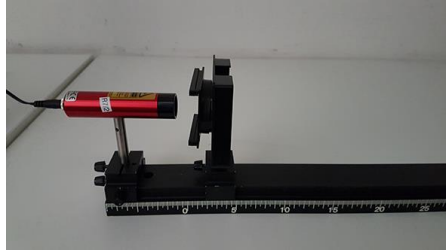


Abbildung 1: Experimentelle Lernumgebung zur Interferenz mit Rotlicht-Laser, Doppelspalthalterung und Schirm (nicht abgebildet).

- a) Hier haben wir eine experimentelle Lernumgebung, die aus einem roten Laser, einem Doppelspalt und einem Schirm zusammengesetzt ist (Doppelspalt zeigen). Was erwartest du, dass du am Schirm sehen wirst, wenn wir das Laserlicht durch den Doppelspalt durchschicken? Skizziere und erkläre deine Erwartung.

Roten Laser einschalten.

- b) Was siehst du am Schirm? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Wie stimmt deine Beobachtung mit deiner Erwartung überein?
- c) Wie würdest du erklären, wie die Abbildung am Schirm zustande gekommen ist?

Falls die Schülerin/der Schüler selbst keine dunklen und hellen Striche beschreibt, diese extra auf dem Bildschirm anzeigen, worauf wir uns konzentrieren möchten und sagen, dass wir solche Bereiche als Minima und Maxima bezeichnen. Nach Bedarf auch Zerstreuungslinse als Lupe verwenden. Interferenzminima- und Maxima in Beugungsmaximum ansprechen!

- d) Warum sehen wir Minima und Maxima? Gibt es irgendeine Regel, wann wir ein Maximum sehen werden und wann wir ein Minimum sehen werden? Skizziere und erkläre deine Antwort. Kennst du einen Namen für diese Abbildung auf dem Schirm? (Oder: Wie nennt sich dieses Phänomen?)

Falls die Schülerin/der Schüler selber Gangunterschied erwähnt, dann nachfragen: warum ist gerade der Gangunterschied wichtig und was ist Gangunterschied?

Falls die Schülerin/der Schüler Phasenunterschied erwähnt, dann nachfragen: warum ist der Phasenunterschied wichtig und was ist Phasenunterschied?

Roten Laser ausschalten.

- e) Wir verwenden jetzt statt einem roten Laser einen grünen Laser? Wird sich die Abbildung auf dem Schirm ändern und wenn ja wie?
Falls du keine Änderungen erwartest, erkläre warum. Falls du eine Änderung erwartest, skizziere was du erwartest und erkläre deine Antwort. (Versuche deine Skizze unter der Skizze für den roten Laser zu machen.)

- f) Wenn wir den Abstand zwischen den Spalten vergrößern, wird sich die Abbildung auf dem Schirm ändern und wenn ja wie?
Warum? Skizziere deine Vermutung.

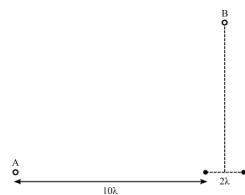
Doppelspalt mit 1mm Abstand einsetzen und roten Laser einschalten.

- g) Was kannst du auf dem Schirm beobachten? Mach eine Skizze und beschreibe deine Beobachtungen. Wie stimmt deine Beobachtung mit deiner Erwartung überein? Wie könntest du das erklären?

*Nochmal genau auf die Interferenzminima- und Maxima im Beugungsmaximum hinweisen!
Roten Laser ausschalten.*

- h) Wir wollen jetzt kurz über Wasserwellen sprechen, dasselbe gilt aber auch für Lichtquellen. Die Abbildung  zeigt zwei kohärente Wellenquellen. Was bedeutet, dass die Wellenquellen kohärent sind und warum ist das wichtig für die Interferenz?

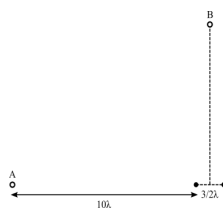
- i) Die Abbildung zeigt zwei Wellenquellen (z.B. Wellen auf einer Wasseroberfläche), die um 2λ voneinander getrennt sind. (siehe Abbildung)



- Wird im Punkt B ein Minimum oder ein Maximum sein? Warum?
- Wird im Punkt A ein Minimum oder ein Maximum sein? Warum?
- Wenn der Abstand zum Punkt A 11λ ist, wird im Punkt A ein Minimum oder ein Maximum sein? Warum?

Skizziere und erkläre deine Antworten.

- j) Die Abbildung zeigt zwei Wellenquellen, die um $\frac{3}{2}\lambda$ voneinander getrennt sind. (siehe Abbildung)



- Wird im Punkt B ein Minimum oder ein Maximum sein? Warum?
- Wird im Punkt A ein Minimum oder ein Maximum sein? Warum?
- Wenn der Abstand zum Punkt A 11λ ist, wird im Punkt A ein Minimum oder ein Maximum sein? Warum?

Skizziere und erkläre deine Antworten.

- k) Zurück zum Licht. Gegenüber von zwei Lichtquellen befindet sich ein Schirm. Wie würdest du bestimmen, ob du in einem Punkt auf dem Schirm ein Minimum oder ein Maximum sehen wirst? (Mach eine Skizze, damit du deine Antwort besser erklären kannst.)



Falls bis jetzt Gangunterschied, oder Phasenunterschied noch nicht vorgekommen, an dieser Stelle danach fragen!

3) BEUGUNG

Abbildung 2: Experimentelle Lernumgebung zur Beugung mit Rotlicht-Laser (nicht abgebildet), Grünlicht-Laser und verstellbarem Spalt.

- a) Die experimentelle Lernumgebung entsteht aus einem verstellbaren Spalt, einem roten Laser und einem Schirm. Der Spalt hat am Beginn die Breite von ungefähr 2,5 mm. Was erwartest du auf dem Schirm zu sehen, wenn das rote Laserlicht auf den Spalt trifft? Skizziere deine Vermutung und erkläre deine Antwort.

Roten Laser einschalten

- b) Was kannst du beobachten? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Wie stimmt deine Beobachtung mit deiner Erwartung überein? Erkläre, wie die Abbildung auf dem Schirm zustande gekommen ist.

Roten Laser ausschalten

- c) Jetzt werden wir den Spalt auf ungefähr 0,3 mm schmaler machen. Wird sich die Abbildung auf dem Schirm ändern und wenn ja wie, wenn wir den Laser wieder einschalten? Skizziere und erkläre deine Vermutung.

Roten Laser einschalten

- d) Was kannst du beobachten? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Wie stimmt deine Beobachtung mit deiner Erwartung überein?

Erkläre, wie die Abbildung auf dem Schirm zustande gekommen ist.

Roten Laser ausschalten.

- e) Erkläre, warum wir Minima und Maxima auf dem Schirm sehen. Gibt es eine Regel, wann du Minima und wann du Maxima siehst? Erkläre vor allem, wann wir den ersten dunklen Bereich sehen. Erkläre anhand einer Skizze.

- f) Was erwartest du auf dem Schirm, wenn wir den Spalt noch enger machen? Skizziere und erkläre deine Erwartung.

Spalt enger machen (so dass nur mehr Hauptmaximum zu sehen ist, aber noch nicht die ganze Breite einnimmt) und roten Laser einschalten

- g) Was kannst du beobachten? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Wie stimmt deine Beobachtung mit deiner Erwartung überein?

Roten Laser ausschalten und durch grünen Laser ersetzen.

- h) Was erwartest du wenn wir statt einem roten Laser einen grünen Laser verwenden? Wird sich auf dem Schirm etwas ändern und wenn ja wie? Falls du keine Änderungen auf dem Schirm erwartest, erkläre warum. Falls du eine Änderung erwartest, skizziere was du erwartest und erkläre deine Antwort. (*Versuche deine Skizze unter der Skizze für den roten Laser zu machen.*)

Grünen Laser einschalten

- i) Was kannst du beobachten? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Wie hat sich das Bild im Vergleich zum Bild mit dem roten Laser verändert? Versuche die Änderungen zu beschreiben.

Grünen Laser ausschalten

- j) Was würden wir auf dem Schirm sehen, wenn die Spaltbreite kleiner als die Wellenlänge des Lichts wäre? Erkläre deine Antwort.

4. OPTISCHES GITTER

Aufbau wie beim Interferenzexperiment mit optischem Gitter 80 Linien/mm.

- a) Hier haben wir zwei unterschiedliche optische Gitter. Wie würdest du erklären, was ein optisches Gitter ist? Kennst du ein Beispiel für ein optisches Gitter aus dem täglichen Leben?
- b) Was erwartest du auf dem Schirm zu sehen, wenn das Licht eines roten Lasers auf das Gitter mit 80 Linien/mm trifft? Skizziere und erkläre deine Erwartung.

Roten Laser einschalten

- c) Was kannst du beobachten? Skizziere deine Beobachtung. Erkläre warum du so ein Bild beobachten kannst.

Roten Laser ausschalten

- d) Auf diesem optischen Gitter stehen 300 Linien pro mm. Was bedeutet das? Wie unterscheidet sich dieses Gitter von dem vorherigen? (Das vorherige hat 80 Linien pro mm) Wird sich auf dem Schirm etwas ändern und wenn ja wie, wenn wir jetzt das Gitter mit 300 Linien pro mm verwenden? Skizziere und erkläre deine Erwartung.

Gitter tauschen und roten Laser einschalten

- e) Was kannst du beobachten? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Wie stimmt deine Beobachtung mit deiner Erwartung überein?

Roten Laser ausschalten und durch grünen Laser ersetzen und 800 Linien/mm Gitter einsetzen.

- f) Wird sich auf dem Schirm etwas ändern und wenn ja wie, wenn grünes Licht auf das Gitter mit 80 Linien pro mm trifft? Skizziere und erkläre deine Vermutung.

Grünen Laser einschalten

- g) Was kannst du beobachten? Skizziere und erkläre was sich geändert hat?

Grünen Laser ausschalten.



Taschenlampe, Halterung mit Spaltblende und Fokussierungslinse ersetzen. Erklären, wozu wir Blende und Linse brauchen.

- h) Was erwartest du auf dem Schirm zu sehen, wenn wir jetzt das Gitter mit weißem Licht beleuchten? Erkläre und skizziere deine Erwartung.

Taschenlampe einschalten.

- i) Was kannst du beobachten? Skizziere und beschreibe deine Beobachtung. Erkläre wie das Bild zustande gekommen ist? (Warum sehen wir unterschiedliche Farben?)

Taschenlampe ausschalten.



6.3 Transkriptionen

Legende:

" . " bedeutet eine Pause von einer Sekunde,

" . . " bedeutet eine Pause von zwei Sekunden,

" . . . " bedeutet eine Pause von drei Sekunden im Interview. Alle längeren Pausen werden in Klammern angegeben.

6.3.1 Interview 1

Das Interview wurde vom Verfasser der Arbeit (IA) durchgeführt und fand am 9.3.2018 im Schulversuchspraktikum (Boltzmanngasse 5, 1. Stock) statt. Bei diesem Interview war auch die Betreuungsperson (IB) anwesend. Der Schüler besucht die 8. Klasse und schätzt sich selbst mit Note 1 in Physik ein.

- 1 **IA:** Wir haben da zwei Bilder: Was fällt dir an diesen Bildern auf?
- 2 **S1:** Nun bei einem sieht man ein Auto und beim andern sieht man kein Auto.
- 3 **IA:** Gut, das ist schon mal gut. Warum könnte das so sein?
- 4 **S1:** Na ja, die Sonne scheint heller zu sein - also das Bild überhaupt scheint heller
- 5 zu sein als das andere und es, die Straße ist reflektiert mehr Licht.
- 6 **IA:** Ja, kannst du vorstellen, warum das so sein kann, dass das eine. Es ist beides
- 7 mal die gleiche Situation quasi aufgenommen - warum das eine und warum das
- 8 andere so ist? Fällt dir da ein Effekt aus der Physik ein?
- 9 **S1:** Die, die, die Lichtrezeption der Kamera, also die, die Helligkeit der Kamera
- 10 einfach aufgestellt haben.
- 11 **IA:** Ok.
- 12 **S1:** Beziehungsweise ähm - es ist das gleiche Photo?
- 13 **IA:** Prinzipiell ist es das gleiche Photo. Es ist nur mit zwei unterschiedlichen Dingen
- 14 aufgenommen worden.
- 15 **S1:** Ok.
- 16 **IA:** Also es ist etwas dazwischen, zwischen dem Fotoapparat und dem Objekt.
- 17 **S1:** Ok. Aha.
- 18 **IA:** Hast du schon mal was von den Autofahrern gehört, dass denen empfohlen wird,
- 19 Polarisationsbrillen zu verwenden?
- 20 **S1:** Ok. Ja. Ja. (lacht) Hätte ich mir vielleicht denken könn, ja, ja. Dazu die
- 21 Polarisationsbrillen sind - ich nehme an dieses Bild, das rechte, ist das mit dem
- 22 Polarisationsfilter aufgenommen - e, weil die Polarisationsfilter das Licht der
- 23 Sonne ein kleines bisschen abschwächen
- 24 **IA:** Ok.
- 25 **S1:** beziehungsweise nur einen Teil durchlassen.
- 26 **IA:** Ok, weißt du auch warum?

- 27 **S1:** Weil die Polarisationsfilter nur die Teile des Licht durchlassen die in eine bestimm-
28 te Orientierung haben, also die, die in, sorry, die eine bestimmte Polarisation
29 haben, äh je nachdem wie's die Polarisationsfilter gedreht sind.
- 30 **IA:**OK. Gut also, wa . also was ist der Vorteil an dieser Polarisationsbrille?
- 31 **S1:**Nun, ich würd sagen, man sieht ...
- 32 **IA:**Und warum?
- 33 **S1:**... einfach die Sonne nicht so stark, weil die, das Licht der Sonne in allen
34 Polarisationen vorhanden ist und ein Teil davon abgeschwächt wird.
- 35 **IA:**Ok.
- 36 **S1:**Also ein Teil davon nicht durchgelassen wird durch diese Brille.
- 37 **IA:**Gut, kannst du dir ungefähr erklären, wie das zustande kommt?
- 38 **S1:**Das - die Polaris
- 39 **IA:**Die Abschwächung quasi?
- 40 **S1:**Ja, ja, also ich weiß wie ein Polarisationsfilter aufgebaut ist ...
- 41 **IA:**Mhm.
- 42 **S1:**... halbwegs. Es sind bestimmte, ich weiß nimmer welche, mhm, Kristalle, bezie-
43 hungsweise Moleküle, welche einen, ähm, räumliche Struktur haben, sodass das
44 Licht in nur . nicht durchkommen kann, wenn das normal, wenn die Polarisation
45 normal ist zu diesen Schlitzen sozusagen ...
- 46 **IA:**Ok.
- 47 **S1:**... zwischen den Molekülen ist.
- 48 **IA:**Gut.
- 49 **S1:**Das ist zumindest das, wie ich es vorstell.
- 50 **IA:**Ok. Jetzt hätten wir da zwei Folien.
- 51 **S1:**Ahm.
- 52 **IA:**Und eine Polarisationsfolie, da wissen wir, dass es eine Polarisationsfolie ist.
53 Kannst du herausfinden, ob eine von denen auch polarisierend ist?
- 54 **S1:**(Nimmt die Folien in die Hand und beginnt sie sofort zu drehen) Ja, ich kann
55 einfach diese nehmen und so drehen
- 56 **IA:**(geflüstert) Ja.
- 57 **S1:**Das erscheint keine Polarisationsfolie zu sein, diese schon, also die rechte ist eine
58 und die linke ist keine, weil man bei der einen immer durchsieht und bei der
59 anderen, wenn man es waagrecht, äh, senkrecht dazu hält.
- 60 **IA:**Ok. Sehr gut. Ah gut, wie würdest du dann die Polarisation des Lichts erklären.
61 Hama schon abgeschlossen. . Ja ... (geflüstert) Ok. (normal) Was passiert mit
62 dem Licht, wenns durch die Polarisationsfolie durchgeht?
- 63 **S1:**. Es wird entweder absorbiert und, äh, anders abgestrahlt beziehungsweise, äh,
64 auch in der Richtung abgestrahlt, in der es abgeschwächt ist, wird, oder es wird
65 einfach durchgelassen, also je nach dem, welche Polarisation es hat.
- 66 **IA:**Ok und warum sehen wir trotzdem die Lichtquelle, auch wenn wir nur eine

67 Polarisationsfolie haben?

68 **S1:** Weil manches Licht, äh, so polarisiert ist, dass es durch die Polarisationsfolie
69 hindurch kommt ohne absorbiert zu werden, oder anders abgeschwächt zu werden.

70 **IA:** Ok. Cool würde ich so, dann sind wir mit der Polarisation fertig. Jetzt kommen
71 wir, jetzt haben wir da so eine Lernumgebung aufgebaut. Das ist ein Laser, ein
72 roter Laser, da wird ein, dazu haben wir einen Doppelspalt, wir nehmen den
73 schmalsten Spalt, den 0,25 mm. .. Was erwartest du - wir haben da auch so
74 einen Schirm - was erwartest du auf dem Schirm, wenn wir da den Laserlicht
75 durch so einen Doppelspalt durch.

76 **S1:** Das ist eine ganz normale, ganz normale Folie?

77 **IA:** Das sind zwei normale Spalten.

78 **S1:** Also, na ja, nach dem Doppelspaltexperiment würde ich mir erwarten, dass ein
79 Interferenzmuster, ähm ein der, ein Bild also als Bild entsteht.

80 **IA:** Ok. Was versteht du als, Ex, Interferenzmuster?

81 **S1:** Interferenzmuster ist, äh, also das sind senkrechte, äh, senkrecht Striche sind,
82 äh, Striche, die parallel zum Spalt aufgereiht sind. Wo in der Mitte das, die
83 meisten Teilchen hinkommen, Lichtteilchen - Lichtwellen, was auch immer das
84 jetzt, äh, wie auch immer man das jetzt bezeichnet und, äh, separate Linien, die
85 nach außen verlaufen, mit immer weniger, also immer kleinerer Intensität.

86 **IA:** Ok, könntest du uns da herzeichnen (zeigt auf Interview-Bogen Frage 2a) wie
87 du das, so ein Bild, was du erwarten würdest.

88 **S1:** Was ich erwarten würde, ohne das Experiment zu kennen?

89 **IA:** Genau.

90 **S1:** Ohne das Experiment zu kennen?

91 **IA:** Genau, also das Experiment ist: wir haben einen Laser, einen Doppelspalt, was
92 würdest du auf dem Schirm dir erwarten, was du siehst?

93 **S1:** Ok.

94 **IA:** Das, was du gerade erklärt hast, eigentlich nur nochmal hinzeichnen.

95 **S1:** Na, was ich erklärt habe ist, wenn ich das Experiment kenne aber.

96 **IA:** Ja, ja.

97 **IB:** Ja, du kennst sowieso, es kennst aus der Schule.

98 **S1:** Aus der Schule.

99 **IA:** So wie du es aus der Schule kennst. Genau.

100 **S1:** (zeichnet 10 s)

101 **IA:** Ok. . . Perfekt. Gut dann schauen wir uns jetzt an, was wirklich rauskommt.
102 Wir nehmen den Laser . .

103 **IB:** Und du bitte auf keinen Fall hier, weil das sind Laser, Laser, also bitte ja aus
104 Sicherheits.

105 **IA:** Sehr gut. Genau. Kommst du da näher zu mir bitte. Ich schalte jetzt den Laser
106 an.

107 **S1:** Aus Interesse, was ist das für ein Laser?

- 108 **IA:** Das ist ein Rotlichtlaser. Ein ganz normaler. Soda. (Schaltet Laser ein) Ok. Was
109 beobachtest du da?
- 110 **S1:** Das ich etwa das, was ich gesagt habe nur auf einer kleinen Linie - auf einer
111 kleinen waagrechten Linie aufgezeigt.
- 112 **IA:** Ok. Gut. Würdest du bitte jetzt das, deine Beobachtung dorthin skizzieren. Wie
113 du jetzt beschreiben würdest.
- 114 **S1:** Hier bei der Beobachtung?
- 115 **IA:** Genau, bei der Beobachtung.
- 116 **IB:** Kannst du es erklären? Warum konnte das anders, ein bisschen anders ausschauen
117 als die Erwartung. Woran könnte das liegen?
- 118 **S1:** Ich nehmen an, das ist weil der Laser eine ziemlich fokussiert, also ziemlich
119 fokussiert ist und, ähm, deswegen auch wenn die Spalten nach oben auch offen
120 sind, kommt dass Licht nicht so weit nach oben und zur Seite, kommt es eben
121 wegen quantenmechanischen Effekten - nehme ich an.
- 122 **IA:** Ok. Das war's eigentlich schon. Aja gut. Gut. Wie würdest denn du diese Linien
123 bezeichnen. Habt's ihr da was g'hört drüber wie man das nennt vielleicht?
- 124 **S1:** A.Eieiei. Äh. Ich würd sie einfach als Interferenzlinien bezeichnen.
- 125 **IA:** Ok gut.
- 126 **S1:** Weil ich mich grad nicht genau erinner.
- 127 **IA:** Kein Problem. Wir, wir.
- 128 **IB:** Jetzt das.
- 129 **IA:** Ok. Wie würdest du erklären, wie diese Abbildung auf dem Schirm dann zustande
130 kommt.
- 131 **S1:** Ähm. Ich würde das damit erklären, äh kurz, dass die, die, die, das Licht sich
132 wie eine Welle verhält und nicht wie ein Teilchen und das diese, äh, Punkte da
133 die wir sehen, oder diese Anhäufungen von Punkten sind nur die Überlappungen
134 von den Lichtwellen.
- 135 **IA:** Nhm.
- 136 **S1:** Den zwei Lichtwellen, die von den Spalten ...
- 137 **IA:** Nhm.
- 138 **S1:** ... kreisförmig weitergeleitet werden.
- 139 **IA:** Ok. Gut, wir sagen halt einfach die physikalische Begriff dazu Mani . . Maxima
140 und Minima. Dort ...
- 141 **S1:** JA genau.
- 142 **IA:** ... wo es heller ist, ist ein ...
- 143 **S1:** Ist ein heller, ist ein heller Punkt beziehungsweise.
- 144 **IA:** ... Maximum oder.
- 145 **S1:** Ah so, das meinen Sie.
- 146 **IA:** Ja genau. Kein Problem. Gut. Gibt's irgendeine Regel, die du kennst wie ein
147 Maximum - oder wir ein Maximum sehen?

148 **S1:** Beim Doppelspaltexperiment?

149 **IA:** Genau.

150 **S1:** Eine Regel würde ich sagen ist, dass der Maximum der größte Maximum in der
151 Mitte ist und, ähm, weiter, je weiter weg man geht, desto schwächer werden die
152 Maxima.

153 **IA:** Uhm.

154 **S1:** Und die Minima sind, glaub ich, immer gleich, also die, da wo kein Licht ist, ist
155 eben kein Licht.

156 **IA:** Uhm.

157 **IB:** Was wäre die Voraussetzung, dass es kein Licht auf einen Punkt ist, oder dass
158 es Maxima auf einem Punkt ist?

159 **S1:** Ok, das kein. Ok. Ähm. Meinen Sie, wieso es in der Mitte so hell ist und nicht
160 außen?

161 **IB:** Ja.

162 **IA:** Zum Beispiel. Ja.

163 **IB:** Ja. Zum Beispiel.

164 **S1:** Ich würd sagen, weil sich, es in der Mitte einfach wahrscheinlicher das Licht-
165 teilchen, äh, ankommen, oder weil sich die, die, die Wellen des Lichtes in der
166 Mitte, ähm, in der Mitte treffen, entweder am meisten treffen. Ich weiß jetzt
167 nicht genau, wie ich das formulieren soll.

168 **IA:** Kein Problem. Lass dir Zeit. Ganz entspannt, wie gesagt, es gibt keine Fehler.

169 **S1:** Ich würde einfach sagen, weil es, ähm, weil die Wahrscheinlichkeit größer ist,
170 dass sie in der Mitte, äh, aufzutreffen sind. Weil ich kann mir das jetzt bildlich
171 vorstellen wie sich die, die ...

172 **IA:** Nhm.

173 **S1:** ... die Wellen des Lichtes überlappen.

174 **IA:** Magst du das daher skizzieren, was du dir da vorstellst?

175 **S1:** Ja. (zeichnet 20 s). Naja. Das war zu groß - egal (zeichnet 5 s) immer noch
176 schlecht, aber gut. Ähm. Also, ich kann mir einfach hier vorstellen dass die
177 meisten, ähm der, die in der Mitte, sich die meisten, ähm, Wellen treffen werden -
178 weil es die meisten Schnittpunkte zwischen den vielen verschiedenen Wellen gibt
179 und je weiter nach außen man geht, desto, desto, desto weniger passieren diese
180 Schnittpunkte und es gibt eben manche Stellen, wo fast keine Schnittpunkte,
181 beziehungsweise es eine kleinere Häufigkeit, eine, eine, eine nicht so große Dichte
182 an Schnittpunkten gibt. So würde ich das erklären.

183 **IA:** Ok.

184 **IB:** Darf ich.

185 **IA:** Ja.

186 **IB:** Darf ich noch eine Frage - und das ist: warum würdest du sagen, dass zum
187 Beispiel hier dann ein Maximum ist und hier ein Minimum ist, also was, was ist
188 entscheidend, dass man sagt ok, hier ist Maximum, hier ist Minimum, hier ist
189 Minimum, hier ist Maximum, also was macht das aus?

- 190 **S1:** Das nehme ich an, äh, kommt von der Wellenlänge dieser, ähm, dieser Wellen,
191 dieser eben entstandenen, äh, Kreiswellen, dieser runden Wellen eben. Also ich
192 will sagen, die Wellenlänge, die, die die Frequenz, die, der Abstand von einer
193 Welle zu der anderen.
- 194 **IB:** Uhm. Kannst du es noch ein bisschen genauer erklären, wie du das meinst von
195 der Wellenlänge?
- 196 **S1:** Dieses, wenn, äh, im Sinne von, wenn diese, äh, Wellen weit auseinander sind,
197 dann würden diese Punkte weiter auseinander sein. Würde ich sagen. . Und
198 wenn sie weiter beieinander sind, dann würden die Punkte auf einer kleinen
199 Linie weiter zusammen sein.
- 200 **IB:** Ja.
- 201 **IA:** Ok. - Gut samma, soll ma.
- 202 **IB:** Weiter.
- 203 **IA:** Gut. Wir würden jetzt statt einem roten eine grünen Laser verwenden. Wird
204 sich die Abbildung auf dem Schirm ändern und wenn ja, wie kannst du das ...
- 205 **S1:** Wird sich die Abbildung.
- 206 **IA:** ... und wenn nicht, dann auch nicht, aber warum nicht.
- 207 **S1:** Das ist eine gute Frage. Also wenn wir jetzt annehmen, ich weiß jetzt nicht
208 genau, ob dies Frequenz der Wellen von den Anzahl der, der, der oder, von
209 der Anzahl, ja der, also von der Intensität des Lichtes abhängt, oder von der
210 Wellenlänge des Lichtes. Ich würde mal raten, von der Wellenlänge des Lichtes
211 und nachdem müsste sich etwas ändern, wenn es rot und grün wäre. Das heißt
212 bei grün wären sie näher zusammen sein die Sachen, die, die Maximum. Würde
213 ich sagen.
- 214 **IA:** Uhm. Gut. Magst du das dann da hinskizzieren deine Erwartung.
- 215 **S1:** Für grün?
- 216 **IA:** Ja für grün.
- 217 **S1:** (zeichnet 12 s)
- 218 **IA:** Ok. Also jetzt enger beinander hast du es jetzt gemacht, oder.
- 219 **S1:** Ja.
- 220 **IA:** Sehr gut. Gut. So, jetzt hamma. Was würde passieren, wenn wir den Abstand
221 der Spalten jetzt vergrößern? Wird sich die Abbildung ändern und wenn ja, wie
222 und warum? Das hätt ma auf der nächsten Seite zum skizzieren. Falls du da
223 eine Skizze dazu machen möchtest.
- 224 **S1:** (blättert um) Hier?
- 225 **IA:** Ja.
- 226 **S1:** Wenn wir den Abstand zwischen den Spalten ändern?
- 227 **IA:** Genau. Nämlich vergrößern.
- 228 **S1:** Hmm. Muss kurz nachdenken.
- 229 **IA:** Kein Problem.
- 230 **S1:** Ja, weiter auseinander sein, aber ich glaube, dass sich nichts verändern würde.

- 231 **IA:**Ok. Warum glaubst du, dass sich nichts verändert?
- 232 **S1:**Ich weiß es nicht. Deswegen macht man ja Experimente, aber, äh, (blättert
233 zurück) es könnte sein, dass sich nicht ändert, das sich nichts ändert, weil die
234 Wellen trotzdem an der gleichen Stelle überlappen würden, also auf der gleichen
235 relativen also.
- 236 **IA:**Gut also. Dann würde ich vorschlagen, dass du deine Erwartung daher skizzierst
237 - bitte einfach noch einmal.
- 238 **S1:**(zeichnet 8 s)
- 239 **IA:**Gut und dann schauen wir mal nach. Ich zeig dir nochmal, wie es original war,
240 also wie es mit dem 0,25 mm Abstand ist. Ok. Kommst nochmal her. Gut. So
241 und jetzt wechseln wir. Jetzt kommt der große Abstand. So gut. jetzt kommt
242 er durch. So gut. Was beobachtest du? Siehst du einen Unterschied, siehst du
243 keinen Unterschied?
- 244 **S1:**Oh ja doch, doch es hat sich geändert, dass die Maxima größer sind.
- 245 **IA:**Ok. Würdest du deine Beobachtung dorthin skizzieren.
- 246 **S1:**Ja.
- 247 **IA:**Und uns dabei sagen, was du dabei überlegst.
- 248 **S1:**(zeichnet 11 s)
- 249 **IA:**Ok.
- 250 **S1:**Nun, ich hab bemerkt, dass die Maxima einfach, äh, in die Länge gezogen
251 wurden.
- 252 **IA:**Uhm.
- 253 **S1:**Daaaas ... hä, wie ich mir das erklären will.
- 254 **IA:**Genau. Du hast eigentlich erwartet, dass es gleich bleibt. Kannst du jetzt das,
255 eine Idee was anders sein könnte.
- 256 **S1:**(Pause 5 s) Jein. Also das die Wellen, wenn sie weiter auseinander anfangen, sich
257 anscheinend . . . in einem, ähm, also das, die, die, die, die Wahrscheinlichkeit,
258 dass die Teilchen in diesem Teil auftreten, äh, das die, das die, der Teil mit dem
259 die Teilchen wahrscheinlich auftreten werden, größer ist. Ei.
- 260 **IA:**Uhm. . . . Du hat noch was auf dem Herzen. Sprichs einfach aus. Wie gesagt, es
261 gibt, kann nichts falsch sein.
- 262 **S1:**Physikalisch schon aber, ja. Ähm. Nun. Nein. Nein.
- 263 **IA:**Auch gut.
- 264 **S1:**Jetzt gerade fällt mir nichts ein.
- 265 **IA:**Schon gut. So jetzt wollen wir kurz vom Licht weggehen. Ahh. Wir sprechen
266 jetzt über Wasserwellen. Weil wir gerade, weil wir festgestellt haben, dass das
267 Wellenphänomene sind. Diese Abbildung da, diese zwei Punkte sollen zwei
268 kohärente Lichtwellen, Wellenquellen sein.
- 269 **S1:**Uhm.
- 270 **IA:**Was bedeutet das, dass die Wellenquellen kohärent sind?
- 271 **S1:**Dass sie mit derselben, also dass sie, äh, gleich anfangen, dass es keine Phasen-

- 272 verschiebung zwischen den Wellen gibt.
- 273 **IA:** Okay. Warum ist das wichtig für die Interferenz glaubst du?
- 274 **S1:** Weil, wenn es eine Phasenverschiebung gäbe, sich das Ganze wahrscheinlich
275 verschieben würde beziehungsweise sogar verzerren, ich weiß nicht genau wie,
276 aber ich kann es mir vorstellen.
- 277 **IA:** Diese Abbildung zeigt jetzt zwei Wasserquellen, eben die kohärent sind, und der
278 Abstand ist zwei mal die Wellenlänge.
- 279 **S1:** Uhm.
- 280 **IA:** Ah, was erwartest du? Wird, äh, im Punkt B ein Maximum oder ein Minimum
281 sein und wenn ja, also was und warum?
- 282 **S1:** Ja.
- 283 **IA:** Da wird ein ...
- 284 **S1:** Da wird ein Maximum sein.
- 285 **IA:** Da wird ein Maximum sein und warum glaubst du?
- 286 **S1:** Weil der Punkt B von beiden Punkten gleich weit entfernt ist.
- 287 **IA:** Gut. Und im Punkt A, der jetzt zehnmal die Wellenlänge entfernt ist, wird da
288 ein Maximum oder ein Minimum sein?
- 289 **S1:** Ja auch.
- 290 **IA:** Da wird auch ein Maximum, warum?
- 291 **S1:** Es wird ein Maximum sein glaub ich, weil ähm, weil die Wellenlängen kohärent
292 sind, es wird ein kleiner Maximum sein, aber wenn die Wellenlängen kohärent
293 sind, dann treffen sich hier äh, äh, treffen sich hier irgendwann zwei Wellen,
294 beziehungsweise diese Wellen kommen von hier schon, äh, zusammen an.
- 295 **IA:** Ok.
- 296 **S1:** Würde ich sagen.
- 297 **IA:** Gut.
- 298 **IB:** Darf ich. Eine kurze Frage.
- 299 **IA:** Ja.
- 300 **IB:** Würde sich was ändern, wenn wir hier statt zehn Lambda dreizehn Lambda
301 hätten?
- 302 **S1:** Äh. Nein.
- 303 **IA:** Ok. Gut. Dann gehen wir zur nächsten Skizze. Ähnliche Situation. Zwei kohärente
304 Wellenquellen der Abstand ist jetzt drei Halbe, drei Halbe mal die Wellenlänge.
305 Wird man im Punkt B ein Maximum oder ein Minimum sehen?
- 306 **S1:** Im Punkt B würden wir immer noch ein Maximum sehen, weil das immer noch
307 gleich entfernt ist und sich, die, eigentlich alle Wellen dort treffen.
- 308 **IA:** Uhm.
- 309 **S1:** Aber ich nehme an, sie fragen jetzt im Punkt A.
- 310 **IA:** So ist es.
- 311 **S1:** Im Punkt A würden sich, äh, warten sie, jetzt muss ich kurz nachdenken. (Pause

- 312 5 s) Nein, es würden sich keine Wellen treffen.
- 313 **IA:** Ok.
- 314 **S1:** Ah.
- 315 **IA:** Kannst du mir sagen, was du darunter verstehst, dass sich Wellen treffen?
- 316 **S1:** Es würden.
- 317 **IA:** Wie, wie erklärst, wie verstehst du Wellen quasi?
- 318 **S1:** Die Welle verstehe ich als eine (lacht) Störung, die im Kreis um den Punkt
319 weitergegeben wird.
- 320 **IA:** Uhm.
- 321 **S1:** Also eine, ähm, nicht longitudinale sondern, ähm, transiale, jetzt habe ich das
322 Wort vergessen.
- 323 **IA:** Kein Problem. Passt. Das ist schon.
- 324 **IB:** Was würde bedeuten, sich keine Wellen treffen werden im Punkt A?
- 325 **S1:** Was wollen sie?
- 326 **IB:** Wie stellen sie sich das, sich keine Wellen im Punkt A treffen werden. Kannst
327 du das erklären, warum sich keine treffen werden?
- 328 **S1:** Weil, wenn die Wellen, ähm, wie haben sie das genannt? Wenn die Wellenpunkte
329 kohärent ...
- 330 **IA:** Uhm.
- 331 **S1:** ... sind und ich nehme an ich sollt sagen, dass die Wellen sich auch mit der
332 gleichen Geschwindigkeit ausdehnen.
- 333 **IA:** Uhm.
- 334 **S1:** Äh. Und die Wellenlängen und der Abstand zwischen diesen drei Halbe ist, äh,
335 sich hier keine Wellen jemals treffen werden, sondern immer, äh, sondern sie
336 werden sich in anderen. Nein. Es werden sich keine zwei Wellen, die sich in die
337 gleiche Richtung ausbreiten werden, sich auf dieser Linie nie treffen. Würde ich
338 sagen.
- 339 **IA:** Uhm. Ok. Cool. Guuut. So, wir blättern nochmal um. So. Jetzt haben wir wieder
340 diese zwei kohärenten Wellenquellen und einen Schirm. Hast du irgendeine Idee,
341 wie man herausfinden könnte auf dem Schirm, wo ein Maximum und wo ein
342 Minimum ist?
- 343 **S1:** Jein. Ja. Also ich könnte mal anfangen, dass hier in der Mitte ein Maximum
344 ist. Ahm, weil es eben gleich weit entfernt von den beiden Punkten ist. Dann
345 müsste man halt Punkte finden, äh, bei denen die Entfernung der, der, der, der,
346 der Punkte von diesem andern Punkt eben. Darf ich.
- 347 **IA:** Ja. Ja klar. Dafür ist es da. Skizzier einfach was du denkst.
- 348 **S1:** Entfernung, wä, von diesen Punkten. Ähm, das, der, der, der Betrag, der, der,
349 die Differenz, nein, der Quotient! Zwischen der, der, dieser beiden Entfernungen,
350 äh, nein nicht der Quotient, die Differenz dieser beiden Entfernungen, ähm, ich
351 weiß nicht genau, in irgend einem Verhältnis zu der Wellenlänge stehen müsste.
- 352 **IA:** Ok.

- 353 **S1:** Müsste ich mir jetzt ausdenken genau wie, in welchem, also, gerade weiß ich
354 nicht.
- 355 **IA:** Uhm. Kannst du das da vielleicht irgendwie herausfinden was die Differenz wäre
356 von dem Weg.
- 357 **IB:** Ja. Wie würde, kannst du nur skizzieren, was die Differenz wäre, wie kommt
358 man zu Differenz?
- 359 **S1:** Nun. Zur Differenz könnte man einfach kommen, indem man sich ausrechnet,
360 wie, ähm, entweder misst was, wie lange die sind, wenn man diesen Abstand
361 weiß, oder, ähm. Also den Abstand hob i normal, oder meinen sie überhaupt
362 wie man sich ...
- 363 **IB:** Geometrisch einfach.
- 364 **S1:** Geometrisch einfach. Ah so, ja wenn man den Abstand vom Schirm zu diesen
365 Punkten weiß, dann kann man sich, äh, jeden anderen Abstand . . damit
366 ausrechnen, dass mit dem einen rechten Winkel, wenn man weiß, wo der Punkt,
367 äh, relativ zum, zu der, zu der Wellenquelle befindet.
- 368 **IB:** Uhm, darf ich?
- 369 **IA:** Bitte.
- 370 **IB:** Hast du was gehört von dem Begriff Gangunterschied?
- 371 **S1:** Gangunterschied?
- 372 **IB:** Gangunterschied oder Phasenunterschied zwischen zwei Quellen.
- 373 **S1:** Ja, ja.
- 374 **IB:** Uhm.
- 375 **S1:** Also, das ist, wenn diese Welle anfängt und diese Welle zum Beispiel später
376 anfängt, oder früher und sie nicht, also, die, die, die Quellen, die, die, die
377 Wellenquellen (lacht) nicht, äh, in der gleichen Geschwindigkeit oder nicht in
378 der gleichen, äh, Zeit die Wellen aussenden.
- 379 **IB:** Uhm. Und was hat das für die Nachfolge, also wie weit beeinflusst das die
380 Interferenz?
- 381 **S1:** Äääähmmmm, ich würde sagen, man, es verschiebt sich. Wenn das zum Beispiel
382 später anfängt, würde es sich nach links verschieben, wenn das rechte später
383 anfängt und umgekehrt. Ich glaube, dass sie sich nur verschieben würden, aber
384 ich bin mir nicht sicher, vielleicht verzerren sie sich auch.
- 385 **IA:** Uhm.
- 386 **S1:** An dieser Seite sind sie vielleicht auch gestaucht.
- 387 **IA:** Ok. Gut würd das jetzt abschließen.
- 388 **IB:** Ok.
- 389 **IA:** Gut. Sooo. Jetzt haben wir noch ein anderes Experiment vorgesch, vorgesehen
390 und zwar . . haben wir da einen grünen Laser. Eigentlich sollten wir mit dem
391 roten Laser beginnen, fällt mir grad ein. (8 s Vorbereitungsgeräusche) Gut wir
392 haben hier einen roten Laser und einen Spalt, der ist variabel von groß, von ganz
393 breit bis ganz schmal, den man schließen kann. Ok. Der Spalt hat am Beginn
394 eine Breite von 2,5 mm, also ist am Beginn 2,5 mm breit. Aahh, wenn das rote

- 395 Laserlicht auf den Spalt trifft, was wird da passieren? Hast du da eine Idee, eine
396 Vermutung? Würdest du das wieder da aufzeichnen.
- 397 **S1:** Hier?
- 398 **IA:** Ja, bitte da.
- 399 **S1:** Hmm.
- 400 **IA:** Das ist jetzt ein Einzelspalt.
- 401 **S1:** Ja. Wie zeichne ich das? Ich würde sagen (zeichnet 18 s)
- 402 **IA:** Ok.
- 403 **S1:** So?
- 404 **IA:** Kannst du mir ganz kurz erkl, die Skizze erklären, was du da ...
- 405 **S1:** Ja, das in der ...
- 406 **IA:** ... dir drunter vorstellst?
- 407 **S1:** ... Mitte, das in der Mitte heller ist als nach außen.
- 408 **IA:** Ok.
- 409 **S1:** Das da halt immer, ähm ...
- 410 **IA:** Gut.
- 411 **S1:** ... nicht so intensiv auftritt. Nicht so viele Teilchen auftreffen wie in der Mitte.
- 412 **IA:** Ok.
- 413 **IB:** Und warum.
- 414 **S1:** Ähm, na ja, wenn wir es so wie bei dem Doppelspaltexperiment erklären, dann
415 weil sich die Welle in, äh, kreisförmig ausbreitet, aber es, äh, wahrscheinlich ist,
416 dass die Teilchen durchkommen, ohne, äh, abgelenkt zu werden, als sie abgelenkt
417 werden, vor allem sie werden ja zerstreut und je weiter man nach außen geht,
418 desto, äh, weniger Teilchen gehen, desto kleiner wird die Teilchendichte pro . .
419 pro . . Zentimeter.
- 420 **IA:** Ok. Dann würde ich sagen, schauen wir uns an, was passiert. Schalten wieder
421 das Gerät ein. Bist du wieder an meiner Seite. Sehr gut. So muss nur mehr da
422 durchleuchten (Gerät justieren: 9 s) So, was beobachtest du?
- 423 **S1:** Mhm. Ein bisschen, was ich gesagt habe.
- 424 **IA:** Ok.
- 425 **S1:** Also, die Mitte ist ein bisschen heller als erwartet, aber, äh, es gibt eine schöne
426 Linie, die sich nach rechts und nach links ausbreitet.
- 427 **IA:** Ok. Würdest du deine Beobachtung jetzt hier skizzieren und erklären, warum's
428 nicht ganz deiner Erwartung entsprochen hat.
- 429 **S1:** (zeichnet 7 s) Weil ich glaube, der Spalt, äh, so groß war, dass der fast, fast
430 oder das ganze, der ganze Laserstrahl durchkommen konnte und deswegen ist es
431 kreisförmig und heller als ich es hier erwartet hätte.
- 432 **IA:** Ok. Sehr gut. Jetzt (undeutliches Murmeln), jetzt würden wir den Spalt ver-
433 schmälern und zwar so auf zirka 0,3 mm Abstand, also Breite. Was würdest du
434 da jetzt erwarten, was ma am Schirm sehen?

- 435 **S1:** Soll ich es wieder skizzieren?
- 436 **IA:** Bitte wieder skizzieren und erklären, was sich ändern würde und warum sich's
437 ändern würde . . . oder ob sich überhaupt was ändert.
- 438 **S1:** Ja, ich glaub schon. Ein bisschen kleiner dargestellt als hier natürlich. (zeichnet
439 5 s)
- 440 **IA:** Ok.
- 441 **S1:** Ich, ich würde darauf tippen, na ja vielleicht sollte ich es ein bisschen, ähm,
442 diesen weiter.
- 443 **IA:** Ok.
- 444 **S1:** Also, ich würde sagen, dass es, ähm, das der, der, der Maximum hier kleiner
445 ist als da oben und nicht so hell und dass es sich vielleicht ein bisschen weiter
446 ausdehnt der Strich, obwohl, da weiß ich nicht genau, ob er so lange sichtbar ist,
447 weil weniger Licht durchkommt.
- 448 **IA:** Uhm. Ok. Probieren wir das mal aus und schauen uns an, was herauskommt.
449 Ich mach den Spalt jetzt kleiner. So. Gut. Ich schalte wieder ein. Was kannst du
450 da jetzt beobachten.
- 451 **S1:** Ich kann ein Interferenzmuster, ein kleines, beobachten, mit einem großen
452 Maximum in der Mitte und kleinen Maxima, äh, am Rande.
- 453 **IA:** Ok. Magst du das skizzieren. Schaust du dir das noch einmal genau an und.
- 454 **S1:** (zeichnet 6 s)
- 455 **IA:** Kannst du uns deine Vermutung sagen, was der Unterschied ist. Du hast ja was
456 anderes eigentlich erwartet.
- 457 **S1:** Ja. Ich habe mir was Kontinuierlicheres erwartet. Äh, aber es war auch ein
458 Interferenzmuster. So wie beim Doppelspalt. Ähm, ich kann vermuten, dass es.
459 Erstens kann ich vermuten, dass auch beim ersten Mal ein Interferenzmuster
460 entstanden ist, aber das man beim zweiten Mal, ähm, äh, mehr zu sehen war,
461 weil die, die, die, der Abstand zwischen den Maxima größer wurde und wie ich
462 mir das jetzt erkläre, dass ein Interferenzmuster besteht, äh, daran erinnere ich
463 mich gerade nicht, also (lacht) ...
- 464 **IA:** Ok.
- 465 **S1:** ... ich hätte nicht auf das getippt.
- 466 **IA:** Gut. Magst du eine Skizze dir vorf, dir überlegen, wie das zustande kommen
467 könnte mit dem einfachen Spalt. Hast du da eine Idee, wenn wir das da auf
468 der Rückseite machen würden. Wir haben da, wenn wir den Schirm hier wieder
469 machen.
- 470 **S1:** Hier.
- 471 **IA:** Genau, und jetzt den Spalt vorne und warum gibt's da jetzt dieses Muster, das
472 du da gesehen hast. Wie könnte das zustande kommen.
- 473 **S1:** Hmh. (zeichnet 34 s) ähm, hä, hä, iiich hab keine Ahnung.
- 474 **IA:** Ok. Na kein Problem.
- 475 **S1:** Beziehungsweise ich wüsste nicht, wie ich das skizzieren sollte. Es . . . Dazu
476 eine Vermutung die ich haben könnte ist, das, äh, die naja, dass das . Licht

- 477 durch, äh, mir jetzt gerade unbekannte quantenmechanische Effekte, äh, ein eine
478 . Wahrscheinlichkeitswelle, ein Wahrscheinlichkeitsmuster, äh, hat, also das die,
479 das es gibt ein, einen, ein bestimmtes, dieses Muster hier ist eben nur ein Muster
480 von Wahrscheinlichkeit, wo es wahrscheinlich ist, dass das Licht ankommt oder
481 nicht. Aber ich kann mir gerade nicht erklären wieso.
- 482 **IA:** Ok. Kein Problem. Passt. Super. Wieder zurück (blättert Seite zurück). So wir
483 würden jetzt gern einen grünen Laser verwenden anstelle des roten Lasers mit
484 dem gleichen Abstand, diesen 0,3 Millimeter. Was erwartest du, das passieren,
485 was wir sehen werden? Wird sich was ändern, wird sich nichts ändern. In beiden
486 Fällen warum erwartest du das?
- 487 **S1:** Das war ein roter Laser, das ist ein grüner Laser?
- 488 **IA:** Genau, jetzt würden wir einen grünen Laser verwenden. Also eine grüne Licht-
489 quelle quasi.
- 490 **S1:** (denkt 6 s nach) Es könnte sein, . dass . es . jetzt . ähmm, das der Mittelpunkt
491 nicht so hell wird, sein wird . und das . äh, dass es das überhaupt, das Ganze nicht
492 so hell sein wird, wie das, wie der Rote und, äh, das die, sodass zu mindestens
493 äh, hmm, mittn Spalt welche, wie, welche Größe?
- 494 **IA:** Der Spalt ist immer noch gleich 0,3 Millimeter. So wie es da war.
- 495 **S1:** Ok. So wie es da ist. Dann würde ich sagen. Ich würde sagen so wie hier, aber
496 die Abstände zwischen den Spalten sind . ich würde auf kleiner tippen.
- 497 **IA:** Ok. Würdest du das da jetzt einfach mal hinskizzieren und dann schau ma's
498 uns an.
- 499 **S1:** (beginnt zeichnen) und die Spalte, die Maxima sind nämlich auch kleiner, würde
500 ich sagen. (zeichnet 13 s) Das hab ich jetzt, sorry.
- 501 **IA:** Ok. Ja. Gut. Dann wollen wir das einmal ausprobieren. Jetzt nimm ma den
502 grünen Laser.
- 503 **S1:** Jetzt ist. Ich hab. Ich hab nur ganz kurz jetzt vielleicht eine Theorie, äh, gebildet.
- 504 **IA:** Ja. Sehr gut.
- 505 **S1:** Dass . es vielleicht mit der Wellenlänge des Lichts zu tun haben könnte. Äh,
506 ob es jetzt, äh, von dem Spalt reflektiert wird oder nicht. Also nicht, dass die
507 Wellenlänge jetzt, äh, dass das Licht so sehr ausschwingt, aber dass, ähm, es
508 wahrscheinlicher ist, dass es den Spalt trifft oder, äh, nicht, aber ich weiß es
509 nicht, keine Ahnung. Also.
- 510 **IA:** Ok. Ah. Ja.
- 511 **S1:** Schaun wir mal.
- 512 **IA:** Ja. Schauen wir mal. Dazu ist ja das Experiment da. Du hast vollkommen recht.
513 So (Hantiergeräusche 10 s) So. Gut.
- 514 **S1:** Hej. Ich hatte sogar recht.
- 515 **IA:** Gut, was beobachtest du.
- 516 **S1:** Mir scheint. Die Sachen scheinen mir ein bisschen kleiner sein, die die Maxima
517 und die Abstände zwischen den Maxima kleiner.
- 518 **IA:** Sehr gut. Magst du dass auch wieder skizzieren.

- 519 **S1:** Ja.
- 520 **IA:** Hast es gut ang'schaut? Sehr gut.
- 521 **S1:** (zeichnet 15 s)
- 522 **IA:** Ok. Also das hat mit deiner Erwartung übereingestimmt in Wahrheit.
- 523 **S1:** Ja.
- 524 **IA:** Sehr gut. Dann mach ma noch, aahh, was würde passieren, wenn wir jetzt den
- 525 Spalt noch enger machen würden, glaubst du?
- 526 **S1:** Noch enger?
- 527 **IA:** Würd sich was ändern an dem Bild? Wie würd sich's ändern?
- 528 **S1:** Hmmm jaa, es würd sich was ändern . Ich glaube die, die, die Maxima würden
- 529 weiter auseinander sein.
- 530 **IA:** Ok. Magst du das skizzieren vielleicht.
- 531 **S1:** (zeichnet 12 s) Rot oder grün?
- 532 **IA:** Das ist der Grüne.
- 533 **S1:** Grün.
- 534 **IA:** Den Grünen lass ma jetzt.
- 535 **S1:** (zeichnet 11 s)
- 536 **IA:** Ok. Kannst du mir noch erklären, was diese Veränderung jetzt sein soll gegenüber
- 537 dem vorigen noch einmal, das war.
- 538 **S1:** Äh, größer die Spalten sind, also die.
- 539 **IA:** Die Abstände zwischen.
- 540 **S1:** Die Abstände zwischen den Maxima sind größer als vorher.
- 541 **IA:** Ok. Aber mit den Maxima verändert sich nix oder wird sich was verändern?
- 542 **S1:** Äh, es, ich glaauube, dass sie nicht so hell sein werden.
- 543 **IA:** Ok.
- 544 **S1:** Ahh, also, dass, das, das ist. Ja. Aber vielleicht werden sie kleiner.
- 545 **IA:** Ok.
- 546 **S1:** Vielleicht.
- 547 **IA:** Gut.
- 548 **S1:** Ich weiß nicht.
- 549 **IA:** Dann wer ma. Dann schauma's uns doch an. So. (Hantiergeräusche 5 s) So.
- 550 **S1:** Oh, sie werden größer.
- 551 **IA:** Ok. Was beobachtest du?
- 552 **S1:** Die Maxima werden größer. Die Abständen scheinen kleiner zu werden.
- 553 **IA:** Okay. Gut. Zeichnest du die Beobachtung wieder auf.
- 554 **IB:** Ah. Stopp. Machen sie noch damit weiß.
- 555 **IA:** Ok. Woll ma nur das, ok. Schaust du noch einmal, wir haben jetzt den Spalt

- 556 noch eine Spur enger gemacht.
- 557 **S1:** Ah.
- 558 **IA:** Was passiert ist.
- 559 **S1:** Ok. Sie sind. Die, die, die . die, die, Sp, die Abstände zwischen den Spalten
560 anscheinend nicht wirklich kleiner geworden, sondern aber dafür sind die Spalte
561 jetzt seeehhhr in die Länge gezogen.
- 562 **IA:** Ok.
- 563 **S1:** Die die, die Maxima, sorry.
- 564 **IA:** Sehr gut. Skizzierst du das uns bitte.
- 565 **S1:** (zeichnet 9 s)
- 566 **IA:** Und hast du eine Vermutung, warum du deine Erwartung jetzt nicht erfüllt ist.
- 567 **S1:** Hmmmhm. Na ja. Ja. Weil ich davon ausgegangen bin, beziehungsweise in
568 meinem Denken damit, äh, gerechnet habe, dass die Spalten. Also, dass die
569 Maxima und, äh, die, die Lücken zwei verschiedenen Sachen sind, aber äh, äh, es
570 is, sie scheinen, äh, ein bisschen zusammen zu gehören im Sinne von, wenn die,
571 äh, äh . wenn die, die, die, wenn die Maxima sich jetzt ausdehnen. Nein. Sorry,
572 umgekehrt, wenn die Maxima sich ausdehnen, dann äh . ääähhhh, sind sie auch
573 weiter entfernt im Sinne, das sie jetzt mit, mittn, äh, mittn Abständen zwischen
574 den Spalten eben nicht unbedingt etwas, also . .
- 575 **IA:** Wir haben ja nur einen Spalt.
- 576 **S1:** Ja. Nein. Zwischen den, zwischen den Maxima. Abstand zwischen den Maxima.
- 577 **IA:** Ah, den Abstand meinst du.
- 578 **S1:** Sorry.
- 579 **IA:** Zwischen den.
- 580 **S1:** Ja, es ist ein bisschen, wenn man vergisst.
- 581 **IA:** Ja, ja klar, kein Problem.
- 582 **S1:** Soll ich die Minima nennen, vielleicht ist es dann leichter.
- 583 **IA:** Ja. Das wären die Minima und dazwischen die Maxima sind. Genau. Was
584 würdest du erwarten, wenn wir jetzt den Abstand kleiner als die, den Abstand so
585 klein machen, dass die Wellenlänge, kleiner als die Wellenlänge ist der Abstand.
586 Also die Spaltbreite kleiner ist als die Wellenlänge?
- 587 **S1:** Wenn die kleiner als die Wellenlänge ist? Wenn die Spaltbreite kleiner als die
588 Wellenlänge ist, äh, dann kommt sehr wenig Licht durch nehme ich an Wie
589 dick ist der Spalt.
- 590 **IA:** Der muss kleiner als die Wellenlänge dann sein.
- 591 **S1:** Nein, nein, also die Dicke von den.
- 592 **IB:** So in andere Richtung.
- 593 **S1:** Ja genau.
- 594 **IB:** Ein Millimeter oder weniger.
- 595 **IB:** Nicht so viel, aber weniger.

- 596 **IA:** Wir sind schon unterhalb von Millimeter.
- 597 **S1:** Ok. Ich würd sagen, da kommt sehr wenig Licht durch und was mit dem
598 Interferenzmuster passiert, ahhh, ich glaube, dass sich sehr weit ausbreiten
599 würde und das überhaupt nur eine Linie zu sehen sein wird. Wieder mit freiem
600 Auge.
- 601 **IA:** Uhm.
- 602 **IB:** Uhm.
- 603 **S1:** Eine sehr schwache Linie.
- 604 **IA:** Ok. Gut. Ahh. Das war's schon.
- 605 **IB:** Ich hätte noch eine Frage und hättest du eine Idee oder irgend eine Regel . wann
606 hat man Maxima jetzt und wann hat man Minima.
- 607 **S1:** Wann hat man Maxima und wann hat man Minima?
- 608 **IB:** Uhm.
- 609 **S1:** Hm. Also wie das, diese, diese ...
- 610 **IB:** Ja wie.
- 611 **S1:** ... Brechung stattfindet.
- 612 **IB:** Wie das, was man beobachtet stattfindet. Ob's irgend eine Regel dafür gibt das
613 so und falls ja, was könnte das sein?
- 614 **S1:** Na dass, dass die Wellenlänge des Lichts eine Rolle spielt. Das heißt, dass je
615 kleiner der Spalt ist, also wenn der Spalt, äh. Je kleiner der Spalt ist, desto, äh
616 hmmm . . Warten sie, sorry. Je kleiner der Spalt, desto wahrscheinlicher ist, dass
617 das Licht, äh, abgebrochen wird, äh, vom Spalt und, äh, in eine andere Richtung
618 verläuft.
- 619 **IA:** Ok. Wie, was verstehst du unter abgebrochen?
- 620 **S1:** Äh, dass es am Spalt sozusagen reflektiert wird, würde ich sagen.
- 621 **IA:** Reflektiert heißt zurückgeworfen.
- 622 **S1:** Nein, äh, nicht zurückgeworfen. Nein, einfach nur, einfach dass es, äh, äh, ach,
623 ich weiß nicht genau . . Ah nein, vielleicht ist es die Wahrscheinlichkeit, dass ein
624 Lichtstrahl, der eine andere, äh, der einen anderen Winkel hat, durchkommt.
- 625 **IA:** Uhm.
- 626 **S1:** Im Sinne von, äh.
- 627 **IA:** Kannst du das kurz hier skizzieren. Du stellst dir jetzt grad was vor.
- 628 **S1:** Ja.
- 629 **IA:** Und das hätt ich hier gern.
- 630 **S1:** Ja genau.
- 631 **IA:** Ja. Das wär super.
- 632 **S1:** Ich kann es versuchen.
- 633 **IA:** Ja, ja, das ist.
- 634 **S1:** Ein bisschen grob und ein bisschen vereinfacht. Wenn ein Lichtstrahl so durch-
635 geht, ist es ziemlich wahrscheinlich, dass er durchkommt. Wenn ein Lichtstrahl,

- 636 ich mach ihn jetzt von hier, obwohl er natürlich von hier kommt . . Das ein
637 Lichtstrahl so durchgeht ist unwahrscheinlicher, weil er, äh, dagegen, ähm . Nein
638 beziehungsweise es ist sehr schlecht gezeichnet. Sorry, es sollte auf der anderen
639 Seite.
- 640 **IA:** Brauchst dich nicht zu entschuldigen. Das passt schon.
- 641 **S1:** Das es so macht. Phh, komisch echt.
- 642 **IA:** Ok.
- 643 **S1:** Also, dass es genau diese Ausrichtung haben muss, dass es hier durchgeht. Diese
644 Richtung.
- 645 **IA:** Aber die kommen ja ...
- 646 **S1:** Wäre meine Theorie.
- 647 **IA:** ... die kommen nicht so schräg.
- 648 **S1:** Weiß ich.
- 649 **IA:** Wie hast du das gemeint?
- 650 **S1:** Natürlich kommen die nicht so schräg aber, äh, aber jedes, jeder Lichtstrahl in
651 einer . aber sie haben Recht, dass das, äh, kommt nicht wirklich, das hat keine
652 so große ...
- 653 **IA:** Breite.
- 654 **S1:** ... Breite. Plus sie würden nicht so weit da hinkommen. Nein. Dann einfach
655 nur, dass . das wenn sie . hier ankommen, hier auftreffen, sie möglicherweise die
656 Richtung ändern.
- 657 **IA:** Uhm. Ok.
- 658 **S1:** Jetzt nicht genau so, aber so stell ich mir das vor.
- 659 **IA:** Uhm. Ja. Super. Ok. Passt. Sehr gut. Guuut, und jetzt haben wir noch eine.
660 Wir sind schon beim letzten Punkt angelangt. Wir haben da . das nennt sich .
661 das sind 80 Linien pro Millimeter in diesem Dia drinnen.
- 662 **S1:** Oh. 80 Linien pro Millimeter.
- 663 **IA:** Genau . und dann hamma noch eines mit 300 Linien . und wir nennen das ein
664 optisches Gitter.
- 665 **S1:** Ah.
- 666 **IA:** Wie würdest du erklären, was ein optische Gitter ist.
- 667 **S1:** Darf ich durchschauen?
- 668 **IA:** Jaa.
- 669 **S1:** (sieht sich Gitter an 5 s) Nun, es scheint das, ähm, das eben so wie ein Polarisationsfilter ist im Sinne von, äh, aber ein bisschen ähnlich in diesem Fall, die, die
670 Idee, das sind einfach Linien aufgereiht in eine bestimmte Ausrichtung, also alle
671 senkrecht oder alle waagrecht und je nachdem, wie man durchschaut, äh, wird
672 das Licht so in diesem, so, ähm, Spaltenexperiment gebrochen halt. Man sieht
673 eine Art Interferenzmuster, wenn man die Tischkante schaut.
- 674 **IA:** Ok.
- 675 **S1:** Bisschen.

- 677 **IA:** Gebrochen hast du gesagt. Was verstehst du unter gebrochen?
- 678 **S1:** Aber uhm. Gebrochen? Hmmm (denkt 8 s) hä, was versteh ich unter gebrochen?
- 679 **IA:** Und hast du irgend ein . Nicht so wichtig. Hast du irgend eine Idee, wo man
680 so optische Gitter verwenden würde? Hast du das schon mal irgendwo gehört?
- 681 **S1:** Ich hab das schon gehört, aber ich habe es jetzt gerade vergessen. Also optisches
682 Gitter. Na ja. Hab ich wahrscheinlich irgendwo bei Experimenten mal gehört,
683 in der Quantenmechanik höchstwahrscheinlich und . aber auch im täglichen
684 Verbrauch, im täglichen Gebrauch werden sie. Ich weiß aber eben nicht mehr
685 genau wo.
- 686 **IA:** Ist ja kein Problem. Gut und wir würden jetzt so ein optisches Gitter nehmen
687 und den roten Laser da wieder durchschicken. Was erwartest du, was wir da
688 sehen werden. Dieses mit den 80.
- 689 **S1:** Welche Ausrichtung?
- 690 **IA:** Ist egal, also die Ausrichtung ist eher .
- 691 **IB:** So wie die Nummer steht.
- 692 **IA:** Genau so ist es.
- 693 **S1:** Nun, ich erwarte mir eine Art . Darf ich's skizzieren?
- 694 **IB:** Uhm.
- 695 **IA:** Bitte ja.
- 696 **S1:** (zeichnet 8 s)
- 697 **IA:** Ok.
- 698 **S1:** Nachdem, was ich da durchsehe würde ich mir das erwarten.
- 699 **IA:** Ok. Weil, ah, was stellst du dir da vor, was da passiert.
- 700 **S1:** Weil, wenn ich durchschaue . Na ja. Was ich mir vorstelle? Äh, dass das Licht,
701 äh, von diesen Linien was vielleicht wegen verschiedener optischer Dichte sind.
702 Ich weiß nicht genau, äh, eben, ja, gebrochen wird, in verschiedenen Richtungen
703 abgestrahlt wird.
- 704 **IA:** Uhm. Ok. Ich würd's jetzt einsetzen.
- 705 **S1:** Ja.
- 706 **IA:** Und dann schauen wir es uns einmal an. Kommst du wieder hierher. Warte, ja
707 soooo. Ok. Ist das das, was du erwartet hast.
- 708 **S1:** Ziemlich, ja. Ja, ich hab die Linien gezeichnet, eigentlich sind es Punkte, weil,
709 wieder mein Fehler, der Laser hat keine, keinen.
- 710 **IA:** Keine Ausdehnung.
- 711 **S1:** Keine Ausdehnung, ja.
- 712 **IA:** Ist eine Punktquelle quasi.
- 713 **S1:** Ja.
- 714 **IA:** Guut, vielleicht. Hast es genau angeschaut. Dann dreh ich wieder ab und skizzierst
715 du es bitte.
- 716 **S1:** Ja (zeichnet 7 s)

- 717 **IA:**Fällt da noch was ein dazu, was das sein könnte.
- 718 **S1:**Hmmm. hm. Hm. Hm. Also es, äh, steht im einkl, beziehungsweise es, äh, äh,
719 widerlegt meine Hypothese nicht, dass das Licht einfach gebrochen wird durch
720 diese Linien, sogenannte also, oder wie wir diese Linien sehen jetzt.
- 721 **IA:**Ok. Jetzt hamma das Gitter mit den 300 Linien, das würd ich jetzt reinsetzen
722 bei rotem Licht. Was erwartest du das . . was erwartest du, das passieren wird.
723 Wird was passieren, wird sich was ändern an dem Bild?
- 724 **S1:**Ja.
- 725 **IA:**Wenn ja, warum und wenn nein, warum nicht?
- 726 **S1:**Nach dann, also das hier, wenn hier mehr Linien sind, äh, wegen meiner Hypo-
727 these, dass die Linien, äh, das die Linien, das, das Licht gebrochen wird, müssten
728 eigentlich mehr Punkte auf dem Bildschirm sein.
- 729 **IA:**Ok. Würdest du das einfach hinzeichnen, was du jetzt erwartest zu sehen?
- 730 **S1:**Und deswegen auch nicht so weit voneinander entfernt.
- 731 **IA:**Gut. Dann probieren wir das doch aus. (Hantiert 10 s) Ah. Ok.
- 732 **S1:**Falscher (unverständlich).
- 733 **IA:**Gut. Hast du. Zeichnest das auf. Drehe nur ab, damit nichts passiert.
- 734 **S1:**Zeichne einfach nur zwei Punkte hier.
- 735 **IA:**Hast du eine Idee, warum die Beobachtung anders ist als die Erwartung?
- 736 **S1:**(denkt nach 10 s) Wie so die. Wie so's weiter auseinander sind statt näher
737 aneinander, wenn mehr Linien pro Millimeter, ähm (denkt nach 11 s) Nun, dann
738 würde ich meine vorige Hypothese fallen lassen und statt dem das Licht von den
739 Linien gebrochen wird, scheint es, dass das Licht also d, nicht von einer Linie
740 gebrochen wird, sondern je mehr Linien da sind, desto mehr wird das Licht eben
741 gebrochen, beziehungsweise desto mehr ist der Abstand zwischen den Punkten.
- 742 **IA:**Ok. Kannst du es nochmal. Du sagst immer gebrochen?
- 743 **S1:**Gebrochen. Ja. Äh.
- 744 **IA:**Kannst du das irgendwie formulieren, dass wir eine Idee bekommen, was du dir
745 darunter vorstellst.
- 746 **S1:**Was ich mir darunter vorstell. Nun.
- 747 **IA:**Eine Skizze dazu vielleicht auf der Rückseite, wenn da was einfallt?
- 748 **S1:**Ja. (blättert um) Ähm. Zwei Sachen würde ich sagen, also das erste was passieren
749 könnte ist . dass das Licht eben wortwörtlich gebrochen wird und das Zweite was
750 passieren könnte, das, was sein könnte ist, ist es, dass das, dass Linien einfach,
751 ähm, wortw, wirklich, ähm, Spalte so wie Spalten sind ...
- 752 **IA:**Uhm.
- 753 **S1:**... und das Licht, wenn es durchgeht so wie beim vorigen Einspaltexperiment,
754 ähm, beziehungsweise Vielspaltexper. Nein, ah, das ist ein Vielspaltexperiment.
755 Äääh. Hm. Darf ich nur kurz.
- 756 **IA:**Ja. Ja. Schau nur.
- 757 **S1:**(Blättert) Nein, dass, das insofern ist es eher, äh, eher, eher. Spricht es eher

- 758 dagegen, dass es viele Spalten sind, weil dann ein Interferenzmuster entstehen
759 würde und keine so hellen Punkte zu sehen sein würden, wenn die Spalten so
760 klein sind. Würde ich sagen.
- 761 **IA:** Ok. Ah. Ich hätt noch eine Frage. Du sagst jetzt, das Licht wird gebrochen. Was
762 stellst du dir unter dem Licht vor?
- 763 **S1:** Ähhh. Ja. Jetzt gerade nichts.
- 764 **IA:** Ok.
- 765 **S1:** Also. Ähm. Gebrochen, beziehungsweise es wird, es ändert die Richtung.
- 766 **IA:** Ja.
- 767 **S1:** Weil ich jetzt nicht weiß, was da drinnen passiert.
- 768 **IA:** Vergiss jetzt amal, was da drinnen passiert. Wie interpretierst du da das Licht
769 in welcher Form. Hast du da eine Idee, was das Licht da ist, oder hat dich das
770 jetzt mehr verwirrt als?
- 771 **S1:** Gerade hat mich das eher mehr verwirrt, weil ich eben keine Ahnung hab, was
772 passiert und.
- 773 **IA:** Das ist ein. Ok. Das ist ja nicht so wichtig sondern, du hast eine Vorstellung
774 von Licht.
- 775 **S1:** Ja. Also Licht kann entweder ein Teilchen oder eine Welle sein. Je nach dem
776 Experiment das beobachtet, ob es beobachtet wird, aber, ähm, in diesem Fall
777 würde ich sagen, verhält es sich wie eine Welle.
- 778 **IA:** Ok. Gut. Passt. Sehr gut. Dann haben wir noch ein, zwei kleine Fragen noch.
779 Ich nehm jetzt. Wart amal. Genau, ich nehm jetzt wieder die 80 Millimeter
780 Linien. Also 80 Linien pro Millimeter Abstand und würde den grünen Laser
781 jetzt verwenden. Was ...
- 782 **S1:** Den grünen Laser.
- 783 **IA:** ... wird sich ändern, erwartest du?
- 784 **S1:** Was wird sich ändern? (denkt nach 10 s) Dass sie weiter auseinander sind.
- 785 **IA:** Dass sie weiter auseinander sind. Kannst du das da wieder hinskizzieren bitte.
- 786 **S1:** (zeichnet 10s)
- 787 **IA:** (hantiert 10 s) So. Gut. Achtung, ich schalte ein. Frau Ivanjek.
- 788 **IB:** Uhm. Ich schaue, ich schaue schon weg.
- 789 **IA:** Soda. Ok. Was beobachtest du?
- 790 **S1:** Hhmm. Phh. Ich weiß nicht, ob sie vielleicht sogar ein bisschen, ähm, näher
791 zusammen.
- 792 **IA:** Ok.
- 793 **S1:** Plus ich sehe ein Linie zwischen den Punkten.
- 794 **IA:** Ok. Zeichnest du das bitte auf. (Hantiergeräusche)
- 795 **S1:** (zeichnet 10 s)
- 796 **IA:** Ok. Wir haben jetzt grünes Licht statt dem roten verwendet.
- 797 **S1:** Uhm.

- 798 **IA:** Was hast du jetzt beobachten können.
- 799 **S1:** Dass es eine kleinere Wellenlänge hat, das bedeutet und es waren, ähm, anschei-
800 nend mehr Punkte auf der gleichen Mappe, deswegen waren sie näher aneinander.
801 Ja. Hier haben wir vier beobachtet und hier fünf.
- 802 **IA:** Uhm.
- 803 **S1:** Das heißt, ein bisschen näher aneinander. Das könnte bedeuten, dass diese Folie.
804 Nein. Das diese Folie etwas mit der, ähm, dass das Licht wie eine Welle ...
- 805 **IA:** Uhm.
- 806 **S1:** ... äh, in diesem Experiment funktioniert, denn die Wellenlänge spielt eine Rolle
807 wie wir, was, die spielt im Ergebnis des Experiments eine Rolle und, ähm, ich
808 würde sagen, jetzt so, da es immer der, der Abstand kleiner wird desto kleiner
809 die Wellenlänge wird, hmm. Soll ich versuchen eine Theorie, eine Hypothese
810 dazu aufzustellen, wieso das passiert?.
- 811 **IA:** Ja, wenn du, wenn du Lust dazu hast.
- 812 **S1:** Wenn ich Lust dazu habe (beide lachen). Äh. Puhh. Einfach so. Ist schwer.
813 (denkt 5 s nach)
- 814 **IA:** Welcher Effekt könnte da eine Rolle spielen gerade. Was hast du. Von denen die
815 wir vorher schon gehabt haben.
- 816 **S1:** Ähm, na eben der, d, das, das Einspaltexperiment.
- 817 **IA:** Uhm.
- 818 **S1:** Aber, also, das Einspaltexperiment würde insofern, äh, Sinn machen, weil es
819 Punkte sind, die, die (schnippt mit den Fingern) (unverständlich) entfernt, aber
820 das ist, wenn wir jetzt davon ausgehen das . also das waren 80 Linien pro
821 Millimeter
- 822 **IA:** Uhm.
- 823 **S1:** Das ist, das heißt, die Linien sind sehr klein und sehr viele nebeneinander.
- 824 **IA:** Uhm.
- 825 **S1:** So, das würde sagen ist einfach ein Mehrspaltexperiment, würde ich es nennen.
- 826 **IA:** Ok.
- 827 **S1:** Mehr als zwei Spalten.
- 828 **IA:** Jaaa.
- 829 **S1:** Mehr als zwei Spalten, zwei Spalten (lacht), also ich würde einfach sagen, dass
830 ist ein Mehrspaltexperiment.
- 831 **IA:** Jaaa.
- 832 **S1:** Aber. Na. Und, dass das auch ein Interferenzmuster davon ist.
- 833 **IA:** Uhm.
- 834 **S1:** Jedoch können wir nicht feststellen welcher das, der Maximum mit der, mit
835 dem, mit der, welcher der, der, ah so, die, die, die Helligkeit zwischen die, die,
836 die Helligkeit ist bei jedem Punkt die gleiche.
- 837 **IA:** Uhm.

- 838 **S1:** Beziehungsweise schaut es so aus.
- 839 **IA:** Uhm.
- 840 **S1:** Dass heißt, . . . hm, es, ich, ich würde mir vorstellen, das, das Interferenz, äh, Git-
841 ter viel weiter auseinander, viel, viel größer ist als bei dem Doppelspaltexperiment
842 von vorher.
- 843 **IA:** Uhm.
- 844 **S1:** Weil die Schlitze so klein sind.
- 845 **IA:** Ok. Also auf dem Schirm meinst du jetzt, das.
- 846 **S1:** Ja. Ja.
- 847 **IA:** Das Interferenzmuster auf dem Schirm.
- 848 **S1:** Das einfach nur ein Teil ist, ein kleiner.
- 849 **IA:** Ok.
- 850 **IB:** Darf ich noch vor der nächsten Frage eine Frage stellen. Du hast erwähnt,
851 dass du, wenn du Gitter in Hand genommen hast, das ähnlich is so wie diese
852 Polarisationsfilter?
- 853 **S1:** Jein. Ja.
- 854 **IB:** Uhm. Kannst du ja und nein, kannst du erklären, was wäre ähnlich und was
855 wäre unterschiedlich?
- 856 **S1:** Es ist, es ist insofern ähnlich als das, wenn man's dreht senkrecht oder waagrecht,
857 sich etwas ändert. Aber es ist insofern unterschiedlich, das im Polarisationsfilter
858 wird es heller und dunkler je nachdem, was man gerade anschaut, äh, und hier,
859 ähm, hat es so ausgesehen als würden sich die Sachen einfach (mehren?) und
860 bei einer Seite zusammengehen bei der andern Situation, äh, Orientierung.
- 861 **IA:** Ok. Dann würde ich noch Fragen, was erwartest du, wenn wir jetzt weißes Licht
862 verwenden würden.
- 863 **S1:** Weißes Licht?
- 864 **IA:** Uhm. Jetzt keinen Laser mehr, sondern wirklich eine weiße Lichtquelle.
- 865 **S1:** Bei so einem ...
- 866 **IA:** Mit dem 80 Linien-Gitter ...
- 867 **S1:** ... Gitter.
- 868 **IA:** ... verwenden.
- 869 **S1:** Mit Farben.
- 870 **IB:** Ja, kann man auch mit Farben.
- 871 **IA:** Wie du magst, wenn du Farben verwenden möchtest.
- 872 **S1:** (blättert) (zeichnet 31 s) Weißes Licht. Ha.
- 873 **IB:** Du hast locker Zeit, bis sich Experiment vorbereitet. Du kannst laut denken
874 zum Skizzieren (lacht).
- 875 **IA:** Genau (lacht).
- 876 **IB:** Das dauert ein bisschen (lacht).

- 877 **S1:** Passt. Danke. Ähm nein, nein, ich kann es mir nicht so überlegen als wären alle
878 Wellenlängen einzeln vertreten, sondern, na ja, die, die, die erste Annahme ist
879 natürlich, dass ein Regenbogen entsteht. Äh, dann kommt natürlich die Frage,
880 wo ist Rot, wo ist Blau wo fängt es an und so weiter, ähm, und da ich glaube,
881 dass es einfach nur Linien, also dass es, dass es keinen Unterschied macht. Könnte
882 es sein, dass der Regenbogen vielleicht doppelt ist von Rot zu Blau und wieder
883 zu Rot. So. Aber wo ist dann außen? Ist es Blau außen oder Rot außen? Also
884 oder Lila außen oder Rot außen.
- 885 **IB:** Könnte die Frage, was mehr außen ist, die Experimente mit Rot und Grün
886 helfen?
- 887 **S1:** Uhm. Also Grün, also eine kleine Wellenlänge ist näher zusammen, das heißt,
888 da es näher zusammen ist, ist es intensiver und daher könnte es in der Mitte
889 sein und ich glaub hier in der Mitte. (zeichnet 10 s) Mach hier gleich weiter mit
890 (Buntstift fällt auf den Boden) Ups, sorry. Zeichne vielleicht drei, vier Farben
891 auf.
- 892 **IB:** Uhm.
- 893 **S1:** Na die sind zu groß. Und dann Rot. (zeichnet 50 s) Schon?
- 894 **IB:** Ja. Das ist auch fertig? Super.
- 895 **IA:** Ja. Sehr gut. Sehr gut. Ok. Was beobachtest du?
- 896 **S1:** Äh, in der Mitte versteh ich nicht ganz, welche Farbe das ist. Ich glaub, dass ist
897 einfach nur weißes Licht.
- 898 **IA:** Jaaa.
- 899 **S1:** Ah und außen ist ein Regenbogen von Blau hin zu Grün und Gelb zu Rot.
- 900 **IA:** Uhm.
- 901 **S1:** Und dann noch ein kleiner (unverständlich) und dann noch ein Regenbogen.
- 902 **IA:** Ok. Hast du's im Kopf, kannst du deine Beobachtung skizzieren?
- 903 **S1:** Äh, skizzieren, ich weiß. Äh, ich lass einfach weiß oder ich mach so eine Linie.
904 (zeichnet 47 s)
- 905 **IA:** Ok. Cool. Sehr schön. Ich hab jetzt dadurch, dass ich das Experiment aufgebaut
906 hab. Kannst mir nochmal erklären, was wir da jetzt beobachten, was du dir da
907 vorstellst, warum's so is?
- 908 **S1:** Warum es so ist? Also das oder das?
- 909 **IA:** Die Beobachtung.
- 910 **S1:** Die Beobachtung. Ah. Ok. Äh . nun wir können beobachten, dass in der Mitte
911 dieser weiße Strich ist, den ich mir gerade nicht erklär. Äh, diese, diese, diese
912 ähm es, es, es, äh, Minima zwischen ...
- 913 **IA:** Uhm.
- 914 **S1:** ... diesen farbigen Maxima gibt und die Maxima aufgereiht sind. Blau ist in der
915 Mitte oder näher zur Mitte, dann kommt Grün, Rot und dann vielleicht noch
916 ein Minima und dann noch ein Regenbogen Blau, Grün, Rot.
- 917 **IA:** Uhm.
- 918 **S1:** Und so weiter. Also mit all den Farben drinnen auch, aber die weniger Gelb.

- 919 **IA:** Aber warum entsteht das jetzt mit diesem optischen Gitter?
- 920 **S1:** Warum das mit dem optischen Gitter entsteht, ähhh, na ja, äh, es ist klar, sagen
921 wir mal so, dass, äh, die, die, die verschiedenen Wellenlängen anders gebrochen
922 werden.
- 923 **IA:** Uhm.
- 924 **S1:** Das heißt, insofern wird sicher nicht etwas gebrochen, vielleicht nicht in dem
925 klassischen Sinne, dass es, äh, das ist jetzt n, äh, es ändert die Richtung, aber
926 ich weiß nicht, ob im quantenmechanischen oder im klassischen Sinne und, äh.
- 927 **IA:** Was verstehst du unter klassischen und quantenmechanischen Sinne? Das ist
928 beim Licht ja ...
- 929 **S1:** Ja. Beim Licht ist eine klassische Brechung, so wie ich sie jetzt so schön formuliert
930 habe einfach, dass zum Beispiel vom optisch dichteren ins optisch dünnere
931 Medium kommt.
- 932 **IA:** Ja.
- 933 **S1:** Und gebrochen wird deswegen.
- 934 **IA:** Uhm.
- 935 **S1:** Und eine quantenmechanische so wie ich es auch sehr schön (lacht) um mir da,
936 äh, ist so wie ein Interferenzmuster.
- 937 **IA:** Uhm.
- 938 **S1:** Das halt, wo es halt keine wirkliche, äh, ähm, Medien gibt, keine optischen
939 Medien. Sondern einfach nur, die, die, . die, die, die quantenmechanischen
940 Eigenschaften, also die, die, die Welleneigenschaften vielleicht des Lichtes, äh, es
941 brechen.
- 942 **IA:** Ok.
- 943 **S1:** Oder eine Rolle spielen.
- 944 **IA:** Ich würd sagen ...
- 945 **IB:** Uhm. Ja. Das wars.
- 946 **IA:** Super. Dann. Danke.

6.3.2 Interview 2

Interview mit Schülerin 2 (8. Klasse Oberstufe) am 19.4.2018 Bundes-Oberstufenrealgymnasium, Hegelgasse 12. Am Beginn des Interviews war die Betreuerin (IB) anwesend. Die Schülerin schätzt sich selbst auf Note 3.

- 1 **IA:** So. Den Autofahrern wird empfohlen, Polarisationsbrillen zu nehmen statt der
2 einfachen Sonnenbrille. Weißt du, was der Vorteil von so Polarisationsbrillen ist
3 und warum man die empfiehlt?
- 4 **S2:** Es ist vielleicht, ähm, die UV-Strahlen. Es sind die UV-Strahlen aufff?
- 5 **IA:** Na. ja. Die normalen Sonnenbrillen haben ja auch oft, sind ja auch oft UV-
6 blockierend.
- 7 **S2:** Ja.
- 8 **IA:** Also das ist es nicht glaub ich, sondern.
- 9 **S2:** Nein.
- 10 **IA:** Fallt dir noch was ein, was Polarisation bewirken könnte?
- 11 **S2:** Nnnn. Eher weniger.
- 12 **IA:** Ok. Dann schau. Schau dir vielleicht einmal dieses Foto an.
- 13 **S2:** Aha.
- 14 **IA:** Da gibt's eines das ist mit einer Polarisationsbrille und eines mit einer normalen
15 Sonnenbrille auf. Welches ist welches?
- 16 **S2:** Das da schätz ich mal ohne, dass die Straße reflektiert und das ist sehr störend
17 für das Auge. Da nimmt diese Polarisationsbrille anscheinend die Reflexion auf
18 oder blockiert sie.
- 19 **IA:** Uhm.
- 20 **S2:** zumindest.
- 21 **IA:** Ok.
- 22 **S2:** Ja. Das sieht man leichter kann man (unverständlich)
- 23 **IA:** Was, wie, wie stellst du dir dann diese Polarisation vor? Was könnt das bewirken,
24 dass das eben nicht so reflektiert?
- 25 **S2:** (denkt 7 s) Ähhh. Keine Ahnung (lacht)
- 26 **IA:** Na ist ja kein Problem. Gut. Dann haben wir hier zwei Folien.
- 27 **S2:** Uhm.
- 28 **IA:** Eine ist eine Polarisationsfolie und eine nicht und wir haben dann hier eine
29 Polarisationsfolie die schon mal definitiv eine.
- 30 **S2:** Ja.
- 31 **IA:** Könntest du herausfinden, wöche von denen die Polarisationsfolie ist und welche
32 nicht?
- 33 **S2:** Na, ja. Vom farblichen jetzt her würde ich diese sagen (zeigt auf die nicht-
34 polarisierende Folie).
- 35 **IA:** Jaaa. Aber probiers mal aus.

- 36 **S2:** Ja.
- 37 **IA:** Wie könnt man das herausfinden?
- 38 **S2:** Reflektiert vielleicht gerade etwas. Ich schau mal, ich probier mal überall. (Nimmt
39 eine Folie in Hand)
- 40 **IA:** Sehr schön.
- 41 **S2:** Durch. Ups. Ich mein . gegen Himmel weniger, vielleicht . es reflektiert halt
42 nirgends gerade so stark wie auf dem Foto.
- 43 **IA:** Ok. Na, wir haben da diese Polarisationsfolie. Vielleicht hilft dir die dabei.
- 44 **S2:** Ja. Der Vergleich . . ok Jjaaa gut Uhm. Ich glaub immer noch die.
- 45 **IA:** Ok, aber nur wegen der Färbung.
- 46 **S2:** Das ist sehr, das ist sehr verschwommen. Keine Ahnung.
- 47 **IA:** Ok.
- 48 **S2:** Ich weiß nicht, ob das auch sehr irritiert, wenn nicht wirklich durchsichtig ist.
49 Jaaaaa (verzweifelt)
- 50 **IA:** So, dann schau's nochmal an und was passiert, wenn du eine von den beiden
51 Folien drehen würdest? Probier das einmal aus.
- 52 **S2:** Aha. Gute Idee. (Pause 5 s)
- 53 **IA:** Um 90 Grad drehen.
- 54 **S2:** Um 90 ok. (Pause 12 s) Aaaahhhh, bin zu schlecht für das hier (verzweifelt).
- 55 **IA:** Kein Problem. Das macht ja nix. 90 Grad wäre so drehen. Ok.
- 56 **S2:** Ah so, so. Ok ich habe gedacht. Logisch. Sorry im übrigen.
- 57 **IA:** Keine Entschuldigung notwendig.
- 58 **S2:** (lacht) Das ist schwer zu erkennen. Die Sonne ist nicht sehr stark heute.
- 59 **IA:** Probier mal wenn du's haltst, zu drehen.
- 60 **S2:** Während dem Halten drehen?
- 61 **IA:** Jaaa. Fallt da was auf?
- 62 **S2:** Ich hab, bild mir ein, ich hab vorher gesehen, dass sich der Hintergrund relativ.
63 Irgendwie schw. Ha. Oho. Wird's s so dünkler als so. Oh, ja! Oder bilde ich mir
64 das nur ein. Ah, ja. Da sehe ich Weniges. Immer wenn ich es so drehe wird's
65 dünkler.
- 66 **IA:** Ja.
- 67 **S2:** Als wenn ich's.
- 68 **IA:** Genau.
- 69 **S2:** Ja. So ist's heller. So ist's dünkler. (Betrachtet durch die Folie die Sonne durch
70 ein Fenster)
- 71 **IA:** Aber du hast keine Idee, was diesen Effekt auslösen würde? Wenn ma schön von
72 Polarisation sprechen.
- 73 **S2:** Magnete (lacht).
- 74 **IA:** Magnete?

- 75 **S2:** Nein. (Lacht verzweifelt) Keine Ahnung.
- 76 **IA:** Ok. Gut.
- 77 **IB:** Ich hab nicht gesehen. War ein vor dem andern auch. War ein Filter vor dem
78 anderen auch? Also so.
- 79 **S2:** Nein. So hab ich's noch nicht.
- 80 **IA:** Ah so.
- 81 **IB:** Ja, also versuche so zu halten, dann eine zu drehen.
- 82 **S2:** Uhm. Oh.
- 83 **IA:** Für mich hat's ausgesehen als hätte sie durch beide durchg'schaut.
- 84 **S2:** Oohhhh. Ok. Jetzt versteh ich's. Jetzt seh ich's.
- 85 **IA:** Ok und bei dem?
- 86 **S2:** Ja. Ich sehe Regenbogen durch aber sonst nichts.
- 87 **IA:** Ok. Also da verändert sich was, aber da nicht. Gut. Soll?
- 88 **IB:** Versuchen Sie zu erklären, warum ändert sich das, was ist du. Wieso ist es auf
89 einmal. Was siehst du, wenn du einen vor den anderen hältst und es total dunkel
90 wird?
- 91 **S2:** Äh. Ich seehhee.
- 92 **IB:** Wie ändert sich das? Musst du einen Grund überlegen warum.
- 93 **S2:** (niest).
- 94 **IA:** Gesundheit.
- 95 **S2:** Entschuldigung (lacht) . . . So ist es dunkel und so wird's hell, fast schon
96 durchsichtig eigentlich wie so ein Tintenfisch der sich tarnt. Ähm . . . vielleicht
97 weil der Stoff . einee bestimmte Struktur hat und wenn die Struktur dann .
98 also so im Sinne von wie . äh, wie soll ich das erklären, dass sie sich dann, na,
99 blockieren und es nicht durchscheint, doch wenn sie gerade sind gibt es Stellen,
100 wo das Licht dann durchscheinen kann. Oder so in der Art.
- 101 **IA:** Was, was stellst du dir überhaupt unter Licht vor? Wenn wir jetzt grad schon
102 von Licht sprechen.
- 103 **S2:** Ja das ist eine interessante Frage. Also . es wird teils als Welle, aber dann gibt's
104 auch. Als Welle beschrieben, es sich wie eine Wellen ausbreitet. Aber dann gibt's
105 auch wieder Theorien wie linear. Das es, ähm, breitet sich gerade aus, aber dann
106 kann man zum Beispiel hier, was hier passiert nicht erklären, warum der Kasten
107 das nicht blockiert, sondern warum das dahinter auch noch hell ist. Deswegen
108 bin ich auch eher bei der Wellentheorie. Jaaaa.
- 109 **IA:** Und wie kann die Polarisisation da hineinspielen?
- 110 **S2:** Das sie Wellen auffängt (lacht verzweifelt). Keine Ahnung.
- 111 **IA:** Ok. Na macht ja nix. Kein Problem.
- 112 **S2:** Peinlich.
- 113 **IA:** Das ist überhaupt nicht peinlich. Das ist kein Problem. So. Dann würd ich
114 zum nächsten Experiment übergehen. Wir haben da so eine Lernumgebung
115 mit einem roten Laser und einem Objekthalter und da würde ich jetzt einen

- 116 Doppelspalt hineingeben und zwar hab ich den hier. Sooodaaa. Da sind mehrere
117 Doppelspalten, ich würde den kleinsten mal nehmen mit 0,25 Millimeter, 0,15
118 Millimeter Abstand.
- 119 **S2:** Ja.
- 120 **IA:** Ah. Was erwartest du, wenn ich da den Laser einschalt, was wird passieren
121 glaubst du?
- 122 **S2:** Also, dass logischte was jeder am Anfang denken würde, ist zwei Striche, aber
123 wir haben bereits gelernt irgendwie es werden zwei Striche sein, doch ab dem
124 Zeitpunkt, ab dem man messt, kommt ein Inter..ferrusionsmuster, Interff...
- 125 **IA:** -ferenz.
- 126 **S2:** -ferenzmuster. Dankeschön. Das war auch schon ein bissl her und ja deswegen
127 bin ich mal gespannt. Den Test haben wir nie wirklich durchgeführt, also.
- 128 **IA:** Ok. Aber was wäre dann deine Erwartung hier? Wie würde das ausschauen?
- 129 **S2:** Hmmm . . ab dem man Zeitpunkt ab dem man hinschaut misst. Sagen wir jetzt
130 mal zwei Striche . . Zwei Striche.
- 131 **IA:** Ja. Einfach drauflos zeichnen.
- 132 **S2:** Soll ich zeichnen, wie es aussehen würde.
- 133 **IA:** Genau. Wie du erwartest, dass es aussehen würd.
- 134 **S2:** Gibt's ein Lineal oder so?
- 135 **IA:** Gibt's auch, wenn du einen willst. Gibt's auch. Müssten da darunter sein.
- 136 **S2:** Dankeschön. Ok. So genau werd ich's jetzt nicht oder soll ich Millimeter?
- 137 **IA:** Nein, nein, nein, dass passt schon. Soll ja nur eine Skizze sein eigentlich.
- 138 **S2:** Ja. Ok. Meine Striche sind so.
- 139 **IA:** Ok.
- 140 **S2:** Für's erste mal. Bevor wir messen, vielleicht hab ich's auch falsch verstanden.
141 Keine Ahnung öhhh (verzweifelt)
- 142 **IA:** Also ich würde jetzt den Laser einschalten und dann schau ma, was da rauskommt.
143 Ist dass das, was du jetzt meinst?
- 144 **S2:** Unschlüssig. Ich bin mir unschlüssig. Im Unterricht hat's geheißen, sobald
145 man hinschaut, sobald man misst, aber ich weiß nicht ob das, ja doch, nein,
146 hhhhhhmmmm, Interferenzmuster? . . . Das ist schwierig. Ah so. Ist der Strich
147 in der Mitte? Dieser Strich in der Mitte?
- 148 **IA:** Genau, dass wäre die Idee gewesen.
- 149 **S2:** Ähm.
- 150 **IA:** Radieren gibt's auch.
- 151 **S2:** Ok. Dankeschön. (radiert 5 s) Interferenz. Soll ich? Ja, ok. Ich glaub, ich mach
152 jetzt schon ein Interferenzmuster.
- 153 **IA:** Ok.
- 154 **S2:** Wie zeichne ich das am Besten? Es dauert länger. Ok.
- 155 **IA:** Wir haben alle Zeit der Welt.

- 156 **S2:** (zeichnet 15 s) Ok. So schön hab ich das jetzt nicht gezeichnet.
- 157 **IA:** Ah. Das ist wunderschön. Ok. Dann schauen wir mal, was rauskommt.
- 158 **S2:** Oh. Ha, ha.
- 159 **IA:** Ok. Ich glaub, ich hab sogar getroffen richtig.
- 160 **S2:** Gut.
- 161 **IA:** Was siehst du, was, ist das das, was du erwartet hast?
- 162 **S2:** Nicht ganz. Weil es ist halt, aber eigentlich ist es logisch, weil der Laser ist ja
163 nur ein Punkt, das heißt eigentlich hätte ich nur mehr nachdenken sollen, also
164 ja, so was in der Art schon.
- 165 **IA:** Was. Kannst du das skizzieren, was du da jetzt anschaust. Du kannst ruhig jetzt
166 noch ein bisserl näher kommen noch.
- 167 **S2:** Uhm. Jaa, die sind auch noch da. (zeichnet 30 s mit unverständlichem Flüstern)
168 So zirka.
- 169 **IA:** Ja.
- 170 **S2:** Könnt hinkommen. Also in der Mitte ist es stärker, wie wenn der Laser einfach
171 einen Punkt hinmacht, doch eben wegen dem Interferenzmuster sind einige
172 andere Punkte streuen sich aus und werden schwächer.
- 173 **IA:** Uhm. Hast du, wie wurde das bezeichnet im Unterricht irgendwie? Gab's da
174 einen Namen dafür? Für diese Punkte und Striche. Für diese hellen und dunklen
175 Bereiche?
- 176 **S2:** Neein.
- 177 **IA:** So von Minima und Maxima der Interferenz?
- 178 **S2:** Nö. Das haben wir nicht.
- 179 **IA:** Ok. Wir würden. In der Physik bezeichnen wir die hellen Dinger als die Maxima
180 und die dunklen Bereiche heißen Minima von dem Interferenzmuster. Ok. Gut.
181 Es ist auch noch so, da sind zwei Effekte überlagert. Das, wenn man da genau
182 schaut. Ich hab sogar eine Linse da, damit man es nochmal sehen kann.
- 183 **IB:** Es ist ganz vorne.
- 184 **IA:** Ah. Da. Das da in der Mitte.
- 185 **S2:** Ja.
- 186 **IA:** Iss. Das ist das Interferenzmuster eigentlich. Diese in der Mitte die drei, da
187 außen sind's auch noch, aber da ist ein anderer Effekt überlagert.
- 188 **S2:** Ja. Ja ich glaub ich.
- 189 **IA:** Aber eigentlich geht's uns hauptsächlich um diese drei da in der Mitte. Das sind
190 die Interferenzmaxima und -minima. Ok. Guut. Hast du irgend eine Regel oder
191 so irgendwas wie man diese Maxima und Minima dann bestimmen kann?
- 192 **S2:** Nein, eher nicht.
- 193 **IA:** Gibt's da irgend eine Idee.
- 194 **S2:** Haben wir eher nicht besprochen, nö. Selbst Mathematik, Physik kann ich mich
195 nicht erinnern.

- 196 **IA:** Ok. Also Interferenz habt's ihr nicht besprochen, dass da irgendwelche Bedin-
197 gungen gibt das da das.
- 198 **S2:** Wir hatten, nein.
- 199 **IA:** Okay. Gut. Jetzt würd ma (unverständliches murmeln) Jetzt würd ma statt
200 dem roten einen grünen Laser verwenden. Glaubst du wird sich die Abschildung,
201 Abbildung verändern und wenn ja wie? Falls sie sich nicht ändert auch warum
202 nicht. Hast du da eine Idee dazu?
- 203 **S2:** Das hört sich jetzt an wie so eine Frage wie: Man denkt nicht, dass es sich
204 ändern würde, aber sie wird sich ändern, aber eigentlich würd ich mir nicht
205 denken, dass es sich ändert.
- 206 **IA:** Ok. Würdest du das da bei 2e einfach dazuschreiben, dazuzeichnen.
- 207 **S2:** Ok. Das heißt in Schrift. Text.
- 208 **IA:** Nein, wenn du es genauso erwartest, dann würd ich. (10 s) Pause. Ah so das
209 wollten wir nicht machen (unverständliches Flüstern.) Ein bisschen hantieren
210 mit dem Laser, das dauert ein bisschen. Ok.
- 211 **S2:** Na dann.
- 212 **IA:** Hat sich was geändert.
- 213 **S2:** Nein. Es sch, vielleicht kleiner aus, bild ich mir ein, aber nein, eigentlich nicht.
214 Ohhh, doch ich seh was ganz leicht.
- 215 **IA:** Und zwar?
- 216 **S2:** Drum, drumherum wie verstreut sich irgend wie, mehr nicht nur geradlinig.
- 217 **IA:** Ok.
- 218 **S2:** So wie, ja.
- 219 **IA:** Gut. Dann würde ich sagen, was ist, wenn man den Abstand von den Spalten
220 vergrößern würde? Gleiche Frage: Wird sich was ändern, wenn ja warum? Wird
221 sich nichts ändern, wenn ja warum?
- 222 **S2:** Ich hätte gesagt, vielleicht bei einem Laser eher weniger, da ziemlich . . also
223 wenn man . das jetzt, warte, wenn man was verändern würde?
- 224 **IA:** Den, den Abstand der Spalte.
- 225 **S2:** Aha.
- 226 **IA:** Ich mach jetzt einen breiteren Abstand. Ok.
- 227 **S2:** Der Spalte. Ok. Spalten. . . . Es wird sich etwas ändern . , aaaabbbbbeer.
- 228 **IA:** Ok. Möchtest du da, dann zeichne es hin bei dem 2f bitte dazu, was du da
229 erwartest.
- 230 **S2:** Wird sich was ändern? Jetzt wieder beim Roten?
- 231 **IA:** Genau. Wir sind wieder beim Roten.
- 232 **S2:** Gute Frage. Wird sich etwas ändern? (Pause 5 s) Naaa. Im Prinzip ...
- 233 **IA:** Also die Spalte sind jetzt ein Millimeter breit.
- 234 **S2:** Ja.
- 235 **IA:** Also der Abstand ist jetzt ein Millimeter. Sieht man ganz deutlich. Jetzt würd

- 236 ich den Breiteren nehmen.
- 237 **S2:** Ja. Ich schätze, es wird sich halt, es wird immer noch ein Interferenzmuster
238 geben.
- 239 **IA:** Ja, aber, oder, gleich, anderst?
- 240 **S2:** Ich könnt mir nicht vorstellen, was so viel anders sein könnte?
- 241 **IA:** Ok.
- 242 **S2:** Vielleicht eben deren Abstände etwas mehr, oder stärker oder schwächer,
243 schwächer vielleicht? Ich mal mal. (Kommentiert zeichnen) So. Aber nicht
244 mehr so stark die Punkte.
- 245 **IB:** (Verlässt Raum)
- 246 **S2:** Tschüssi. Ok. Probier mal, dass ist meine Auffassung von nicht mehr so stark.
- 247 **IA:** Ja. Ok. Klar. Verstehe.
- 248 **S2:** Ja.
- 249 **IA:** Schauen wir mal. Dann zielen wir mal wieder. Soda. Was passiert da?
- 250 **S2:** Genau das Gegenteil. Man sieht sie sogar noch stärker.
- 251 **IA:** Moment. So wieder mal in die Mitte zielen.
- 252 **S2:** Ja.
- 253 **IA:** Ok. So würd es sein jetzt, sein in der Mitte.
- 254 **S2:** Ja. Sind jetzt eben noch stärker und ich schätze es schaut so aus als wenn sie,
255 sie verschmelzen ineinander, das Interferenzmuster.
- 256 **IA:** Ok. Wir können es ja nochmal vergrößern. So.
- 257 **S2:** Ja. Also es sind jetzt nicht drei Punkte, sondern es ist ein großer Punkt.
- 258 **IA:** Ok.
- 259 **S2:** Das heißt, genau das Gegenteil was ich dachte.
- 260 **IA:** Gut. Dann würdest du diese Beobachtung da hineinskizzieren.
- 261 **S2:** Ja. (zeichnet 13 s) Wenigstens den richtigen Ansatz, vielleicht in die falsche
262 Richtung, aber. Ja also so verschmelzen ineinander.
- 263 **IA:** Ok. Gut. Passt. So jetzt sind wir amal mit dem Laser kurz durch. Jetzt wollen
264 wir mal über Wasserwellen sprechen.
- 265 **S2:** Uhm.
- 266 **IA:** Da gilt ja dasselbe wie für die Lichtquellen. Wir haben da auf der nächsten Seite
267 eine Abbildung (blättert). Das da in der Mitte zeigt zwei kohärente Wasserquellen,
268 ah, Wellenquellen, tschuldigung. Was bedeutet, das Wellenquellen kohärent sind,
269 weißt du das? Hast du da a Idee?
- 270 **S2:** Das sie auff . . .
- 271 **IA:** Und warum ist das wichtig für die Interferenz?
- 272 **S2:** Das sie die gleiche Wellenlänge haben. Äh, dass sie halt, kann man da Frequenz
273 dazu sagen?
- 274 **IA:** Auch.

- 275 **S2:** Das sie gleich frequent sind.
- 276 **IA:** Ok.
- 277 **S2:** Schätz ich und nur dann können sie, nur dann beeinflussen sie einander. Ja . .
- 278 Ja.
- 279 **IA:** Gut. Jetzt sind wir bei dieser Abbildung eben. Die zeigt eben so Wellenquellen,
- 280 zum Beispiel Wellen auf einer Wasseroberfläche oder so irgendwas. Ahhh, die
- 281 um zwei Lambda von einander getrennt sind. Wird im Punkt, glaubst du wird
- 282 da im Punkt B ein Minimum oder ein Maximum sein und warum?
- 283 **S2:** Ein Minimum, weil ein Minimum ist das in der Mitte?
- 284 **IA:** Nein, ein Maximum. Das Helle ist das Maximum.
- 285 **S2:** Das Helle ist das Maximum. Ja. Ich glaub . . das Dunkle wird da sein, also eben
- 286 es Minimum.
- 287 **IA:** Ok. Dann haben wir den Punkt A.
- 288 **S2:** Jaaa. Ja.
- 289 **IA:** Was glaubst du ist da?
- 290 **S2:** Eben dann das Gegenteil. Ah so, das ist schon sehr weit weg. Ah so. Hmmm.
- 291 **IA:** Also das ist 10 Lambda entfernt. Also 10 mal die Wellenlänge.
- 292 **S2:** Ja.
- 293 **IA:** Von diesen beiden Punktquellen.
- 294 **S2:** Ja. Dann ist. Ja. Ich bleib bei meiner Antwort, dann ist das das Maximum.
- 295 **IA:** Ok und wenn wir jetzt diesen, diesen Punkt A auf 11 Lambda entfernt hinstellen
- 296 würden, ist dann dort ein Minimum oder ein Maximum?
- 297 **S2:** (Pause 5 s) Immer noch ein Maxxximuum.
- 298 **IA:** Ok. (blättert) Gut. Hast du da überhaupt eine Idee wie du das feststellen
- 299 könntest?
- 300 **S2:** Äh. Ha. Nein (lacht)
- 301 **IA:** Ok. Gut, dann sehen wir da unterhalb die, eine ähnliche Abbildung, aber jetzt
- 302 sind diese beiden Wellenquellen drei halbe Lambda voneinander entfernt. Wie
- 303 schaut's im Punkt B aus. Ist dort ein Minimum oder ein Maximum? Noch immer
- 304 ein Minimum? Noch immer ein Maximum?
- 305 **S2:** Ääähhh, ööhhh, jaaaa (lacht verzweifelt). Ich weiß nicht, jaaa. Ich kann mir grad
- 306 nicht viel darunter vorstellen. Ja. (Pause 5 s) Ja, keine Ahnung.
- 307 **IA:** Gut. Dann haben wir natürlich wieder den Punkt A zu betrachten, der ist wieder
- 308 10 Lambda entfernt.
- 309 **S2:** Ja, also ja. Keine Ahnung, was da den Unterschied macht. Würde ich immer
- 310 noch . ich mein, es wird einen Unterschied geben, sonst wäre die Frage nicht
- 311 hier. Aber ja. Keine Ahnung.
- 312 **IA:** Na ja. Die Frage kann ja auch so sein, dass da kein Unterschied ist. Das müsste
- 313 man auch begründen.
- 314 **S2:** Wow. Begründen. (Pause 5 s) Wen nennt man, was ist das nochmal?

- 315 **IA:** Das sind diese zwei Wellenquellen.
- 316 **S2:** Zwei Wellenquellen.
- 317 **IA:** Also, stell da vor eine Wasseroberfläche und da so ein Stift hinein.
- 318 **S2:** Ja.
- 319 **IA:** Dann entstehen Wellen oder?
- 320 **S2:** Ja. Und der Punkt ist wirklich hier und nicht so angezeigt als.
- 321 **IA:** Der ist genau in der Mitte zwischen den zwei Quellen.
- 322 **S2:** Ja. Ja, ok. Ja, dann ist das, hab ich da eh gesagt Minimum?
- 323 **IA:** Hast du gesagt Minimum.
- 324 **S2:** Ja.
- 325 **IA:** Wobei beim Minimum ist es dunkel.
- 326 **S2:** Ja, ja, ja. Ja. Das hab ich schon gecheckt. Minimum ist dunkel, ja. Ja ich bleib
327 immer noch. Minimum, Maximum.
- 328 **IA:** Ok. Also A bleibt ein Maximum und B bleibt ein Minimum. Gut, ahh so. Dann
329 kommen wir zurück zum Licht. Jetzt haben wir da unten. Nein, das ist schon
330 diese Zeichnung. Diese zwei Lichtquellen sind jetzt, sind diese zwei Punkte zwei
331 Lichtquellen und da oben ist ein Schirm so wie's da ist beim Experiment, quasi.
- 332 **S2:** Uhm.
- 333 **IA:** Ahhh. Wie würdest du bestimmen, ob du bei einem Punkt auf dem Schirm ein
334 Minimum oder ein, ein Maximum sehen wirst? Hast du da eine Idee? Hast du
335 so was schon mal gesehen?
- 336 **S2:** So in der Art. Ich hätte mir vielleicht vorgestellt, dass es so wie unser Licht fällt,
337 sein wird, dass es in der Art so ist, so ist und genau hier ebenso und hier, wo sie
338 sich eben kreuzen, sind dann die Minimum.
- 339 **IA:** Uhm.
- 340 **S2:** So hätte ich mir das vielleicht vorgestellt.
- 341 **IA:** Ok. Aber da so eine Regel auch wieder ist da, fällt da dazu nicht ein?
- 342 **S2:** Nö.
- 343 **IA:** Hast du schon mal was von Gangunterschied zwischen den zwei Quellen gehört,
344 oder so Phasenunterschied?
- 345 **S2:** Nein.
- 346 **IA:** Na gut. Ist ja nicht, passt schon. Gut. Dann blätterst du bitte um, auf der
347 nächsten Seite geht's weiter.
- 348 **S2:** Ok.
- 349 **IA:** So, den roten Laser brauch ich jetzt. So, wir haben jetzt eine neue Lernumgebung.
350 Wir haben so einen roten Laser, wir haben wieder den roten Laser und wir
351 haben so einen Spalt. Den kann man jetzt verstellen. Jetzt ist er einmal mit 2,5
352 Millimeter offen. Was erwartest du zu sehen, wenn ich den Laser jetzt einschalte
353 und auch durchtreffe? Also ich treff durch.
- 354 **S2:** Also wenn der Laser nicht, also der Laser kleiner ist als der Spalt ist's einfach

- 355 nur ein Punkt.
- 356 **IA:** Gut, zeichnest du es mir, das da hin. . . Ok . Gut, dann schauen wir mal nach. .
357 Also was beobachtest du?
- 358 **S2:** Einen Punkt.
- 359 **IA:** Dann zeichne mir das bitte auch dahin. Sehr gut. . . . Stimmt. Ja, natürlich.
- 360 **S2:** Ja.
- 361 **IA:** So, jetzt werden wir mal den Spalt auf 0,3 Millimeter schmaler machen. Also
362 der ist dann 0,3 Millimeter breit, jetzt ist er 2,5 Millimeter breit. Erwartest du
363 eine Änderung? Was erwartest du zu sehen?
- 364 **S2:** Weiß man, wie breit der Laser-Pointer ist? Ich mein ich sehe es.
- 365 **IA:** Der ist dann relativ eng, also das ...
- 366 **S2:** Jaa. Es ist immer noch ein Punkt. . Is immer noch ein Punkt. Ich glaub, da
367 gab's auch wieder so was wie wenn das Licht durch ein Loch geht, durch einen
368 Spalt geht, das genauso groß ist, oder genauso breit ist wie das Licht durchgeht,
369 dann passiert auch irgendetwas.
- 370 **IA:** Ok. Was?
- 371 **S2:** (verzweifelt Stöhnen)
- 372 **IA:** Erinnerung noch?
- 373 **S2:** Auch so etwas Verstreutes.
- 374 **IA:** Was glaubst du dich zu erinnern? Wie gesagt, es kann nichts falsch sein.
- 375 **S2:** Jaa.
- 376 **IA:** Also kann schon falsch sein, aber es ist für uns interessant.
- 377 **S2:** Ja.
- 378 **IA:** Was du da für eine Vorstellung hast. Was du da dir gemerkt hast.
- 379 **S2:** Vielleicht so was Ähnliches wie beim Grünen, wo sich das dann eher rundherum.
- 380 **IA:** Na, probier das mal da hinzuzeichnen. Genau.
- 381 **S2:** Ich weiß nicht genau wie das aussehen wird, aber...
- 382 **IA:** Uhm. Kein Problem
- 383 **S2:** (zeichnet 10 s) Jaaa. Könnt vielleicht hinkommen.
- 384 **IA:** Ok. Dann probieren wir's mal aus.
- 385 **S2:** Ah. Ok. Interferenzmuster. Ja
- 386 **IA:** Ok. So, das ist wieder die Mitte natürlich.
- 387 **S2:** Und die ...
- 388 **IA:** Was siehst du da?
- 389 **S2:** Ein Interferenzmuster, aber ...
- 390 **IA:** Okay.
- 391 **S2:** ... aber nicht so wie am Anfang, dass drei stärkere Punkte in der Mitte sind,
392 sondern einer.

- 393 **IA:** So, warte, wir vergrößern's wieder.
- 394 **S2:** Und.
- 395 **IA:** So.
- 396 **S2:** Schaut das strich, strichiger aus, und dann halt die Teile, die sich ausstreuen,
397 sind dann strich, strichförmiger wie die ...
- 398 **IA:** Okay.
- 399 **S2:** ... wie die Punkte, sondern strichig.
- 400 **IA:** Würdest du das hinzeichnen, was du dir jetzt siehst. Also wie du das jetzt siehst,
401 wenn du es dir anschaust.
- 402 **S2:** Ja, würd ich schon. So, das ist schon ein relativer Punkt in der Mitte. (zeichnet
403 10 s) Ja. Könnte.
- 404 **IA:** Okay. Hast du für diesen Effekt einen Namen.
- 405 **S2:** Naa.
- 406 **IA:** Weißt du, was das, wie man den, also Interferenz ist es auch, aber wir nennen
407 das Beugung.
- 408 **S2:** Uhm.
- 409 **IA:** Falls du schon mal was davon gehört hast.
- 410 **S2:** Ja.
- 411 **IA:** Okay. Gut. So (blättern). Gibt's eine Regel die du noch weißt, wie diese Minima
412 und Maxima entstehen? Weil da sind wieder Minima und Maxima.
- 413 **S2:** Nein.
- 414 **IA:** Weißt du nicht mehr.
- 415 **S2:** Kann. Bei dem kann's aber sein, dass wir etwas gelernt haben. Das war aber
416 wieder länger her.
- 417 **IA:** Okay.
- 418 **S2:** Beugung ist mir schon eher. Ich glaub, das hab ich schon öfter gehört.
- 419 **IA:** Okay.
- 420 **S2:** Jaaa.
- 421 **IA:** Gut. Na, kein Problem. So. Jetzt mach ma den Spalt noch enger. Was erwartest
422 du, was ma da sehen? Wird sich was ändern, wird's gleich bleiben das Muster?
- 423 **S2:** Hmm. (denkt 5 s) Jetzt ist es, weil vorher hab ich ja erzählt, wenn der Spalt
424 genauso groß ist wie das Licht selber.
- 425 **IA:** Was verstehst du unter genauso groß wie das Licht selber?
- 426 **S2:** Ja. Na ja. Ok. Jaa. Komisch formuliert, aber wenn der Spalt so groß, dass das
427 Licht. Obwohl, es stimmt ja nicht, weil ich sehe hier, dass sich da ja was auch
428 verbreitet. Keine Ahnung. Es wird . sagen wir mal ein Strich. Nein. Ich
429 hab keine Ahnung (verzweifelt).
- 430 **IA:** Na zeig mir was hin, was du glaubst was es wird. Okay?
- 431 **S2:** Ja.

- 432 **IA:**Schauen wir mal.
- 433 **S2:**Ich mach ich mich bereit. Was wird sein? Okay. Mach ich einen Strich. Jetzt
434 wird's spannend. Uhhh.
- 435 **IA:**Okay. Sooo. Moment, ich mach's noch ein bisschen schmaler. Das noch. Okay.
- 436 **S2:**So ein Strich ja.
- 437 **IA:**Ok.
- 438 **S2:**Das . . ist interessant. Okay. Mach ich.
- 439 **IA:**Also, was beobachtest du da?
- 440 **S2:**Es is ein Strich, ja, aber in die andere Richtung.
- 441 **IA:**Okay.
- 442 **S2:**Und es is wieder so ein unter Anführungszeichen, ein Interferenzmuster, aber
443 halt Beugung. Na weil, ich seh da auch ganz leicht. Bild ich mir ein.
- 444 **IA:**Genau. Sehr gut. Zeichnest du das auch noch dazu, was du da beobachten
445 kannst.
- 446 **S2:**Uhm. Wenn ich's sehe.
- 447 **IA:**Okay.
- 448 **S2:**Jaaa. Ja. Ich glaub, so geht's schon.
- 449 **IA:**Ah. Ja. Das. Gut. So, jetzt haben wir den roten Laser verwendet. . . . Was
450 kannst du beobachten. Ach so, das haben wir grad gemacht. Jetzt verwenden ma
451 einen grünen Laser. Die klassische Frage wieder: Wird sich was ändern? Warum
452 wird sich was ändern? Bleibt's gleich? Warum bleibt's gleich?
- 453 **S2:**Jaaa. Also, ich schätz jetzt, durch den großen Spalt wie am Anfang wird sich
454 wieder nichts ändern. Ganz normal ein Punkt wie's beim grünen Laser halt so
455 ist. Eigentlich.
- 456 **IA:**Uhm.
- 457 **S2:**Das heißt das mal ich mal hin jetzt. Ist es das?
- 458 **IA:**Na wir lassen den Spalt jetzt so eigentlich wie vorher.
- 459 **S2:**Ah wir lassen ihn eng. Ok. Vielleicht schaut's wieder so aus, dass ich dieses
460 Muster genauso drauf, genau das mit dem vermischt.
- 461 **IA:**Okay. Zeichne das hin, was du erwartest.
- 462 **S2:**Ist jetzt so viele Streustrei, aber ...
- 463 **IA:**Das macht gar nix. Das ist ja grad das Interessante für uns.
- 464 **S2:**Wenn ich alles falsch hab. Schön.
- 465 **IA:**Nein. Das Interessante ist, was du dir vorstellst darunter.
- 466 **S2:**Ok. Ok.
- 467 **IA:**Das ist für uns das Wichtige.
- 468 **S2:**Ok. Aber ich würd die jetzt nicht punktförmig, weil die waren früher auch
469 Punkte und jetzt sind sie Striche geworden. Das heißt, ich würd die auch
470 strichelig machen. Okay. Jaa. So in der Art. (zeichnet 5 s) Ja.

- 471 **IA:** Gut. Dann schauen wir mal was passiert. Gar nix, weil ich hab. (undefinierbare
472 Geräusche) Da ist wieder die Mitte.
- 473 **S2:** Mehr ein Strich, aber ich seh diese Punkte glaub ich nicht. Seh ich sie? Na ich
474 glaub nicht.
- 475 **IA:** Gut und hat sich zum Roten etwas verändert?
- 476 **S2:** Es ist klarer als das Rote, also nicht verschwommen.
- 477 **IA:** Okay.
- 478 **S2:** Schaut schärfer aus. HD. Ja. Muss ich auch irgendwie schärfer zeichnen. (zeichnet
479 10 s) Ja.
- 480 **IA:** Gut. Aber du hast jetzt die Abstände genauso gemacht wie beim Roten, quasi.
- 481 **S2:** Jaaaa? Aber ich glaub beim Roten waren es, dass diese Abstände sehr schwach
482 waren und ich nicht gscheit gsehen hab, wie die wirklich waren. Also hab ich
483 einfach gemalt.
- 484 **IA:** Ok. Gut. So jetzt mach ich's noch enger. Enger ist in die andere Richtung
485 natürlich. Durchzielen sollt ma auch noch. Sooo. Okay.
- 486 **S2:** Uh.
- 487 **IA:** Und jetzt. Kann ma. Was erwartest du, wenn der Spalt schmaler ist als die
488 Wellenlänge von dem Licht.
- 489 **S2:** (denkt 5 s) Alsooo. Aha. Das heißt, ist es jetzt dann so was wie beim Roten,
490 so wie hiiier? War's hier schmaler als die rote Wellenlänge? Oder war das was
491 anderes. Ähm. Ich weiß es nicht.
- 492 **IA:** Na. Das war deine Erwartung. Das war, was du dann gezeichnet hast.
- 493 **S2:** Das war mit dem Roten?
- 494 **IA:** Ja.
- 495 **S2:** Und jetzt machen wir das auf's Grüne. Das heißt, das Grüne hat eine kleinere
496 Wellenlänge als das Rote, oder wie?
- 497 **IA:** Das Grüne hat eine.
- 498 **S2:** Ok. Ja. Ist das was ich jetzt vielleicht hier geglaubt habe?
- 499 **IA:** Ich zeig's dir einmal.
- 500 **S2:** Muss ich da was aufzeichnen?
- 501 **IA:** Nein. Da gibt's nix zum Aufzeichnen. Sondern. So. Okay?
- 502 **S2:** Das ist ein, ein Strich in der Mitte.
- 503 **IA:** Genau.
- 504 **S2:** Sonst seh ich nix glaub ich.
- 505 **IA:** Genau, das wird über die ganze Breite des Schirms.
- 506 **S2:** Jetzt ist es ganz weg.
- 507 **IA:** Ja weil's, das ist weil's so eng ist. Schau wenn ich's noch enger mach.
- 508 **S2:** Ja, der Strich. Ja.
- 509 **IA:** Ok. Gut. Na passt. Ausschalten nicht vergessen. So, jetzt kommen wir zum

- 510 letzten Punkt. Wir nehmen ein optisches Gitter. Kennst du ein optisches Gitter?
511 Wir haben da eins mit 80 Linien pro Millimeter.
- 512 **S2:** Nö. (Sieht durch Gitter) Aber solche Effekte habe ich auf Fotos gesehen.
- 513 **IA:** Ok. Was ist ein, also du weißt nicht, was ein optisches Gitter ist und wo man
514 das verwendet, auch nicht.
- 515 **S2:** Nene.
- 516 **IA:** Ok. Dann wollen wir ein Experiment machen mit dem roten Laser. (Arbeits-
517 geräusche)
- 518 **S2:** Aber ich sehe, wie ich beeinflussbar bin von den vorigen Experimenten, wie ich
519 dich, sie, dann überzeugen will.
- 520 **IA:** Na ja. Das, die, es muss ja nicht falsch sein immer.
- 521 **S2:** Ja.
- 522 **IA:** Gut. So. So schau ma moi, dass ma durchtreffen. So. Ok. Gut, also was erwartest
523 du, was ma jetzt sehen werden, wenn ma jetzt ein optisches Gitter verwenden.
524 Hast du irgend eine Idee?
- 525 **S2:** Darf ich das nochmal sehen?
- 526 **IA:** Ja natürlich, dafür ist es ja da.
- 527 **S2:** Ich kann jetzt schon im Licht durch . Hallo. Gerade schaut's, vielleicht, dass
528 sich . . . das Ding ist wie es von so aussieht wird's. Das kann man auch wieder
529 drehen, ah ja so wird's sein.
- 530 **IA:** Also wir werden's. Wir werden's so hineinstellen.
- 531 **S2:** Ja (Pause 5 s) Es wird . ich kann's auch . . (unverständlich) es schaut hier sehr
532 bunt aus . (unverständlich) vielleicht . nicht Interferenzmuster, weil das war
533 einmal in der Mitte und dann ist es schwächer geworden. Aber ich glaube, es
534 wird . . . auch in sich, so in der Art, ich will nicht multiplizieren sagen, weil das
535 ist falsch, aber mehrere Punkte geben.
- 536 **IA:** Ok. Wie stellst du dir die vor?
- 537 **S2:** Keine Ahnung. Ähm, vielleicht . . . schwierig, schwierig, schwierig . . werden sie
538 strichförmig sein, ich weiß es nicht. Ich mal einfach mal . soo vielleicht. Werden
539 sie vielleicht sehr groß sein, oder werden sie nur . ich mal . . . oder werden sie
540 sogar ein Raster. Nein. . Oder. (Pause 7 s)
- 541 **IA:** Ok.
- 542 **S2:** Keine Ahnung. Vielleicht. Ich glaube, es wird aber auch, auch oben. Ich mal
543 oben auch ein paar dazu . . . ich weiß nicht. Nein, das schaut wieder viel zu viel
544 aus. Ich glaub, ich hab wieder viel zu viel gemacht . . . egal. Ich log die Antwort
545 ein.
- 546 **IA:** Gut.
- 547 **S2:** Oh. Ja. Ok. Viel simpler als ich gedacht habe.
- 548 **IA:** Das ist das da.
- 549 **S2:** Ja viel, wenn ich viel mehr (unverständlich) beibehalten hätte, wäre es schon
550 eher. Egal.

- 551 **IA:** Gut. Würdest du das, was du da beobachtest, auch noch skizzieren bitte und ...
- 552 **S2:** Ja.
- 553 **IA:** ... gibt's da eine Erklärung dafür? Hast du da eine Idee, warum's da, wie das da
- 554 so aussieht?
- 555 **S2:** Uhn. Jaaa. Ich zeichne grad. Ich versuch (Pause 7 s) Ähm, diese Folie ist das
- 556 ein ...?
- 557 **IA:** Das optische Gitter.
- 558 **S2:** Das optische Gitter setzt, err, kann man sagen, das Licht gebrochen, keine
- 559 Ahnung. Weil es, es hat auf jeden Fall mit dem Licht gespielt. Es hat, ich hab
- 560 die Regenbogen gesehen, das heißt . . . jaaa, und es wann wäre, keine Ahnung wie
- 561 ich das erklären soll. Keine Ah . Vielleicht sind in dem Gitter mehrere Löcher
- 562 und dann. Nein.
- 563 **IA:** Hat das, glaubst du, mit einem von den Effekten, die ma vorher besprochen
- 564 haben, zu tun?
- 565 **S2:** Ohhhohh. . . kööönnte sseein, aber da is eben nix, da interferiert nix. Das sind
- 566 einfach nur viele Punkte. (Pause 8 s) Keine Ahnung, aber ich glaub schon, dass
- 567 irgend eine Art Loch drinnen ist, dass vielleicht viele Löcher sind.
- 568 **IA:** Also Löcher. Dass Punkte entstehen, nur weil der Laser punktförmig ist. Das
- 569 hat jetzt nicht mit . das Gitter ist ja linear quasi.
- 570 **S2:** Ja. Ja. Ja.
- 571 **IA:** Ein Gitter. Wenn ma Kanaldeckelgitter vorstellt quasi.
- 572 **S2:** Ja. (Schullocke läutet) Keine Ahnung.
- 573 **IA:** Ok. Na macht ja nix. Jetzt würde ich eins mit 300 Linien pro Millimeter.
- 574 Erwartest du, dass es gleich bleibt, dass sich was ändert?
- 575 **S2:** Ich glaube, es sind (Zweite Schullocke läutet) 300 Linien. Würde man sich mehr
- 576 Punkte vorstellen, aber ich glaube, ich sehe hier weniger . weniger Regenbögen
- 577 als vorher, also schätze ich es werden größere, weniger Punkte.
- 578 **IA:** Ok.
- 579 **S2:** Nein, nicht größer, vielleicht stärker, obwohl sie waren schon ziemlich stark. Auf
- 580 jeden Fall weniger. Nicht unbedingt stärker, nur weniger.
- 581 **IA:** Gut. Na dann schauen wir mal.
- 582 **S2:** Oha.
- 583 **IA:** Also.
- 584 **S2:** Ah ja. Ok. Aha, es sind weniger. Aber ich hab trotzdem mehr aufgezeichnet.
- 585 **IA:** Gut. Zeichnest du deine Erwartung.
- 586 **S2:** (Zeichnet 10 s)
- 587 **IA:** So, wir nehmen jetzt wieder das 80-Linien-Gitter von vorhin. Und dann würd
- 588 ich den grünen Laser wieder hineinmontieren.
- 589 **S2:** Ja.
- 590 **IA:** Was erwartest du? Wird sich was ändern? Wird sich nichts ändern?

- 591 **S2:** Jetzt, glaub ich, hol ich wieder die, das von vorher, das passiert ist beim Grünen.
- 592 **IA:** Ja.
- 593 **S2:** Und ich glaub, jeder von diesem Punkt hat so Punkte um sich herum.
- 594 **IA:** Ok. Zeichnest du das wieder hin bitte.
- 595 **S2:** Ja. (zeichnet 16 s) So. Dann glaub ich, dass jeder von denen ein paar Punkte
596 um sich herum hat. Und die dann halt ziemlich viel werden, weil ich glaub, weil
597 es gibt auch so Party-Laser, wo so das ganze Raum beleuchtet ist.
- 598 **IA:** Uhm.
- 599 **S2:** Ich glaub, so in der Art wird es dann aussehen.
- 600 **IA:** Ok.
- 601 **S2:** Könnt ich mir vorstellen.
- 602 **IA:** (Störung durch hereinkommende Person)
- 603 **S2:** Jaaaa.
- 604 **IA:** Ok. Dann schauen wir mal, was rauskommt.
- 605 **S2:** Ohh. Na ja. Fast.
- 606 **IA:** Ok.
- 607 **S2:** Oder bild ich mir das, es schaut schon zerstreut aus. Doch, doch.
- 608 **IA:** Gut, also was siehst du.
- 609 **S2:** Seh ich das richtig? Oh, ich bin sehr nah am Mikrofon.
- 610 **IA:** Das macht nix.
- 611 **S2:** Ja. Ich habs. In der Mitte sind auch noch. In der Mitte sind auch noch viele,
612 die hab ich nicht eingezeichnet. Das hab ich.
- 613 **IA:** Gut. Dann zeichne wie du das jetzt siehst bitte.
- 614 **S2:** Ja (Zeichnet 7 s) So sind dann nicht so stark wie ich gedacht habe (zeichnet 8
615 s). So, in der Mitte sind auch noch vielleicht.
- 616 **IA:** Also hat sich jetzt was geändert gegenüber dem Roten und wann wann, wie,
617 warum?
- 618 **S2:** Ja.
- 619 **IA:** Hast du da eine Idee?
- 620 **S2:** Wahr. Also, es hat sich definitiv was geändert wie mit beim Roten. Eben diese
621 kleinen umschwärmenden Pünktchen auch noch und, eine Idee vielleicht, weil's
622 eben das grüne Licht eine kleinere, was ich vorher mir schon gedacht hab, dass
623 es eine kleinere Wellenfrequenz hat als das Rote. Vielleicht das würdest du.
- 624 **IA:** So und jetzt werden wir weißes Licht durch . durch dieses Gitter schicken.
625 Glaubst du, was wird, was erwartest du da zu sehen?
- 626 **S2:** Regenbögen.
- 627 **IA:** Regenbögen?
- 628 **S2:** Jaaaa.
- 629 **IA:** Ookay. Gut. Ja dann zeichne das da hin.

- 630 **S2:** Wir haben Buntstifte und jetzt macht alles Sinn.
- 631 **IA:** Jaaaaa.
- 632 **S2:** (Zeichnet 50 s und kommentiert Farben) Kann ich nachschauen, wie ein Regen-
633 bogen gefärbt ist. Welche Farbe zuerst kommt.
- 634 **IA:** Neeein.
- 635 **S2:** Ohohohoh. Schon ewig kein Regenbogen mehr gemalt. Ich mal einfach. Blau
636 ist relativ am Schluss noch hinter Lila. Oder ist Blau am Anfang? Ich mal mal
637 Blau zum Schluss. Und dann gibt's so mehrere Punkte, die regenbogenartig
638 aussehen. Ok. Ich hab das mehr strichig gemacht und nicht rund. Oder wird das
639 drumherum gemessen?
- 640 **IA:** Na schau, haben's eh strichig. Wir haben da eine Linse, nur damit das da scharf
641 abgebildet wird. Ok.
- 642 **S2:** Ja.
- 643 **IA:** Jetzt würd ma das Gitter reintun.
- 644 **S2:** Aha. Oho. Es ist strichig.
- 645 **IA:** Was beobachtest du?
- 646 **S2:** Also in der Mitte, das schaut sehr rosa aus. Keine Ahnung.
- 647 **IA:** Uhm.
- 648 **S2:** Und dann eben hat sich der Regenbogen, den ich falsch gefärbt hab, geformt,
649 aber ich hab in der Mitte eine Farbe genommen und außen dann die gleichen
650 Farben, aber hier ist von links nach rechts.
- 651 **IA:** Zeichnest du das auf. Was hast du da. Also da ist die Mitte natürlich.
- 652 **S2:** Schaut schon rosaich aus. Obwohl's eher, ich nehm einfach Rosa dafür. Ok, dann
653 was näher in der Mitte ist, ist Blau, dann kommt Grün, ah Grün. (zeichnet 10
654 s) Ah so, gibt's öfters und die verschwimmen dann halt nach außen eher.
- 655 **IA:** Ok.
- 656 **S2:** Die vermischen sich.
- 657 **IA:** Ok. Hast du eine Idee, warum das passiert? Was da passiert überhaupt?
- 658 **S2:** Ahmmm.
- 659 **IA:** Also, wir haben wieder dieses Gitter.
- 660 **S2:** Ja. Und ich schätze wieder weil, weil das Licht irgendwie wie beim . ich will
661 nicht sagen, dass es so geradlinig ist, aber es verstreut sich nach außen auch
662 und dann wenn sie hier aufkommen, kommen sie schräääg auf. Ich kann's nicht
663 erklären. Hier sind sie ziemlich gerade, ziemlich klar.
- 664 **IA:** Uhm.
- 665 **S2:** Und dann eben je weiter außen sie gehen, desto untereinander vermischen sie
666 dann. Weil's schräg auf,...
- 667 **IA:** Uhm.
- 668 **S2:** ... auf, auf, oh mein Gott, aufkommt, dass ist es.
- 669 **IA:** Aber was da der Grund ist?

670 **S2:** Oh. Ich glaub, ich hab's verwischt, aber macht nichts.

671 **IA:** Aber was da der Grund ist? Warum es so ist?

672 **S2:** Würde sagen, das Licht ist gebrochen, ja, ich würde sagen, das Licht ist gebro-
673 chen.

674 **IA:** Und warum in die unterschiedlichen Farben?

675 **S2:** Weil sie sich miteinander vermischen? Halt eben, ähh, da sind viel mehr Grün
676 und Blau und Gelb ist Grün, dass da diese Farben vielleicht wieder mehr . eben.
677 . mehr übereinander liegen.

678 **IA:** Ok. Na passt. Danke für deine Bemühungen.

6.3.3 Interview 3

Interview mit Schüler 3 (8. Klasse Oberstufe) am 19.4.2018 am Bundes-Oberstufenrealgymnasium, Hegelgasse 12. Der Schüler schätzt sich selbst mit Note 3 in Physik ein.

- 1 **IA:** Wir reden über Wellenoptik, das heißt, wir fangen mit Polarisation an. Hast
2 du schon mal g'hört, dass den Autofahrern empfohlen wird Polarisationsbrillen
3 statt Sonnenbrillen zu verwenden oder polarisierte Sonnenbrillen zu verwenden?
- 4 **S3:** Ja. Ja, hab ich schon mal, also gehört.
- 5 **IA:** Hast du da eine Idee, warum das ein Vorteil sein könnte? Was da der Effekt ist?
6 Was Polarisation an sich ist?
- 7 **S3:** Ich muss ehrlich sagen, was es an sich genauer, also die genauere Definition was
8 es heißt, weiß ich nicht. Nein.
- 9 **IA:** Ok. Wir haben da zwei so, wir haben da eine Polarisationsfolie.
- 10 **S3:** Uhm.
- 11 **IA:** Und dann zwei Folien. Eine davon ist auch polarisierend, die andere nicht.
- 12 **S3:** Ja.
- 13 **IA:** Kannst du herausfinden, welche von denen polarisierend ist und welche nicht.
- 14 **S3:** Ich nehm' an, die.
- 15 **IA:** Weil?
- 16 **S3:** Oder warten sie kurz. Darf ich sie eh?
- 17 **IA:** Ja, ja man kann sie in die Hand nehmen, ruhig damit spielen.
- 18 **S3:** Darf ich das auch nehmen?
- 19 **IA:** Ja, dafür ist es da, da ist die, wiss' ma, das sie polarisiert.
- 20 **S3:** (Pause 10 s)
- 21 **IA:** Ok. Was versuchst du herauszufinden?
- 22 **S3:** Na. Ich hab's jetzt probiert, ob's wie bei der, also ich weiß es von der 3D-Brille
23 weiß ich es ...
- 24 **IA:** Ja.
- 25 **S3:** ... nicht ob's polarisiert ist, aber ...
- 26 **IA:** Genau, das is auch.
- 27 **S3:** ... wenn ich da die zwei Brillen übereinander leg.
- 28 **IA:** Ja.
- 29 **S3:** Ähm, in einer gewissen Art. Also wenn ich sie umdreh' und übereinander leg,
30 dann wird's schwarz, also dann sieht man fast nichts mehr durch.
- 31 **IA:** Ok.
- 32 **S3:** Und wenn ich sie anders nehm', sieht man was durch und deshalb hab ich das
33 da jetzt probiert.
- 34 **IA:** Und hast da was herausgefunden?

- 35 **S3:** Wenn ich beide übereinander leg, dass es dann genauso aussieht wie das und
36 wenn ich das nehm', dann ist es verschwommen. Das ist für's Autofahren nicht
37 so.
- 38 **IA:** Ok. Also das wäre eine Polarisationsfolie, würdest du sagen.
- 39 **S3:** Ich weiß' es nicht.
- 40 **IA:** Na probier's noch einmal. Nimm es einzeln einfach und schau mal . . . und dann
41 nimm eine zweite dazu, so wie du die Idee gehabt hast mit dem gegeneinander
42 drehen.
- 43 **S3:** So geht sie jetzt nicht, so auch nicht, aber wenn ich die beiden.
- 44 **IA:** Na, das.
- 45 **S3:** Die beiden zusammen sind's nicht.
- 46 **IA:** Ok.
- 47 **S3:** Ja. Die ist es.
- 48 **IA:** Ok.
- 49 **S3:** Wie bei der 3D-Brille. Wenn ich's so umdrehe, seh ich fast nix mehr durch.
- 50 **IA:** Ok.
- 51 **S3:** Und wenn ich sie so hab, dann seh ich, ah, dann seh ich auch nix durch.
- 52 **IA:** Ok.
- 53 **S3:** Also, es ist dann schwarz.
- 54 **IA:** Und was ist, wenn du die drehst gegeneinander?
- 55 **S3:** Im Sinne von so.
- 56 **IA:** 90 Grad.
- 57 **S3:** 90 Grad. Seh' ich wieder alles durch, ja.
- 58 **IA:** Ok. Kannst du dir erklären, wie dieser Effekt jetzt zustande kommt? Was das
59 macht mit dem Licht?
- 60 **S3:** Vielleicht ist die Struktur anders und deshalb kommt fast kein Licht mehr durch,
61 oder . nein genauer erklären kann ich's mir nicht.
- 62 **IA:** Ok. Na, ist ja nicht so tragisch. Passt ja. Aber du hast schon mal davon gehört
63 und du weißt, dass die 3D-Brillen genau so funktionieren.
- 64 **S3:** Ja.
- 65 **IA:** Genau, sehr gut. So. Gibt es da jetzt da, also wenn du es gegeneinander drehst,
66 dann wird's dunkel und wenn du's wieder zurückdrehst, dann siehst wieder
67 durch.
- 68 **S3:** Ja.
- 69 **IA:** Wenn da eine alleine ist, siehst immer durch, oder ist das?
- 70 **S3:** Ja. Eigentlich schon.
- 71 **IA:** Du hast keine Idee, warum das so ist, warum, was da der Effekt sein könnte?
- 72 **S3:** Was genau der Effekt sein könnte, weiß' ich nicht wie gesagt, ich weiß' es nur
73 daher ich die 3D-Brillen aus dem Kino ...

- 74 **IA:** Uhm.
- 75 **S3:** ... dass man da auch die Gläser, unter Anführungszeichen, rausnehmen kann
76 und da haben wir uns immer gespielt.
- 77 **IA:** Ok.
- 78 **S3:** Von dem her wusste ich.
- 79 **IA:** Und dich hat nie interessiert, was der Effekt ist.
- 80 **S3:** (lacht) Wie es genau funktioniert, habe ich nie gewusst und da ich auch keine
81 Ansprechperson hatte, beziehungsweise im Physikunterricht dann auch vergessen
82 hab.
- 83 **IA:** Na macht ja nix.
- 84 **S3:** Habe ich nie danach gefragt.
- 85 **IA:** Alles klar. Na gut, dann kommen wir zum Nächsten. Dann kommen wir zum
86 Nächsten. Wir haben hier einen Laser und hier so ein Doppelspalt-Gitter, wir
87 werden zuerst das engste nehmen mit den 0,15 Millimeter.
- 88 **S3:** Uhm.
- 89 **IA:** Willst es anschauen, oder?
- 90 **S3:** Ja es ist einfach . . . ja, (unverständlich) ja.
- 91 **IA:** Gut. Was erwartest du, wenn ich das jetzt da in diesen Laser-Weg hineingebe?
- 92 **S3:** Na, es sollte wieder ein Punkt erscheinen, oder.
- 93 **IA:** Ein Punkt. Zeichnest du mir einfach hin, was du erwartest was rauskommt.
- 94 **S3:** (zeichnet 7 s) Es wird jetzt genau untersucht wegen Teilchen-und-Welle-Prinzip
95 Licht, oder?
- 96 **IA:** Unter anderem, ja. Es geht hauptsächlich darum, was das für Phänomene sind
97 die da passieren.
- 98 **S3:** Eh, beim Ersten.
- 99 **IA:** Genau beim Ersten: . . wir schicken das Laserlicht durch diese zwei Spalten.
- 100 **S3:** Ja, das hab ich schon.
- 101 **IA:** Du erwartest einen einzigen Punkt. Gut. Sehr gut.
- 102 **S3:** Es könnte sein, dass es zwei.
- 103 **IA:** Dann schau'n wir das jetzt an.
- 104 **S3:** Aber ich glaub, dass es nur einer ist.
- 105 **IA:** Guut. Dann schauen wir mal das Experiment an. So ist besser. Gut da ist die
106 Mitte.
- 107 **S3:** Gut.
- 108 **IA:** Ok. Was erwart, was beobachtest du da?
- 109 **S3:** Ja, es sind mehrere Punkte nebeneinander, dadurch dass es gespalten wird. Das
110 sind, gut. Das soll ich jetzt bei der Beobachtung?
- 111 **IA:** Gut. Bitte. Beobachtung, was du da siehst und was dir da genau auffällt.
- 112 **S3:** Na ja, in der Mitte ist wie gesagt der große Punkt.

- 113 **IA:** Uhm.
- 114 **S3:** Nach draußen wird's schwächer und kleiner.
- 115 **IA:** Ok. Ist der große Punkt ein ganzer großer Punkt?
- 116 **S3:** Nein, ist kein ganzer großer Punkt. Ist, in der Mitte ist ein ganzer Punkt. Doch
117 es ist ein ganzer Punkt.
- 118 **IA:** Uhm. Ok. Ich hab noch eine Lupe, quasi mit, dass wir die Mitte noch vergrößern
119 können.
- 120 **S3:** Ok. Also es sind ganz viele kleine Punkte.
- 121 **IA:** Ok. Aber in der Mitte die drei sind die größten.
- 122 **S3:** Das sind die größten ja, also die sieht man am Besten.
- 123 **IA:** Ok. Da sind zwei, also uns geht's jetzt wirklich nur um diese drei inneren Striche
124 quasi, weil das sind die, das Phänomen, das wir beobachten wollen.
- 125 **S3:** Uhm.
- 126 **IA:** Das andere ist eine Überlagerung von anderen Phänomenen. Ah. Hast du eine
127 Idee was, wie dieser Effekt heißt?
- 128 **S3:** Ist das die Superposition oder nicht?
- 129 **IA:** Ähhhjjje phh. Wenn du meinst, das das die.
- 130 **S3:** Ich glaub das, nein ich bin mir nicht sicher. Das ist schon ein bisschen länger her,
131 dass ich das gelernt hab, beziehungsweise ich Sachen ziemlich schnell vergess'.
132 Es ist ein Doppelspaltexperiment, oder?
- 133 **IA:** Ja.
- 134 **S3:** Ähm.
- 135 **IA:** Und was entsteht da?
- 136 **S3:** Das ist wieder mit Teilchen-Wellen-Prinzip. Irgendwas hat das mit dem zu tun,
137 aber wie's genau heißt, beziehungsweise was es genau ist, weiß ich leider auch
138 nicht mehr.
- 139 **IA:** Ok. Interferenz, sagt dir das was?
- 140 **S3:** Ja. Interferenzmuster, ja.
- 141 **IA:** Ok.
- 142 **S3:** Also das es in der Mitte groß und auf der Seite kleiner wird.
- 143 **IA:** Ok. Gut. Na, sehr gut. Also, kannst du dann erklären, warum das überhaupt
144 passiert?
- 145 **S3:** Phhhh.
- 146 **IA:** Was der Effekt, der Interferenz hervorruft, ist?
- 147 **S3:** Nein, weiß ich leider auch nicht mehr. Ich würd', wenn ich's mir vorher angeschaut
148 hätte, dann wüsst' ich's schon, weil ich hab's beim Test auch gewusst, aber da.
- 149 **IA:** Ja, macht ja nix. Wir sind. Ahh. Diese Striche und hellen und dunklen Bereiche,
150 wie die heißen, was wir da dazu sagen. Interferenz-Maxima und -Minima, hast
151 das schon.
- 152 **S3:** Ah so, ja, hab ich noch nie. Ich kann mich nicht daran erinnern. Wahrscheinlich

- 153 haben wir sicher irgendwann einmal gehört, aber ich kann mich nicht mehr daran
154 erinnern. Also ich weiß, dass es Interferenzmuster heißt.
- 155 **IA:** Ok.
- 156 **S3:** An das kann ich mich erinnern. Das weiß ich noch, aber die anderen Sachen.
- 157 **IA:** Und gibt's da eine Regel, vielleicht warum man das so sieht dieses Muster? Hast
158 du da irgend eine Idee?
- 159 **S3:** Ja, also das haben wir auch sicher einmal irgendwo gehört . mmmm (Blättergeräusch)
160 Es sind jetzt wie viele Spalte? Zwei Spalten, oder?
- 161 **IA:** Das sind zwei Spalten, ist ein Doppelspalt.
- 162 **S3:** Das sind zwei Spalten. Es ist Zweispalt, ein Doppelspaltexperiment. Und die
163 Frage ist jetzt, wieso das genau so ...
- 164 **IA:** Genau.
- 165 **S3:** ... wieso man's genau so sieht.
- 166 **IA:** Kannst du das da hinzeichnen, was da die Idee ist. Wir haben den Doppelspalt
167 und den Schirm.
- 168 **S3:** Ja, wir haben mit'm Laser, also das ganze Modell, oder jetzt nur.
- 169 **IA:** Na, na, nur was du da, wie du dir erklärst, dass da das Muster entsteht quasi
170 am Schirm.
- 171 **S3:** Na. Ich versuch's als erstes Mal zu erklären, ich versuch's mal zu erklären.
- 172 **IA:** Sehr gut. Ich schalt nur derweil den Laser aus.
- 173 **S3:** Ja. Ähm. Meiner Meinung nach, beziehungsweise was ich so ungefähr noch weiß,
174 ist es doch so, dass der Spalt, die beide Spalten sind und das Licht auf beiden
175 Spalten, über beide Spalten durchgeht.
- 176 **IA:** Uhm.
- 177 **S3:** Und wenn das Licht ein Teilchen wär, dann würde in der Mitte, äh, dieser Spalt
178 eben bleiben und nur mehr noch den andern zwei Sp, äh, wo die beiden Spalte
179 sind, das Licht sehen. Da das aber eben nicht der Fall ist, geht man davon
180 aus, dass Licht auch eine Welle ist und eben so um die Ecke wieder geht und
181 den Spalt wieder zumachen, beziehungsweise dort auch auf der anderen Seite
182 irgendwie so.
- 183 **IA:** So um die Ecke? Was ist so um die Ecke?
- 184 **S3:** Na ja, es geht. Sonst müsste es ja sein, dass man in der Mitte einen Spalt hat
185 und da dürfte dann, dürfte man nichts sehen.
- 186 **IA:** Uhm.
- 187 **S3:** Das ist aber eben nicht der Fall, weil man sieht ja genau in der Mitte diesen
188 großen Punkt, dann sind eine, na ja, eine Abgrenzung ist es auch nicht, aber da
189 ist es dann ein bisschen weniger Licht und dann sind wieder zwei Punkte und
190 so wie ich mir das erklären würde, wäre das dann so, dass eben diese zweiten
191 Spalte, die sind das Licht, äh, rechts und links auf die Seite auch noch ausdehnt,
192 na ausdehnt kann man nicht sagen, aber wie sagt man das?
- 193 **IA:** Du hast ja schon richtig, dass das Experiment zeigt das es Welleneigenschaften
194 hat.

- 195 **S3:** Ja, ja.
- 196 **IA:** Hat. Wie kannst du die Welle da hineinbringen? Hast du da eine Idee?
- 197 **S3:** Na ja die Welle, wie gesagt, wenn's ein Teilchen wär' müsste es geradlinig sein
198 oder die Welle, es geht ja, wenn die Welle sich nach dem Spalt wieder ausbreitet,
199 dann ist es ja dann wieder in der Mitte, dürfte ja kein Punkt sein dann eigentlich.
- 200 **IA:** Uhm.
- 201 **S3:** Und ich glaub, dass durch die Welle eben dieser Punkt dann wieder dort ...
- 202 **IA:** Ok.
- 203 **S3:** ... hinkommt, beziehungsweise der.
- 204 **IA:** Na gut. Na passt. Sehr gut. Dann schau ma weiter. Ich glaub, wir werden jetzt
205 einen grünen Laser verwenden. Gleiches Experiment grüner Laser, was erwartest
206 du zu sehen?
- 207 **S3:** Na ja. Normalerweise würde ich sagen, da es ein Laser ist und es eben dieselben
208 Eigenschaften hat, müsste dasselbe rauskommen, aber ich nehme nicht an, das
209 dasselbe rauskommt, weil sonst würde man das Experiment nicht machen, oder?
- 210 **IA:** Na ja, oder es kommt das Gleiche raus und das Experiment zeigt das, also?
- 211 **S3:** Nein, ich glaub', das irgendwas unterschiedlich sein wird.
- 212 **IA:** Was wird unterschiedlich sein? Was erwartest du da, was da was passiert?
- 213 **S3:** Ich könnt mir vorstellen, dass es vielleicht außen die großen Punkte sind und
214 dann innen der kleine vielleicht aber ...
- 215 **IA:** Wie du magst.
- 216 **S3:** ... sicher weiß ich es einfach nicht.
- 217 **IA:** Zeichnest es einfach hin, was du dir vorstellst, was du glaubst, was da raus, na,
218 das ist das bitte.
- 219 **S3:** Oh genau. (Zeichnet 12 s) (murmelt unverständlich)
- 220 **IA:** Und diese Abstände sind gleich weit entfernt voneinander.
- 221 **S3:** Sollten.
- 222 **IA:** Wie beim Roten oder?
- 223 **S3:** Ja, eigentlich schon.
- 224 **IA:** Ok. Gut. So. Jetzt bleiben wir wieder, jetzt gehen wir wieder zum roten Laser.
225 Wir würden den Abstand zwischen den Spalten jetzt größer machen.
- 226 **S3:** Uhm.
- 227 **IA:** Bleibt das Bild gleich? Wird es anders? Wird sich was ändern?
- 228 **S3:** Na, ich glaub schon, dass es.
- 229 **IA:** Was wird sich ändern?
- 230 **S3:** Der Abstand zwischen den?
- 231 **IA:** Der Abstand zwischen den Spalten wird größer. Wir nehmen jetzt die ein
232 Millimeter Abstand. Was erwartest du, was dann rauskommt. Wird das Bild
233 eben, wie gesagt, gleich bleiben? Wird es sich ändern?

- 234 **S3:** Nein. Ich glaub, dass es sich weiter verteilt, also dass.
- 235 **IA:** Könntest du das so hinzeichnen wie du erwartest, das es sich breiter verteilt.
- 236 **S3:** Da?
- 237 **IA:** Ja. Genau.
- 238 **S3:** (zeichnet 13 s)
- 239 **IA:** Ok. Dann schauen wir mal was passiert. Hoffentlich treff ich. So. . Ok. Also was
240 beobachtest du?
- 241 **S3:** Ich seh's jetzt nicht genau daher, dass ich ein bisschen kurzsichtig, aber ich
242 glaube schon, dass es sich breiter verteilt.
- 243 **IA:** Kannst ruhig näher kommen.
- 244 **S3:** Aber dass in der Mitte der Punkt sich eben in die Länge zieht.
- 245 **IA:** Ok. Ich zeig's dir nochmal mit der Lupe quasi. Es wird halt dann immer
246 schwächer.
- 247 **S3:** Ja, das ist schon. Also, es sind keine Punkte mehr sondern Striche.
- 248 **IA:** Ok.
- 249 **S3:** Wenn ich's genau seh.
- 250 **IA:** Du kannst ruhig näher kommen.
- 251 **S3:** Ja, das ist auch.
- 252 **IA:** Ok. Gut.
- 253 **S3:** Ja, also man sieht auf der Seite durch die Lupe, sieht man auf der Seite fast
254 nichts mehr und nur mehr diesen Punkt eben in der Mitte. Aber da sieht man
255 schon, dass es auf jeden. Ich glaub', dass es schwächer ist als beim Ersten.
- 256 **IA:** Uhm.
- 257 **S3:** Keine Ahnung mehr, wie's jetzt genau beim Ersten ausgesehen hat, aber ich
258 glaub, dass es schwächer ist.
- 259 **IA:** Ok. Magst du da deine Beobachtung quasi hinzeichnen, wie du das jetzt beob-
260 achtest.
- 261 **S3:** Da auf der Seite?
- 262 **IA:** Genau.
- 263 **S3:** (zeichnet 20 s)
- 264 **IA:** Hast du eine Erklärung dafür, warum's jetzt ein bissl anders aussieht als
265 vorher?
- 266 **S3:** Na ja, ich nehme an, weil die Spalte größer sind beziehungsweise ein größerer
267 Abstand, ähh. Iss es so, das hab, ähm, die Spalte sind jetzt größer geworden
268 oder der Abstand ...
- 269 **IA:** Der Abstand zwischen den Spalten.
- 270 **S3:** ... zwischen den Spalten?
- 271 **IA:** Tschuldigung, ich sag das falsch.
- 272 **S3:** Ja, nein, nein. Ich hab's nur. Ähm. Wenn der Abstand größer wird, dass das

- 273 Licht dann größere Wellen, unter Anführungszeichen, machen muss und daher
274 es da dann ... größer gest, geteilt wird, weil ja ein größerer Abstand dazwischen
275 ist und deshalb zieht es sich auch in die Länge. Weißt du, was ich da meine?
- 276 **IA:** Ok. Was verstehst du unter größeren Wellen?
- 277 **S3:** Nicht größere, ja ok, größere Welle ist auch blöd ausgedrückt, wie soll man's
278 sagen? ... Aaaaah, wenn ich sag einen weiteren Weg zurücklegen, das ist auch blöd,
279 nein, wie ich's genau formulieren soll, weiß ich jetzt eigentlich auch nicht. Also
280 ich würd' einfach sagen, dadurch, dass jetzt der Abstand größer ist. Weil wenn
281 ich jetzt zum Beispiel sag ich stell mir immer vor, wenn ich eine Taschenlampe
282 nehmen würd', auch wenn's was Anderes ist, aber ich halt meine Hand so davor,
283 dann hab ich dahinter einen kleineren Spalt und wenn ich's so nehmen würd',
284 würd ich zwar von der Taschenlampe jetzt gar nichts mehr sehen bis auf einen
285 Spalt an der Seite und das wär meine Erklärung durch den Laser, dass der dann,
286 das der Laser auf der Mappe einfach größer, das der in die Länge gezogen wird.
287 So würd's ich mir ungefähr irgendwie erklären.
- 288 **IA:** Ok. Gut. Ja, kein Problem, das passt, ja. So wir wollen jetzt kurz über Wasser-
289 wellen sprechen, weil das mit der Wellenlänge einfacher zu erklären ist. Ich dreh
290 den Laser wieder ab.
- 291 **S3:** Uhm.
- 292 **IA:** Aah, auf der nächsten Seite sind da so zwei Punktquellen abgebildet. Die sollen
293 jetzt Wasser, ääh, Wasserwellen sein, also Wellenquellen sein.
- 294 **S3:** Uhm.
- 295 **IA:** Aah. Das sind zwei, wir sagen, dass die kohärent sind. Sagt dir kohärent irgend
296 was? Was das ist? Warum das wichtig ist bei der Interferenz?
- 297 **S3:** Also gehört hab ich's schon. Ich kann mich erinnern, dass ich's schon mal gehört
298 hab', aber was jetzt genau, wie gesagt die Definition?
- 299 **IA:** Definition ist mir nicht wichtig, was du.
- 300 **S3:** Weiß ich nicht, beziehungsweise was es bedeutet.
- 301 **IA:** Hast du irgend eine Idee, was das sein könnte.
- 302 **S3:** Vielleicht die Wellenlänge, aber ich weiß es nicht. Also ich könnt jetzt nicht zu,
303 nicht mal zu 50 Prozent sagen, was das ist. Also ich hab' wirklich keine Ahnung.
- 304 **IA:** Aber es wären zwei Quellen und die müssen kohärent sein. Sagt dir das was?
- 305 **S3:** Die müssen gleich weit vom Ursprung weg vielleicht? Oder vom . . . andere Frage:
306 sind das beides Ursprünge oder ist das?
- 307 **IA:** Genau. Das sind beides Ursprünge von Wellen quasi. Also stell dir vor, eine
308 Wasserwanne und zwei Stifte die so hineintippen quasi und dann würden ja
309 Wellen entstehen auf der Wasseroberfläche. So ungefähr ist das als Experiment
310 gedacht.
- 311 **S3:** Ja. Und die müssen koh ...
- 312 **IA:** Kohärent sein genau.
- 313 **S3:** Ich weiß es wirklich nicht. Ich hab keine Ahnung.
- 314 **IA:** Ok. Jö. Hast du dann eine Idee, was beim Punkt B sein würde.

- 315 **S3:** Dass da die Wellen aufeinandertreffen. Nehm ich an.
- 316 **IA:** Ja und zwar wie?
- 317 **S3:** Na ja, es kommt drauf an. Also sie würden gleichmäßig aufeinandertreffen. Das
318 heißt, sie gehen wieder in dieselbe Richtung zurück. Wenn sie unterschiedlich
319 aufeinandertreffen würden, dann würden sich die Wellen gegenseitig auslöschen,
320 nehme ich mal an.
- 321 **IA:** Uhm. Gut, also da kommen sich, also da würdest du jetzt ein Maximum erwarten.
- 322 **S3:** Ja, das wäre das, der höchste Punkt wo sie sich ...
- 323 **IA:** Ok. Sehr gut. Dann was würdest du erwarten im Punkt A, der 10 Wellenlängen,
324 die sind zwei Wellenlängen auseinander und der ist 10 Wellenlängen entfernt
325 von diesen zwei Punktquellen. Gibt's da ein Maximum oder ein Minimum?
- 326 **S3:** Na ja, daher die, weil sich ja in beide Richtungen ausbreitet und nicht nur in
327 die, würd ich annehmen das da ein Minimum wäre, weil die Welle schwingt ja
328 weiter und irgendwann hört sie ja auf . . im Wasser.
- 329 **IA:** Na, nehmen wir an, das würd so weiter.
- 330 **S3:** Unendlich weiter.
- 331 **IA:** Genau.
- 332 **S3:** Und die geht dann auch unendlich so, aber in die andere . ok ähm, na ja, ich
333 würd hier dann das, wenn sich's hier auf's Maximum aufschwingt, wäre hier
334 dann vielleicht die Kleinste.
- 335 **IA:** Ok. Also ein Minimum erwartest du da. Nächstes Bild ist, die sind dreieinhalb
336 Wellenlängen auseinander, also drei halbe Wellenlängen auseinander, also 1,5.
337 Erwartest du da ein Maximum oder Minimum?
- 338 **S3:** (Pause 8 s) Na ja, eher ein Minimum, oder. Also, ich würd sagen, ein Minimum.
- 339 **IA:** Ok. Und im Punkt A, der wieder 10 Lambda entfernt ist?
- 340 **S3:** Da würd ich dann ein Maximum erwarten.
- 341 **IA:** Ok. Und was ist, wenn der Punkt A 11 Lambda entfernt wäre? Würde das einen
342 Unterschied machen, oder nicht?
- 343 **S3:** (Pause 16 s) Weiß ich nicht.
- 344 **IA:** Ok. Gut.
- 345 **S3:** Könnt ich jetzt nicht sagen. Ich würd schon annehmen, aber wieso 's so is, kann
346 ich dir auch nicht erklären.
- 347 **IA:** Ok. Kein Problem. Wir haben da, quasi so eine, wieder unser Experiment.
348 Ein Schirm und wir haben da zwei Lichtquellen, die kohärent sind. Wo wären
349 Maxima und Minima. Wie würdest du erklären, wo auf dem Schirm Maxima
350 und Minima kommen. Hast du da irgendeine Idee?
- 351 **S3:** Also diese Lichtquellen treffen auf den Schirm.
- 352 **IA:** Die . . genau.
- 353 **S3:** Beide?
- 354 **IA:** Beide.
- 355 **S3:** Und die gehen beide so?

- 356 **IA:** Ja. Das sind beide Lichtquellen. Das Licht breitet sich von diesen zwei Punkt-
357 quellen aus und gibt's da Maxima und Minima auf dem Schirm? Und gibt's da
358 eine Erklärung für dich, warum das so ist? Kannst du das da hinein skizzieren?
- 359 **S3:** Na das Licht. Also wenn sich die Welle jetzt so. Das Licht ist jetzt Teilchen und
360 Welle gleichzeitig, also glaube ich nicht, dass es ein Maxima und Minima auf
361 dem Schirm geben würde, weil sie gehen ja gegen den Schirm und . . .
- 362 **IA:** Ok.
- 363 **S3:** Und es breitet so nicht nur so aus, es breitet sich auch so aus, oder ist das wieder
364 ein?
- 365 **IA:** Nein, dass sind zwei Quellen einfach, diiiiie ...
- 366 **S3:** Ich glaube nicht, dass es ein Minimum beziehungsweise Maximum geben würde.
- 367 **IA:** Ok. Alles gut. Passt alles gut, sehr gut. Sooo. Kommen wir schon auf die nächste
368 Seite bitte. Ich hab jetzt eine andere - bau jetzt eine andere Lernumgebung auf.
369 Wir haben so einen verstellbaren Spalt und verwenden wieder den roten Laser.
370 Der Spalt wird jetzt 2,5 Millimeter breit sein. Was erwartest du auf dem Schirm
371 zu sehen, wenn man den Spalten da, der Laser kommt durch quasi.
- 372 **S3:** Ok. Er passt.
- 373 **IA:** Er passt durch diesen Spalt durch.
- 374 **S3:** Ich erwarte einen Punkt.
- 375 **IA:** Ok. Dann zeichnest du das bitte als Erwartung hin.
- 376 **S3:** Bei 3a?
- 377 **IA:** Genau, bei 3a.
- 378 **S3:** So ungefähr würde ich sagen.
- 379 **IA:** Gut, dann schauen wir, dass ma durchtreffen auch. Na komm schon, so. Ok. Ist
380 das, dass was du erwartet hast?
- 381 **S3:** Ja, so ungefähr.
- 382 **IA:** Gut. Dann zeichne das hin, was du da beobachtest bitte. Gut, jetzt werden wir
383 den Spalt auf 0,3 Millimeter kleiner machen. Was erwartest du, was da passieren
384 wird? Wird das wieder ein Punkt sein, wird sich was ändern? Was ...
- 385 **S3:** Ja, ich glaub schon, dass es ein Punkt ist wird wieder.
- 386 **IA:** Ok.
- 387 **S3:** Aber, dass der in der Mitte, beziehungsweise genau wo der Spalt ist stärker ist,
388 also dass er ...
- 389 **IA:** Uhm.
- 390 **S3:** ... zwar ein Punkt bleibt, aber nicht so wie dieser hier, dass er komplett ausgefüllt
391 ist, sondern, dass er auf der Seite schwächer wird.
- 392 **IA:** Ok. Magst du das zeichnen, was da ...
- 393 **S3:** Ich kann's probieren, ja. (zeichnet 10 s) So ungefähr.
- 394 **IA:** Ok. Gut. Dann schauen wir uns an, was rauskommt.
- 395 **S3:** Ok. Es wird verzogen, ja.

- 396 **IA:** Noch ein bisschen enger, glaub ich. So jetzt sieht man es besser. Ok. Was kannst
397 du da jetzt sehen?
- 398 **S3:** Es ist wieder dieser Punkt, aber er wird auf die Seite hin verzogen, also es ist
399 nicht so wie's ich gezeichnet hab, es ist zwar auf der Seite schon schwächer, aber
400 es breitet sich nach rechts und nach links wieder aus.
- 401 **IA:** Ok. Kennst du den Namen für dieses Phänomen, was da passiert?
- 402 **S3:** (Seufzt) Das ist aber nicht die Superposition, nein, ist es nicht.
- 403 **IA:** Superposition war beim Doppelspalt.
- 404 **S3:** Ja ist Doppelspalt, aber wie's bei dem ist.
- 405 **IA:** Ok.
- 406 **S3:** Also, ich weiß, dass ich's sicher schon mal gehört hab, den Begriff auch dafür.
- 407 **IA:** Also das ist Beugung.
- 408 **S3:** Ja.
- 409 **IA:** Mit Licht.
- 410 **S3:** Ja.
- 411 **IA:** Ok.
- 412 **S3:** Ok. Dann weiß ich's.
- 413 **IA:** Weißt du irgendwie a Regel, warum die Beugung, wann die Beugung ist, warum
414 die Beugung ist, wie die zustande kommt?
- 415 **S3:** Nein, weiß ich leider nicht.
- 416 **IA:** Wie man sich das vorstellt? Ok.
- 417 **S3:** Ich weiß es nur, dass Einzige was wir halt. Ich, ich hab's mir immer so vorgestellt,
418 dass wenn Licht jetzt zum Beispiel nur ein Teilchen wär, dass es eben nicht
419 funktioniert, da wenn man jetzt zum Beispiel, dass, da ich Fußballfan bin und
420 sehr gern Fußball schau, dass es nicht möglich ist, dass ich jetzt zum Beispiel
421 einen Ball durch so ein kleines Loch schießen würde und dass er dann nach dem
422 Loch, also geradlinig auf das Loch zufliegt, und dann auf einmal so um die Kurve
423 fliegt, ohne dass er irgend einen anderen Impuls bekommt, beziehungsweise
424 verändert wird, weil seine Flugbahn ist geradlinig weiter und deshalb.
- 425 **IA:** Uhm.
- 426 **S3:** Das wär das Einzige, was ich mir drunter vorstellen könnte, dass unter Beugung,
427 also, dass das Licht seitlich gebeugt ...
- 428 **IA:** Ok.
- 429 **S3:** ... beziehungsweise ...
- 430 **IA:** Was verstehst du unter: auf die Seite gebeugt?
- 431 **S3:** Ja, es ist, ja, im Mittelpunkt ist es.
- 432 **IA:** Uhm. Weißt du was, du mal da hinzeichnen, was du siehst, damit ma.
- 433 **S3:** (zeichnet 10s)
- 434 **IA:** Also da gibt es wieder so Maxima und Minima, quasi.
- 435 **S3:** Sollte so ungefähr gleich sein da. Ja ungefähr.

- 436 **IA:** Ok.
- 437 **S3:** So und die Frage war jetzt welche nochmal?
- 438 **IA:** Genau, wie du da dir das erklärst. Warum das passiert . . . Womit das zusam-
439 menhängt? Was da Einfluss haben könnte. Ich mein, der Spalt ist enger . . . Was
440 passiert mit dem Licht? . . . Hast du irgend eine Idee?
- 441 **S3:** Na das, was ich irgendwie, weil ich mein.
- 442 **IA:** Magst du das da, quasi da so einen Spalt hinzeichnen, und da den Schirm und
443 was da passieren könnte?
- 444 **S3:** Im Sinne von wie sich das Licht jetzt ausbreitet, oder was.
- 445 **IA:** Genau.
- 446 **S3:** (zeichnet 10 s) Wenn ich da den Schirm hab, dann trifft es halt da diese
447 Lichtquelle, soll ich Lichtquelle dazuschreiben? Das man sich's vorstellen kann.
- 448 **IA:** Ich denke, das ist klar.
- 449 **S3:** Auf jeden Fall kommt halt da dann das Licht, aber der Punkt ist ja größer als
450 der Spalt, das sieht man auch, also der Punkt wird da durchtreffen, dann geht
451 hier das Licht durch und das was ich mir eben jetzt nicht erklären kann, also
452 logisch erklären kann, ist wieso das Licht, denn eigentlich dürfte man den Punkt
453 ja nur hier sehen. Das ist nicht der Fall, also müsste sich das Licht so ...
- 454 **IA:** Uhm.
- 455 **S3:** ... ausbreiten, aber es ist ja auch nicht durchgehend, sondern man sieht ja auch,
456 dass ...
- 457 **IA:** Uhm.
- 458 **S3:** ... manche Spalte sind wo nichts ist.
- 459 **IA:** Genau. Hast du schon irgendwann einmal was von Phasenunterschied oder
460 Gangunterschied einer Welle was gehört?
- 461 **S3:** Nein, also das hätte. Ich glaub, das hab ich noch nie gehört. Es kann sein, dass
462 es schon mal erwähnt wurde, aber ich glaub, gehört hab ich's noch nie.
- 463 **IA:** Genau. Na passt. Ist ja. Alles gut. Soooo. So, wenn ich jetzt den Spalt noch
464 enger machen würde, was erwartest du, was passiert?
- 465 **S3:** Aber er ist trotzdem, also nicht ganz zu. Nur.
- 466 **IA:** Er ist noch nicht ganz zu, sondern ich mach ihn nur enger.
- 467 **S3:** Ich glaub, dass es das Selbe bleibt, nur das es sich weiter nach außen ...
- 468 **IA:** Ok.
- 469 **S3:** ... sich die, wie sagt man, Spannbreite?
- 470 **IA:** Breite vom Maximum.
- 471 **S3:** Breite vom Maximum noch weiter nach außen.
- 472 **IA:** Magst es da hinzeichnen?
- 473 **S3:** (zeichnet 10 s)
- 474 **IA:** Ok. Du meinst, dass diese Maxima und Minima weiter auseinander liegen.
- 475 **S3:** Nein, also dass der Abstand zwar schon immer gleich bleibt ...

- 476 **IA:** Ok.
- 477 **S3:** ... aber dass es jetzt nicht wie bei dem ist, sondern dass es zum Beispiel nur so,
478 keine Ahnung, wie weit.
- 479 **IA:** Also es wird da wahrscheinlich bis ganz nach außen gehen, aber man sieht's
480 halt.
- 481 **S3:** Man sieht's halt nicht.
- 482 **IA:** Es wird also immer schwächer.
- 483 **S3:** Ich glaub, dass es nur kleiner wird, aber noch weiter auseinander.
- 484 **IA:** Ok. Gut. Dann wollen wir uns das mal anschauen.
- 485 **S3:** Oder es passiert genau das Gegenteil, aber.
- 486 **IA:** Ich versuch das Loch zu treffen. So, schauen wir mal, es müsste da sein. Ok.
487 Siehst du, was passiert?
- 488 **S3:** Ok. Ich hab's falsch. Ich hab's mir eh ungefähr so, dass es breiter auseinander
489 gezogen wird und dass es nicht mehr so.
- 490 **IA:** Ok. Hast du da jetzt eine Idee, warum das so sein könnte, was da jetzt passiert?
- 491 **S3:** Na, das was ich irgendwie komisch ...
- 492 **IA:** Der Spalt ist ja jetzt enger.
- 493 **S3:** Der Spalt ist enger. Ja, ja, das versteh ich schon, aber nur das was ich komisch
494 find, ist, dass es von der Breite, also zumindest hätte ich das so gesehen von der
495 Höhe, dass es da eigentlich fast immer gleich bleibt, aber nur dass es sich in die
496 Breite zieht und das ist meiner Meinung nach irgendwie komisch, weil ich ja die
497 Breite eigentlich vom Spalt verringere.
- 498 **IA:** Uhm.
- 499 **S3:** Das heißt, das Licht müsste sich, umso enger es wird, umso breiter müsste es
500 sich verfächern eigentlich, also beziehungsweise ausbreiten.
- 501 **IA:** Ok. Magst du dir das hinzeichnen, wie's aussieht. Ich probier, dass es noch
502 ein bisschen besser zum, so ist es noch besser.
- 503 **S3:** Ja. (Zeichnet) Aber ein Unterschied ist zu dem, also zu dem jetzt ist, dass es
504 da durchgehend ist, weil vorher hat man wirklich noch solche Abgrenzungen
505 gesehen und die sieht man jetzt find ich, fast gar nicht mehr.
- 506 **IA:** Ok. Schauen wir da mal mit der Lupe. Vielleicht sehen wir da was. Das ist
507 schon relativ breit hier, oder? Ok. Gut. Jetzt werden wir einen grünen Laser
508 verwenden, überraschenderweise. Erwartest du, dass sich was ändert? Erwartest
509 du, dass es gleich bleibt? Was wird sich ändern und warum? Oder warum bleibt
510 es gleich?
- 511 **S3:** Ok. Was sich ändert ist die Farbe. Ob man. Ich meine, dass sich etwas ändern
512 wird.
- 513 **IA:** Ok. Hast du eine Idee, warum sich was ändern könnte, was dabei etwas sein
514 könnte?
- 515 **S3:** Vielleicht der Farbspe-, das Farbspektrum, nennt ma das so?
- 516 **IA:** Ja. Spektrum, das heißt es hat eine andere.

- 517 **S3:** Farbe, also, äh, ja, ich weiß nicht wie ich's beschreiben soll, beziehungsweise wie
518 ich's erklären soll.
- 519 **IA:** Ok. Dann zeichne vielleicht deine Erwartung hin, was da jetzt herauskommen
520 könnte.
- 521 **S3:** (zeichnet 10s)
- 522 **IA:** Ich mach's übrigens wieder auf 0,3 Millimeter, also nicht so wie es vorher war,
523 so wie es da war ungefähr.
- 524 **S3:** Ja.
- 525 **IA:** Was erwartest du da zu sehen? Werden die Abstände gleich bleiben, werden sie
526 sich verändern? Wird's genauso ausschauen?
- 527 **S3:** Nein.
- 528 **IA:** Nur in einer anderen Farbe.
- 529 **S3:** Ich glaube nicht, dass es genauso aussehen wird.
- 530 **IA:** Ok. Was? Zeichne einfach, was du jetzt erwartest, was da rauskommt.
- 531 **S3:** Ich weiß es nicht, aber ich könnt mir vorstellen, dass es genau wieder so unter-
532 schiedlich ist, sondern dass es da nach außen eben größer wird. Wieso weiß ich
533 auch nicht.
- 534 **IA:** Ok, dann schauen wir mal. So durchtreffen sollte man auch natürlich wieder.
535 Ok. Das ist jetzt genauso breit, ungefähr wie dieser da.
- 536 **S3:** Ok. Aber der Punkt ist kleiner.
- 537 **IA:** Ja und?
- 538 **S3:** Und es ist breiter verteilt auch wieder, oder.
- 539 **IA:** Uhm.
- 540 **S3:** Also, dass das da nach oben so geht der Strich, dass das ist es von.
- 541 **IA:** Sollte ja, das ist a Reflexion glaub ich.
- 542 **S3:** Ok.
- 543 **IA:** Also wichtig ist für uns nur das in der Mitte, quasi.
- 544 **S3:** Ja, das ist ok. Na, das ist schmaler.
- 545 **IA:** Ok. Zeichnest du das hin im Vergleich zum andern.
- 546 **S3:** (zeichnet 5s)
- 547 **IA:** Also die Abstände sind enger, oder sind sie weiter, soll ich dir, das, den Roten,
548 noch einmal da hinbauen?
- 549 **S3:** Na, müssen sie nicht unbedingt. Ich glaub, dass die Abstände einfach. Ich glaub,
550 dass der Rote höher war, also so von der Höhe her größer war.
- 551 **IA:** Aber die Höhe ist uns jetzt nicht wichtig, es geht uns mehr um die Ausdehnung.
- 552 **S3:** Aber ich glaub, dass der Rote auch breiter verteilt war.
- 553 **IA:** Uhm. Ok. Passt. Gut.
- 554 **S3:** Also ich zeichne das so ungefähr.
- 555 **IA:** Gut. Jetzt würden wir es wieder enger machen quasi. Ich zeig dir, was passiert.

- 556 **S3:** Es wird wieder breiter.
- 557 **IA:** So wie es vorher war. So. Was würde passieren, wenn ich es jetzt noch enger
558 mach als die Wellenlänge vom Licht, aber es geht trotzdem noch Licht durch.
- 559 **S3:** Noch enger?
- 560 **IA:** Noch enger. Was erwartest du da?
- 561 **S3:** Ich nehme an, dass es noch breiter auseinander geht. Wir haben jetzt gesehen,
562 dass es bei 0,5 noch weiter auseinandergegangen ist.
- 563 **IA:** Ok. Ich glaub, jetzt treff ma nicht g'scheit durch. So ist es besser. Genau, ich
564 hab es jetzt enger gemacht.
- 565 **S3:** Wenn man es noch enger macht, dann ist halt, aber die Abstände gehen dann
566 wieder weg.
- 567 **IA:** Ok.
- 568 **S3:** Denn man hat ja davor, hat man gesehen, dass.
- 569 **IA:** Was verstehst du unter Abstände?
- 570 **S3:** Diese ...
- 571 **IA:** Die Minima quasi.
- 572 **S3:** Ja. Das halt, wo man keine, wo man halt kein Licht sieht.
- 573 **IA:** Also, es wird. Du meinst, trotzdem die Wellenlänge kleiner ist, also der Spalt
574 schmaler ist als die Wellenlänge des Lichtes, kommt trotzdem was durch.
- 575 **S3:** Ja.
- 576 **IA:** Ok. Und es wird den ganzen Schirm ausfüllen. Hab ich das richtig verstanden?
- 577 **S3:** Ich denk schon. Ja. Sie haben es ja vorher gesehen, als wir es nicht so klein
578 hatten, aber ein bisschen breiter, hat man auch diese wie heißt es, diese Abstände
579 wo man.
- 580 **IA:** Die Minima und die Maxima.
- 581 **S3:** Die Minima, ah, wo kein Licht war, hat man noch gesehen und danach noch was.
582 Das sieht man jetzt nicht mehr, man sieht nur mehr den Punkt in der Mitte ...
- 583 **IA:** Das Hauptmaximum.
- 584 **S3:** ... ganz lang gezogen halt.
- 585 **IA:** Ok.
- 586 **S3:** Also extrem in die Länge gezogen.
- 587 **IA:** Ok. Passt super. Soo. Jetzt kommen wir zum Letzten. Und zwar haben wir
588 da jetzt ein optisches Gitter. Sagt dir ein optisches Gitter was? Hast du davon
589 schon einmal was gehört? Das würd so ausschauen.
- 590 **S3:** (Blickt durch) Schaut aus wie eine Seifenblase.
- 591 **IA:** Ok.
- 592 **S3:** Also die F.... (Pause 4 s) Man sieht zwar, was dahinter ist, aber erstens ver-
593 schwommen und in den Farben von Regenbogen.
- 594 **IA:** Aber prinzipiell hast du noch nie etwas von einem optischen Gitter gehört?

- 595 **S3:** Nein. Hab's noch nie gehört.
- 596 **IA:** Ok. Das heißt was, blätter mal um und ich werd jetzt den roten Laser wieder
597 einschalten und was würdest du erwarten, da sind jetzt 80 Linien pro Millimeter
598 quasi in diesem, in dieser Folie drinnen.
- 599 **S3:** Ja.
- 600 **IA:** Hat das mit irgendeinem Effekt von vorher zu tun? Glaubst du, was würde da
601 passieren, was erwartest du, was da rauskommt?
- 602 **S3:** Ich glaub, dass das Laser dann viereckig, also dass er sich verteilt.
- 603 **IA:** Ok. Wie?
- 604 **S3:** Na, dass er dann ein großer Kreis, aber nicht mehr so ...
- 605 **IA:** Ok. Magst dass hinzeichnen, so eine Art Skizze quasi.
- 606 **S3:** (zeichnet 8 s)
- 607 **IA:** Ok.
- 608 **S3:** Ich könnt's mir ungefähr so vorstellen ...
- 609 **IA:** Ja. Sehr gut.
- 610 **S3:** ... ob's dann genauso wird, weiß ich nicht.
- 611 **IA:** Dann schau ma uns an, ob das auch wirklich passiert. (Hantiert mit Geräten)
612 Ok. Dann schau ma, was da rauskommt.
- 613 **S3:** Oha.
- 614 **IA:** (Murmelt) Ok. Da ist die Mitte. Was beobachtest du, was erkennst du? Das ist
615 anders als in deiner Erwartung. Warum glaubst du?
- 616 **S3:** Es ist anders als in meiner Erwartung, ja. Ok. Ja, jetzt wo ich drüber nachdenk,
617 ist's logisch, dass kein großer Punkt erscheinen würd, weil der Punkt ja nur auf
618 einen kommt und nicht irgendwie eine Linse, die 's größer macht oder so. Das ist
619 jetzt im Nachhinein, also ich glaub zumindest, dass das als logisch erklärbar ist,
620 durch das was ich eben hab. Nur das was mich wundert ist, dass es sich trotzdem
621 wieder nach rechts verbreitert, zwar nicht wie davor, dass es eben schmaler wird.
- 622 **IA:** Uhm.
- 623 **S3:** Sondern, dass es immer gleichbleibende Punkte wird ...
- 624 **IA:** Uhm.
- 625 **S3:** ... die alle dieselbe Stärke haben.
- 626 **IA:** Uhm. Ok.
- 627 **S3:** Das ist es.
- 628 **IA:** Zeichnest es mal ab, damit ma, was du da beobachtest.
- 629 **S3:** Ja.
- 630 **IA:** Damit wir das auch festgehalten haben.
- 631 **S3:** (zeichnet 15 s) Jetzt hätt ich nur ne kurze Frage.
- 632 **IA:** Ja.
- 633 **S3:** Und zwar, da hier die Mappe da jetzt steht und ma sieht dahinter noch den

- 634 Punkt. Wenn man das weiter wegschieben würde und den Laser aber trotzdem
635 gleich drauf hält, kommen da noch mehr Punkte oder nicht? Oder werden die
636 dann kleiner zusammengeschoben?
- 637 **IA:** (verschiebt Mappe)
- 638 **S3:** Ok. Passt gut. Dann passiert eh, was ich mir gemerkt hab.
- 639 **IA:** Ok. Passt. Gut.
- 640 **S3:** Das heißt, umso näher es hinkommt, umso mehr Punkte sind's und umso weiter,
641 umso breiter ist der Abstand vom.
- 642 **IA:** Genau.
- 643 **S3:** Minimum heißt das, wo kein Licht ist.
- 644 **IA:** Genau. Minima und Maxima.
- 645 **S3:** Ok.
- 646 **IA:** Ok. Aber du kannst noch, du hast noch immer keine Idee, was dieser Effekt ist,
647 warum der so ist? Was?
- 648 **S3:** Wieso er so heißt. Keine Ahnung. Beziehungsweise, wieso es genau passiert,
649 weiß ich auch nicht. Ich könnte mir nur das einzige, daher sie mir vorher gesagt
650 haben, dass da 80 ...
- 651 **IA:** Uhm, Linien.
- 652 **S3:** ... Linien drinnen sind ...
- 653 **IA:** Also eigentlich 80 Spalte.
- 654 **S3:** ... oder Spalte, dass das Licht einfach gebrochen wird und immer im gleichen
655 Abstand dann wieder diesen Punkt hin, also dort wieder Licht hinkommt.
- 656 **IA:** Ok. Aber es sind ja keine 80 Punkt da auf der.
- 657 **S3:** Nein, das stimmt. Es sind 2, 4, 6, 8, 10.
- 658 **IA:** Das sind auch noch drei.
- 659 **S3:** Drei.
- 660 **IA:** Fünf sogar seh ich.
- 661 **S3:** Da seh ich nur Einen.
- 662 **IA:** Na wart.
- 663 **S3:** Ok. Zwei, drei da seh ich.
- 664 **IA:** Also auf jeden Fall keine 80.
- 665 **S3:** Nein, keine 80.
- 666 **IA:** Ok. Na passt. Gut. Überraschenderweise haben wir jetzt ein Gitter mit 300
667 Linien.
- 668 **S3:** Ok.
- 669 **IA:** Was erwartest du, wird passieren, wenn ich die jetzt da hineingeb?
- 670 **S3:** Ich glaub, der Abstand zwischen Minima und Maxima wird kleiner.
- 671 **IA:** Ok.

- 672 **S3:** So, es werden mehr Punkte.
- 673 **IA:** Gut.
- 674 **S3:** Oder es passiert genau das Gegenteil.
- 675 **IA:** Dann zeichne hin, was du erwartest.
- 676 **S3:** (zeichnet 14 s)
- 677 **IA:** Ok. Dann schauen wir's uns an.
- 678 **S3:** Ok. Es passiert genau das Gegenteil, der Abstand wird größer. Gut.
- 679 **IA:** Dann zeichnest du das da noch hin. Hast du eine Idee, warum das so sein könnte?
- 680 Was da jetzt wieder der Effekt ist?
- 681 **S3:** Na ja, es ist also daher, das ja alles mit dem Selben irgendwie zu tun hat, könnte
- 682 ich es mir einfach so erklären, wieso dass, wenn man vorher den Spalt hat und
- 683 umso kleiner man den Spalt macht, umso breiter wird's gezogen und daher nehm
- 684 ich an, umso mehr Linien, also wenn man es mit 500 machen würde, glaube ich,
- 685 wäre es noch breiter auseinander.
- 686 **IA:** Uhm. Ok.
- 687 **S3:** So könnt ich's mir erklären.
- 688 **IA:** Sehr gut. Gut wird sich auf dem Schirm was ändern, wenn ich jetzt den grünen
- 689 Laser verwend'n?
- 690 **S3:** Ja, der grüne Laser war vorher wieder mit den 80.
- 691 **IA:** Genau, ich nehm wieder die 80, da sieht man's besser, genau.
- 692 **S3:** Ich glaub, dass die noch breiter sind als vorher.
- 693 **IA:** Bei den 80 breiter als beim roten Laser?
- 694 **S3:** Ja.
- 695 **IA:** Ok. Schauen wir mal, was passiert. (Hantiert mit Geräten) Ok. Was erwartest
- 696 du. Zeichne deine Erwartung einfach hin, also du glaubst das sie ...
- 697 **S3:** Breiter auseinander.
- 698 **IA:** ... breiter auseinander sind.
- 699 **S3:** (zeichnet 10s)
- 700 **IA:** Dann schauen wir mal, was passiert.
- 701 **S3:** Ok. Also, es sind noch diese Striche dazwischen.
- 702 **IA:** Uhm.
- 703 **S3:** Also, es gibt jetzt kein, weil beim Roten hat man genau den Unterschied gesehen
- 704 zwischen, also man sieht jetzt auch noch den Unterschied zwischen Minimum
- 705 und Maximum ...
- 706 **IA:** Uhm.
- 707 **S3:** ... aber der Unterschied dazu ist, dass im Minimum jetzt auch Licht ist, weil
- 708 das war da vorher nicht.
- 709 **IA:** Uhm. Gut, dann zeichnest du, was du da beobachtest, hin. Hast du eine Idee,
- 710 warum das so sein könnte?

- 711 **S3:** (zeichnet 5 s) Na, das ist eine andere Farbe.
- 712 **IA:** Ja. Was heißt andere Farbe?
- 713 **S3:** (denkt 3 s nach) Das hat sicher irgendwas mit dem Farbspektrum zu tun oder?
- 714 **IA:** Ok. Ja.
- 715 **S3:** Aber wie es genau funkt ...
- 716 **IA:** Ok.
- 717 **S3:** ... das funktioniert, weiß ich leider auch nicht. Beziehungsweise könnt ich mir
718 nicht erklären.
- 719 **IA:** (blättert um) Gut. So, jetzt brauch ich a kleine Vorbereitung.
- 720 **S3:** Was würd passieren, wenn man Schwarzlicht durchschickt.
- 721 **IA:** UV-Licht?
- 722 **S3:** Sieht man da überhaupt was oder gar nichts?
- 723 **IA:** Na, ja. UV-Licht sieht man ja an sich nicht, da müsste man ja.
- 724 **S3:** Ok. Also mit.
- 725 **IA:** Würde man was sehen, ja. Wir wollen jetzt genau das Gegenteil machen. Wir
726 wollen jetzt ein weißes Licht verwenden. Was erwartest du da, was rauskommt.
727 Wieder mit den 80 Linien. (Hantiert mit Geräten) Ich muss nur da ein bisschen
728 was hineintun, eine Blende nämlich.
- 729 **S3:** Also das weiße Licht wieder mit einem Punkt von weißem Licht?
- 730 **IA:** Genau. Ich zeig's dir gleich. Ich mach da jetzt so eine Blende hinein, damit wir
731 auch wirklich was sehen vom weißen, damit's eher so. Gut und jetzt siehst du
732 auch gleich warum ich eine Linse brauche, damit wir das fokussieren können.
- 733 **S3:** Uhm.
- 734 **IA:** So. (murmelt) So, ich versuch das zu fokussieren. So, jetzt haben wir diesen
735 Spalt abgebildet und jetzt würd ich das Gitter davor spannen. Was erwartest
736 du, was dann passiert? Wieder das mit den 80 Linien, das da.
- 737 **S3:** Uhm. (denkt 10 s nach) Dass es auch so verteilt ist, nur dass es mit diesen
738 Spalten verteilt ist. Könnt ich mir vorstellen.
- 739 **IA:** Ok. Magst es hinzeichnen?
- 740 **S3:** (zeichnet 10 s)
- 741 **IA:** Gut, dann wollen wir es ausprobieren.
- 742 **S3:** Ich wusste es! Ok. Aber die Farbe ändert sich ja. Ich hab's mir schon ungefähr
743 vorstellen können, dass sich die Farbe ändert, ja.
- 744 **IA:** Ok. Dann zeichne deine Beobachtung hin vielleicht.
- 745 **S3:** Soll ich's mit Buntstiften?
- 746 **IA:** Ja, dafür sind's da.
- 747 **S3:** (lacht) Und ich nehme an, das sind die Farben vom Regenbogen oder?
- 748 **IA:** So ich bin jetzt a bisserl näher, damit es besser.
- 749 **S3:** Ok. Also in der Mitte ist es . . . ziemlich, was ist das für eine Farbe in der Mitte?

- 750 Weiß? Rot?
- 751 **IA:**Also es sollte weiß sein, weil ...
- 752 **S3:**Ok.
- 753 **IA:**... es ist nur, weil die Lichtquelle nicht eine hundertprozentige Weißlichtquelle
754 ist, ist es nicht ganz weiß.
- 755 **S3:**Uhm. Dann ist blau, grün und . . rot und auch lila ist da. (zeichnet 5 s) Bisschen
756 gelb ist auch noch drinnen, wenn ich mich nicht ganz irre, beziehungsweise die
757 Farben grad vertausch?
- 758 **IA:**Hast du eine Idee, warum das passiert?
- 759 **S3:**Wieso es genau passiert, weiß ich nicht. Ich könnt's mir einfach nur erklären,
760 dass es so ist wie beim Regenbogen, dass durch die Wassertropfen das Licht so,
761 also beim Regenbogen wenn ich das richtig im Kopf hab, dass durch die, äh,
762 Wassertropfen in der Luft das Licht so gebrochen wird, dass es dann genau so
763 erscheint. (Schulglocke läutet)
- 764 **IA:**Und was, womit hat das zu tun?
- 765 **S3:**Na mit der Licht, mit der Brechung oder?
- 766 **IA:**Und was wird gebrochen?
- 767 **S3:**Licht.
- 768 **IA:**Also was ist da der Unterschied. Ok. Da geht ja weißes Licht rein und dann
769 kommen andere Farben raus. Was ist da (andere Schulglocke läutet) der Effekt?
770 Weißt du da was?
- 771 **S3:**Nein, tut mir leid. Weiß ich leider nicht. Soll ich's die ganze Länge so aufzeichnen.
- 772 **IA:**Nein. Mir ist schon klar, dass du das richtig siehst. Passt schon.
- 773 **S3:**Ok.
- 774 **IA:**Gut. das war's dann auch schon.

6.3.4 Interview 4

Interview mit Schüler 4 (7. Klasse Oberstufe) am 19.4.2018 am Bundes-Oberstufenrealgymnasium, Hegelgasse 12. Der Schüler schätzt sich selbst mit Note 1 in Physik ein.

- 1 **IA:** Autofahrern wird empfohlen, dass sie Polarisationsbrillen verwenden.
2 **S4:** Ok.
3 **IA:** Anstatt normalen Sonnenbrillen. Hast du eine Idee warum?
4 **S4:** Beim Autofahren jetzt.
5 **IA:** Genau. Beziehungsweise was überhaupt Polarisation ist?
6 **S4:** Ja. Es schützt die Auge wegen verschieden Wellen zum Beispiel verschiedene
7 schädliche Wellen glaub ich zum Beispiel UV-Wellen oder.
8 **IA:** Ok. Dafür ist die Sonnenbrille da, aber warum gerade eine Polarisationsbrille?
9 **S4:** Ähm. Damit dem Licht ein bisschen anders verhalten.
10 **IA:** Ok.
11 **S4:** Ähm nämlich das weiß ich nicht genau wieso polarie... Das polarisierte Licht
12 eigentlich, aber wozu das führt das weiß ich leider überhaupt nicht.
13 **IA:** Ok. Was ist Polarisation überhaupt?
14 **S4:** Polarisation bedeutet, dass die Licht in eine bestimmte Richtung eingestuft wird.
15 So.
16 **IA:** Ok.
17 **S4:** Ja die Wellenlängen verändern sich. Vielleicht nicht die Längen sondern die
18 Richtung die Wellen verändern sich damit
19 **IA:** Ok.
20 **S4:** und äh so schützt glaube ich die Augen besser, oder vor eine andere.
21 **IA:** Ok. Jetzt haben wir da zwei Folien und eine Polarisationsfolie
22 **S4:** Ja.
23 **IA:** Was ist die - könntest du herausfinden ob beide Polarisationsfolien auch sind,
24 ob nur eine eine Polarisationsfolie ist?
25 **S4:** Das ist nur eine Polarisationsfolie.
26 **IA:** Weil?
27 **S4:** Weil wenn ich es auf den 90 Grad stelle, dann das wird nicht durchsichtig.
28 **IA:** Ja.
29 **S4:** Und das bedeutet, dass äh ich weiß nicht ob das Licht irgendwie mit 90 Prozent,
30 90 Grad ähm wie heißt das?
31 **IA:** gedreht.
32 **S4:** Gedreht hat oder nicht aber damit kann ich es wissen, dass es beide polarisiert
33 sind, weil Licht geht nicht durch.
34 **IA:** Ok. Und die Andere hast du schon vorher gedreht und hast?

- 35 **S4:** Ja da ist.
- 36 **IA:** Ok.
- 37 **S4:** Aber wenn du eine dritte hast
- 38 **IA:** Uhm
- 39 **S4:** Das auch ich in 45 Grad da ist
- 40 **IA:** Uhm
- 41 **S4:** Dann wird es ein bisschen durchsichtig.
- 42 **IA:** Ok.
- 43 **S4:** Hast du eine Dritte vielleicht.
- 44 **IA:** Nein ich hab keine Dritte leider.
- 45 **S4:** Weil das ist interessant. Dass hab ich noch
- 46 **IA:** Uhm.
- 47 **S4:** Ja.
- 48 **IA:** Also du kannst dich erinnern an das Experiment auf jeden Fall. Ah. Wenn du
49 jetzt so durch diese Polarisationsfolie durchschaust also das ist die fixe. Kannst
50 du trotzdem durchsehen?
- 51 **S4:** Ja. Das ist durchsichtig.
- 52 **IA:** Egal wie'st es drehst?
- 53 **S4:** Ja.
- 54 **IA:** Ok. Wa - Haben wir eh schon geklärt. Weißt du genau. Passt.
- 55 **S4:** Und zum Beispiel bei einem anderen Auto
- 56 **IA:** Uhm.
- 57 **S4:** Diese Mafia-Autos (lacht) diese Polaroid-Layer haben. Damit man nicht in das
58 Auto sehen kann, doch ich glaube mit einer Polaroid-Brille kann man reinsehen,
59 weil wenn die, wenn das so darf ich dir das so.
- 60 **IA:** Ja, ja. Ich verstehe. Genau.
- 61 **S4:** Ja das ist interessant.
- 62 **IA:** Ok. Sehr gut. Dann haben wir das schon abgeschlossen.
- 63 **S4:** Jo.
- 64 **IA:** Und jetzt kommen wir zum nächsten Experiment. Ich hab da diese Lernumge-
65 bung.
- 66 **S4:** Uhm
- 67 **IA:** Und zwar hab ich da einen roten Laser. Ich würd da jetzt einen Doppelspalt
68 hineingeben - den engsten Spalt - wenn du da einmal schauen möchtest.
- 69 **S4:** Uhm.
- 70 **IA:** (hantiert) Was erwartest du was da passiert wenn ich den da in diesen Laser
71 hinein. Diesen Laser-Weg hineingebe?
- 72 **S4:** Diese Löcher? Was passieren mit den

- 73 **IA:** Die zwei Spalten. Den Doppelspalt. Genau. Den eine Doppelspalt, der wird
74 bestrahlt.
- 75 **S4:** Es wird den Laser vielleicht, den Laserlinie verteilen ...
- 76 **IA:** Uhm.
- 77 **S4:** ... verteilt wahrscheinlich.
- 78 **IA:** Also schauen wir mal. Jetzt einmal durch ohne das da was im Weg ist. Ok. Gut.
- 79 **S4:** Und vielleicht je schmaler diese Löcher sind. Na schauen wir einfach.
- 80 **IA:** Ok. Jetzt geben wir mal diesen hinein. Das ist der mit 0,15 glaub ich. So schauen
81 wir mal was da passiert? (dreht auf) Aso. Ich wollte zuerst deine Erwartung
82 haben. Na jetzt hm mas. Also du hast.
- 83 **S4:** Ja ich vorher gesagt, ich dachte das der Laser wird die.
- 84 **IA:** Magst du mal zeichnen was du mal gedacht hast.
- 85 **S4:** Ok.
- 86 **IA:** Sorry das war jetzt.
- 87 **S4:** Soll ich die 05
- 88 **IA:** Ja das ist egal.
- 89 **S4:** (zeichnet) Ja ich dachte mir das wird ein bisschen so statt ein Punkt
- 90 **IA:** Uhm.
- 91 **S4:** Da kommen irgendwie zwei Punktchen oder zwei Linien.
- 92 **IA:** Uhm. Ok.
- 93 **S4:** Wie es eingefangen wie es aussieht.
- 94 **IA:** Gut.
- 95 **S4:** So verteilen.
- 96 **IA:** Gut. Dann schauen wir mal was wirklich rauskommt.
- 97 **S4:** Ja. Mehr als zwei.
- 98 **IA:** So. Ok. So. Ok. Was siehst du da? Magst du das beschreiben mal?
- 99 **S4:** Ich sehe eine Linie der in der Mitte mehr ähm dicker ist als . . als das Ende.
- 100 **IA:** Uhm.
- 101 **S4:** So ich sehe mehr als zwei Punktchen da.
- 102 **IA:** Uhm.
- 103 **S4:** Da ist ...
- 104 **IA:** Magst du das mal skizzieren was du da siehst?
- 105 **S4:** Ja hier ...
- 106 **IA:** Da auf dieser
- 107 **S4:** ... auf dieser Beobachtung. (zeichnet) So ist es hier größer und hier kleiner.
- 108 **IA:** Uhm. Ok. Sehr gut. Ah. Hast du eine Idee wie ma diese hellen und dunklen
109 Bereiche bezeichnet und was das überhaupt für ein Effekt ist den wir da sehen?

- 110 **S4:** ähm. Meinst du die hellen und dunkleren das ist dunkler wo man eine.
111 **IA:** Das ist heller würde ich sagen, das ist heller in dem Fall. (lacht)
112 **S4:** Ich weiß nicht.
113 **IA:** Na nicht nachschauen.
114 **S4:** Nicht nachschauen das wie heißt das ähm
115 **IA:** Interferenz
116 **S4:** Interferenz ja genau. Ich glaube wegen dem Licht das ist Interferenz.
117 **IA:** Also der Schüler hat auf dem Handy ein Desktop-Bild mit einem Interferenzwellenmuster.
118
119 **S4:** Ja. (lächelt)
120 **IA:** Hat er mir jetzt gezeigt. Sehr gut.
121 **S4:** Und
122 **IA:** Ok. Ich möchte dir jetzt nur noch was genauer zeigen. Das ist eine Zerstreuungslinse. Es geht uns jetzt wirklich nur um diesen inneren Teil um diese drei
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
- Mittleren, das ist der Effekt den wir jetzt beobachten, das ist Interferenz. Ok.
Das nach außen, da ist ein anderer Effekt überlagert.
S4: Aha.
IA: Ok.
S4: Ok.
IA: Gut. Kannst du dir erklären wie dieses Interferenzmuster zustande kommt. Also wir sagen zu den hellen Bereichen Interferenzmaxima und zu den dunklen Bereichen Interferenzminima.
S4: Ok. Gut.
IA: Hast du eine Idee wie so ein Minimum oder ein Maximum zustande kommt?
S4: Bei dem Maximum kommt eine . . . größeren Wellenlänge zusammen so die Wellenlängen kommen zusammen weil, weil diese Filter hat zwei Löcher.
IA: Ja.
S4: Und die . Wellen. Jetzt haben wir nicht nur eine Quelle sondern zwei Lichtquellen, weil die haben das ähm, gesteuert, so verteilt.
IA: Uhm.
S4: Und ich glaube dann bei die Maxima . trifft einfach mehr Wellen ein, so deswegen hat es einen mehreres Längen mehrere Energie sozusagen.
IA: Ok. Mehr Energie?
S4: Und bei den Minima ist es einfach weniger Energie.
IA: Ok. Du hast richtig gesagt, dass es zwei Quellen sind und die interferieren. Das ist das was du mir auf dem Bild gezeigt hast.
S4: Ja.
IA: Gut. Kannst du irgendwie so eine Regel . Hast du eine Idee warum das so ist? Vielleicht eine kleine Skizze warum man da am Schirm jetzt wenn man die diese zwei Spalten hat.

- 150 **S4:** Da. Mit den zwei, zwei Quellen.
- 151 **IA:** Genau.
- 152 **S4:** (zeichnet) dann haben wir hier eine Quelle.
- 153 **IA:** Genau.
- 154 **S4:** Es wir hier plötzlich zweimal.
- 155 **IA:** Uhm.
- 156 **S4:** Und ähm das wird ein. Hier ist Maxima glaub ich.
- 157 **IA:** Uhm.
- 158 **S4:** Weil da eins gibts und zwei Wellen kommen zusammen. Und bei einem Minima
159 wahrscheinlich nur die und keine andere.
- 160 **IA:** Uhm. Ok. Sehr gut. Und was ist da? Gibts da so eine Regel? Fallt dir da eine
161 Regel auch ein was da da?
- 162 **S4:** Eine Regel? Es gibt sicher eine.
- 163 **IA:** Was da der Unterschied ist. Ok.
- 164 **S4:** Leider das habe ich noch nicht gelernt. Noch gar nicht in dieses Jahr.
- 165 **IA:** Gut.
- 166 **S4:** Das ist schwer.
- 167 **IA:** Dann würde ich jetzt statt eine roten Laser einen grünen Laser verwenden. Was
168 glaubst du wird passieren? Bleibt das Bild gleich? Bleibt das anders, wird das
169 anders? Und in beiden Fällen warum bleibt es gleich, beziehungsweise warum
170 wird es anders?
- 171 **S4:** Zu rot und ich glaub grüner Licht hat eine anderer Hertz, eine andere Frequenz.
- 172 **IA:** Uhm.
- 173 **S4:** So ich glaube es wird anders. Deswegen weil rote hat mehrere Energie
- 174 **IA:** Uhm.
- 175 **S4:** Und die grüne hat li weniger.
- 176 **IA:** Ok. Was verstehst und mehr oder weniger Enrgie?
- 177 **S4:** Ja die schneller geht (lacht verlegen)
- 178 **IA:** Ok.
- 179 **S4:** Die Frequenz ist länger.
- 180 **IA:** Die Frequenz ist höher.
- 181 **S4:** Frequenz ist höher wenn da in dem Roten.
- 182 **IA:** Dann zeichne mir vielleicht da drunter wie's du erwartest, dass das jetzt anders
183 ausschaut.
- 184 **S4:** (zeichnet 10s) Ja na das aber nur kleiner vielleicht.
- 185 **IA:** Uhm.
- 186 **S4:** Ich zeichne das vielleicht.
- 187 **IA:** Also weniger intensiv.

- 188 **S4:** Ja weniger intensiv.
- 189 **IA:** Aber gleicher Abstand meinst du.
- 190 **S4:** Nein, dass ist auch anders glaub ich, weil . . . so die, die wie heißt das die Länge
191 zwischen den Wand und die Laser ist ander als dieselbe.
- 192 **IA:** Ok. Genau
- 193 **S4:** Den Roten und den Grünen.
- 194 **IA:** Genau. Die Spaltenbreite ist auch genau gleich, also der Spaltabstand.
- 195 **S4:** Ja.
- 196 **IA:** Also der Spaltabstand ist auch genau gleich.
- 197 **S4:** Aber die, die Frequenz ist nicht dasselbe.
- 198 **IA:** Genau.
- 199 **S4:** So ich glaube es wird ein bisschen anders sein, aber ich weiß nicht wie
- 200 **IA:** Enger, Weiter?
- 201 **S4:** (denkt 4 s nach). Ähm, Hm. Enger.
- 202 **IA:** Ok.
- 203 **S4:** Oder weiter (lacht verlegen) na ich weiß nicht. Ich bin gespannt.
- 204 **IA:** Gut. Ah. Nachdem man das nicht so gut sieht mit dem Laser mit dem Grünen,
205 werden wir das jetzt nicht zeigen.
- 206 **S4:** Ok. (lacht)
- 207 **IA:** Sondern ich würde jetzt sagen wir probieren jetzt noch etwas anderes. Und zwar
208 nehmen wir jetzt den wo ein Millimeter Abstand zwischen den Spalten ist
- 209 **S4:** Uhm. Also den Breitesten.
- 210 **IA:** Genau. Wir bleiben beim roten Laser. Was erwartest du da jetzt was passiert.
211 Wird's gleich bleiben? wird sich's ändern? Was wird sich ändern? Was, oder
212 warum bleibt's gleich?
- 213 **S4:** Es bleibt nicht gleich glaub ich. Doch es bleiben zwei Quellen, aber die sind
214 jetzt ein bisschen ...
- 215 **IA:** weiter auseinander
- 216 **S4:** ... weiter auseinander ...
- 217 **IA:** genau.
- 218 **S4:** Ich glaube bei den Pünktchen wird anders auseinander sein. Ah, ich glaub die
219 werden auch (unverständlich)
- 220 **IA:** Uhm. Magst du da ein Skizze dazu machen?
- 221 **S4:** Ja. (Zeichnet 15 s)
- 222 **IA:** Uhm. Ok. Das ist mir schon klar.
- 223 **S4:** (lacht, unverständlich)
- 224 **IA:** So. Na dann wollen wir es uns einmal anschauen (hantiert 5 s). Ok. (murmelt
225 unverständlich) Ok. Was kannst du da jetzt beobachten?

- 226 **S4:** Ähm das ist, es gibt . . bei den Maxima eine große Fläche jetzt, nicht mehr diese
227 drei Kleine mit den Abstand, sondern ein Große.
- 228 **IA:** Zeichne es da bei der Beobachtung bitte.
- 229 **S4:** (zeichnet 10 s)
- 230 **IA:** Wollen wir nochmal mit der Lupe draufschaun. Ok. Kannst du da was erkennen,
231 was da anders ist?
- 232 **S4:** Jetzt?
- 233 **IA:** Ja. Das ist die Mitte.
- 234 **S4:** Striche. Dunkle
- 235 **IA:** Viele Striche, oder?
- 236 **S4:** Ja viele Striche. Mehr als früher.
- 237 **IA:** Ok.
- 238 **S4:** Richtig.
- 239 **IA:** Gut. Kannst du es erklären warum das jetzt so ist?
- 240 **S4:** (Räuspert sich) Ich denke es sind weniger - na das ist schon rot. Oha. . . . Hm.
241 So. Die Quellen sind ah sind wie ist es .
- 242 **IA:** weiter auseinander
- 243 **S4:** Ja weiter auseinander, deswegen ist diese Interferenz ich glaube mehr kompliziert.
244 So. Bis dem Licht da erreicht, die Wand erreicht, ahm, werden nicht nur diese
245 zwei
- 246 **IA:** Uhm
- 247 **S4:** Wellen, sondern ich glaub mehr Wellen.
- 248 **IA:** Uhm
- 249 **S4:** Na, ja. Ich weiß es nicht genau. Was ist das richtige Antwort?
- 250 **IA:** Das sag ich dir nicht.
- 251 **S4:** (lacht)
- 252 **IA:** Das ist mir nicht wichtig, ob's richtig ist, mir ist nur wichtig was deine Idee
253 dazu ist.
- 254 **S4:** Ok.
- 255 **IA:** Deine Vorstellung ist. Gut. So, dann kommen wir, blätterst du um?
- 256 **S4:** Uhm
- 257 **IA:** So wir wollen da kurz über Wasserwellen reden, also über Wellenquellen überhaupt
258 reden, weil das mit den Wellenlängen einfacher ist.
- 259 **S4:** Uhm.
- 260 **IA:** Wir haben da zwei kohärente Wellenquellen. Weißt du was kohärent ist und
261 und was das bewirkt und warum, ob das wichtig ist?
- 262 **S4:** Kohärent bedeutet, dass die . . . genaue Eigenschaften haben.
- 263 **IA:** Uhm.

- 264 **S4:** Das die zusammenspielen und dasselbe, so die Wellen haben dasselbe Frequenz.
- 265 **IA:** Ok. Gut. Dann schauen wir mal bei Punkt B. Glaubst du wird da ein Maximum
266 oder ein Minimum sein? Weil die zwei Wellen die sind um zwei - zweimal die
267 Wellenlänge auseinander.
- 268 **S4:** Uhm. Ja ich glaube da wird Maximum sein.
- 269 **IA:** Ok.
- 270 **S4:** Weil früher die Sache haben wir so gesehen.
- 271 **IA:** Uhm.
- 272 **S4:** Das Maximum muss in der Mitte und im Rand auf der Seite.
- 273 **IA:** Gut. Und jetzt ist dieser Punkt A 10 Lambda entfernt von diesen beiden Quellen.
- 274 **S4:** Uhm.
- 275 **IA:** Was erwartest du. Ist da ein Maximum oder ein Minimum?
- 276 **S4:** (denkt 7 s nach) So die Wellen sind in diese Richtungen und mit demselben
277 Frequenz
- 278 **IA:** Uhm.
- 279 **S4:** So wie vorher. So die Maximum wird auch bei A sein hier.
- 280 **IA:** Ok.
- 281 **S4:** Weil es kommen die Wellen und die Wellen die beide von x_1 und x_2 hier sein,
282 so dass die Maximum . und es gibt kein Minimum wahrscheinlich, denn da
283 haben wir nur die eine Quelle eigentlich, weil die sind polarisiert (fragend) so in
284 derselben Richtung in derselben Linie stehen die.
- 285 **IA:** Ok.
- 286 **S4:** Und ich weiß nicht ob die Frequenzen . die Frequenzen sind dieselbe.
- 287 **IA:** Die Frequenzen sind gleich. Die Wellenlänge ist das Gleiche. So du hast das
288 gleiche Licht.
- 289 **S4:** Das ist eine Blödsinn, das sind 10 und das auch 10 aber die werden nicht
290 zusammengezählt. Das ist 20. So die ist, das ein Maximum bleiben glaub ich.
- 291 **IA:** So jetzt haben wir diese zwei Quellen und sind jetzt drei Halbe Lambda also drei
292 Halbe mal die Wellenlänge auseinander entfernt. Ist im Punkt B ein Maximum
293 ein Minimum? Und warum?
- 294 **S4:** Maximum ist in dem A in der Mitte. (unverständlich da Aufnahmegerät umge-
295 stoßen wurde) So. Maximum ist in der Mitte wahrscheinlich
- 296 **IA:** Ok.
- 297 **S4:** Ähm. Und die sind näher zueinander jetzt. Nein nicht näher.
- 298 **IA:** Ja. 1,5 mal. Ja, also stimmt.
- 299 **S4:** Also . so . . Ja weiter. So . die Maximum wird ein bisschen verschmolz so mindest
300 werden sie haben.
- 301 **IA:** Gut.
- 302 **S4:** So da gibt's Maximum, Minimum, Minimum und da gibt's eine große Maximum
303 um die.

- 304 **IA:** Und im Punkt A. Aso, ich hab vorher vergessen, tschuldigung, bei der oberen,
305 wo die zwei, bei 11 Lambda ist da ein Maximum oder ein Minimum glaubst du?
- 306 **S4:** Wie 11, wie meinst du?
- 307 **IA:** Da sind 10 Lambda, jetzt sind 11 Lambda Abstand. 11 Mal die Wellenlänge.
- 308 **S4:** Uhm.
- 309 **IA:** Erwartest du, dass da auch ein Maximum oder ein Minimum ist?
- 310 **S4:** (denkt nach 7 s) Äham. Ja. Weil die Quelle gibt immer eine Frequenz aus was
311 rausgeht einfach so mit Lichtgeschwindigkeit geht das . weg von den äh Quellen.
312 So das wird immer eine . überall auf den äußere Fläche eine Maximum. So wie
313 da Maximum, Maximum, Maximum glaub ich.
- 314 **IA:** Ok.
- 315 **S4:** Es hängt davon ab, was für eine Quelle ist es, weil bei dem . wieder haben eine
316 Richtung . . Was.
- 317 **IA:** Also stell dir vor das ist eine Wasseroberfläche.
- 318 **S4:** Ah, das ist eine Wasseroberfläche.
- 319 **IA:** Stell dir vor und das sind eben zwei so Stifte die hineintippseln also in diesem
320 Abstand, also wenn ein Stift tippt macht er eine Welle und
- 321 **S4:** Aha.
- 322 **IA:** Was entsteht da?
- 323 **S4:** Hm. Warte (denkt 6 s)
- 324 **IA:** Hast du so ein Experiment einmal gesehen?
- 325 **S4:** Ja habe ich. Deswegen versuche ich jetzt zurückdenken.
- 326 **IA:** Also wenn der eine Stift hineintippselt nur.
- 327 **S4:** Dann ist es einfach es fällt nur in so Kreisen.
- 328 **IA:** Und wenn jetzt der zweite Stift hineintipst.
- 329 **S4:** Dann es findet dat diese ganze.
- 330 **IA:** Und wenn Sie gleichzeitig um das gehts.
- 331 **S4:** Wenn sie gleichzeitig, dann die werden zusammen.
- 332 **IA:** Das es eben kohärent ist, das sie gleichzeitig hineintippsen.
- 333 **S4:** Das ist was ich dir gezeigt habe.
- 334 **IA:** Uhm. Genau.
- 335 **S4:** Das ist das selbe.
- 336 **IA:** Uhm.
- 337 **S4:** Hm beim arf, ja wie gesagt das . hm das bewegt sich dem Ganze so ich weiß
338 nicht ob da immer ein Maximum ist oder nicht.
- 339 **IA:** Kannst du dir das vielleicht erklären?
- 340 **S4:** Hm. (denkt 5 s) Was möchtest du jetzt genau von mir?
- 341 **IA:** Od du bei 11 Lambda, ob da ein Maximum oder ein Minimum ist?

- 342 **S4:** Uhm. Aber das ist 10
- 343 **IA:** Das ist 10
- 344 **S4:** Und das ist 11.
- 345 **IA:** Genau.
- 346 **S4:** (denkt 8 s) So die Frequenz bleibt immer dasselbe ...
- 347 **IA:** Genau
- 348 **S4:** ... deswegen das ähm wie heißt das.
- 349 **IA:** Interferenzbild
- 350 **S4:** Interferenz bleibt auch immer dasselbe so da wird wenn, wenn, ah, wenn 10 eine
- 351 Maximum ist, dann wenn 11 kann nicht eine Maximum sein weil . . die Quellen
- 352 sind mit 2 Lambda sich voneinander entfernt.- So ich glaub wenn 12 Lambda
- 353 wieder eine Maximum und hier nicht.
- 354 **IA:** Ok. So. Jetzt gehen eben noch einmal zu dem Unteren wo sie einmal eineinhalb
- 355 Lambda auseinander sind.
- 356 **S4:** Jo.
- 357 **IA:** Also in B erwartest du ein Maximum und wie ist es in A das wieder 10 Lambda
- 358 entfernt ist?
- 359 **S4:** Ja. Da ist es nicht bei dem . Maximum ist es nicht bei 10 . wahrscheinlich, weil
- 360 das Lambda ist.
- 361 **IA:** Ok.
- 362 **S4:** Sondern . . irgendwo anders.
- 363 **IA:** Uhm.
- 364 **S4:** In dieser Linie.
- 365 **IA:** Gut sehr gut.
- 366 **S4:** Jo.
- 367 **IA:** Ah. Ok. Jetzt gehen wir wieder zum Licht zurück. Wir haben da wieder zwei
- 368 Lichtquellen und einen Schirm so wie es da quasi ist.
- 369 **S4:** Uhm.
- 370 **IA:** Ah. Kannst du irgendwie eine Skizze machen und erklären wo Maxima und
- 371 Minima entstehen hier auf diesem Schirm.
- 372 **S4:** Ja. Soll ich was für ein Licht ist es. Zum Beispiel eine Glühbirne oder so?
- 373 **IA:** Na. Na. Zwei kohärente Lichtquellen wieder.
- 374 **S4:** So. Ein bisschen dasselbe.
- 375 **IA:** Genau.
- 376 **S4:** Größe, Sorry, dass ist eine schiaches Zeichnung aber . (lacht) Ok. Vielleicht hier
- 377 wird
- 378 **IA:** Uhm
- 379 **S4:** Hmm. Ja hier ist sicher ein Zusammen eine Punkt von den zwei Kreisen
- 380 **IA:** Uhm.

- 381 **S4:** Wenn die sich einander messen, nicht messen sondern schneiden.
- 382 **IA:** Uhm.
- 383 **S4:** (Räuspert sich) Zum Beispiel das ist eine Maximum.
- 384 **IA:** Uhm.
- 385 **S4:** Und überall wo die zwei Kreise nicht treffen da gibt's weniger Energie, so dass
386 ist eine Minimum da.
- 387 **IA:** Ok. Hast du schon einmal etwas von Gangunterschied gehört in dem Zusam-
388 menhang? Oder Phasenunterschied?
- 389 **S4:** Gangunterschied sagt mir nichts, aber Phasen . da kann ich mir was vorstellen.
- 390 **IA:** Ok. Kannst du das ausformulieren was du dir da vorstellst?
- 391 **S4:** Ja. Phasen sind . Phasenunterschied heißt das?
- 392 **IA:** Hm?
- 393 **S4:** Wie heißt's? Diese Phasenunterschied?
- 394 **IA:** Phasenunterschied, ja.
- 395 **S4:** Ja, das ist einfach unterschiedliche Frequenzen sind . was dem ganzen Experiment
396 den Maximum und Minimum glaub ich verändert wegen den Unterschiede. Wenn
397 eine Größer ist oder Kleiner ...
- 398 **IA:** Uhm.
- 399 **S4:** ... dann dem Maximum ist nicht in der Mitte, sondern irgendwo.
- 400 **IA:** Ok. Aber wir gehen jetzt davon aus, dass die Frequenzen gleich sind.
- 401 **S4:** Aso. Dann weiß ich nicht.
- 402 **IA:** Was ist dann der Phasenunterschied?
- 403 **S4:** Dann weiß ich es nicht.
- 404 **IA:** Ok. Na macht ja nix, das ist kein Problem.
- 405 **S4:** Ok (lacht)
- 406 **IA:** Gut. So jetzt kommen wir zu einem anderen Experiment.
- 407 **S4:** Super.
- 408 **IA:** Wieder mit dem roten Laser. Einfach umblättern genau. So. (Hantiert) und
409 jetzt hab ich einen Spalt. Na wo hab ich den Spalt? Da hab ich den Spalt. So.
410 Der ist verstellbar. Ich stell in einmal auf ganz groß auf 2,5 . Millimeter. Was
411 erwartest du was wir dann sehen werden wenn wir da jetzt auf den Schirm den
412 Laser werfen. Also ich kann's dir zeigen ohne Spalt, dann ist's ein Punkt.
- 413 **S4:** So die Punkt ist einfach . . .
- 414 **IA:** Und jetzt stell ich den Spalt da hin. Ok.
- 415 **S4:** Wie weit ist den Licht eigentlich was durch geht.
- 416 **IA:** Das . . ungefähr gleich groß wie jetzt der Spalt glaub ich.
- 417 **S4:** Dann wenn es ungefähr diese gleich groß ist dann ich glaube ich es bleibt ein
418 Punkt.
- 419 **IA:** Gut. Dann zeichne das hin.

- 420 **S4:** (zeichnet 3 s)
- 421 **IA:** So, dann schauen wir mal, dass wir durchtreffen.
- 422 **S4:** Ja.
- 423 **IA:** Gut. Also deine Beobachtung, ah deine Erwartung ist eingetreten, oder?
- 424 **S4:** Ja.
- 425 **IA:** Gut. So. Jetzt mach ich den Spalt enger.
- 426 **S4:** Ok.
- 427 **IA:** Auf 0,3 Millimeter ungefähr. was erwartest du was jetzt passieren wird?
- 428 **S4:** Ich glaube eine . von . ich zeichne's jetzt größer.
- 429 **IA:** Ja. Uhm.
- 430 **S4:** Nur den . . das werden wir sehen, dass ist sehbar. Weil die ander sind von diese
- 431 Maschine
- 432 **IA:** Vom Spalt blockiert, ja.
- 433 **S4:** blockiert.
- 434 **IA:** Ok.
- 435 **S4:** So ich glaube es wird ein bisschen, diese Punkt wird ein bisschen schmaler.
- 436 **IA:** Uhm. Gut. Schauen wir's uns an. So. hm (richtet ein Strahl ein) so vielleicht
- 437 noch a Spur. Ok. So, was kannst du jetzt da beobachten?
- 438 **S4:** Es ist nicht mehr eine Punkt sondern mehrere Linien . .
- 439 **IA:** Uhm.
- 440 **S4:** Und eine Maxima ist das glaub ich.
- 441 **IA:** Uhm. Genau.
- 442 **S4:** Was ich glaube nicht wieder völlig.
- 443 **IA:** Ich kann's dir wieder mit der Linse zeigen wenn du möchtest. Da wird's vielleicht
- 444 ein bisserl deutlicher. So.
- 445 **S4:** Aha, es hat eine Schalen-solche-Form.
- 446 **IA:** Zeichnest es as in das andere Bild da eine, genau.
- 447 **S4:** (zeichnet 5 s) Also von und äh auf der Seiten gibt's diese
- 448 **IA:** Gut. Kennst du diesen Effekt? Hast du den schon mal gesehen?
- 449 **S4:** Na, ich kenne, aber den Namen weiß ich nicht, leider.
- 450 **IA:** Ok.
- 451 **S4:** Auf Ungarisch geht es besser aber auf Deutsch.
- 452 **IA:** Kannst ihn auf Ungarisch sagen?
- 453 **S4:** Hm . . . das wird auch nicht das genau Erklärung so ich glaube das werden sie
- 454 nicht finden ha (lacht) aber das würde mich freuen wenn du es mir sagst.
- 455 **IA:** Ok. Das ist Beugung. Sagen wir dazu.
- 456 **S4:** Ok. Beugung.

- 457 **IA:**Beugung. Gut. Das ist auch der Effekt, das Überlagert war vorher bei diesem
458 Doppelspalt. Darum hat man in der Mitte das starke Maximum und auf der
459 Seite die schwächeren ghabt.
- 460 **S4:**Uhm. Ok.
- 461 **IA:**Ahh. Jetzt hab ich wieder was, was erklärt was ich nicht erklären wollte. Gut.
462 Hast du eine Idee wie das zustande kommen könnte?
- 463 **S4:**(denkt 10 s nach) Uhm
- 464 **IA:**Da so auf der Rückseite vielleicht, da so mit dem Spalt und mit dem Schirm,
465 quasi.
- 466 **S4:**So wir haben hier eine hm . .
- 467 **IA:**Mach den ruhig breiter den Spalt.
- 468 **S4:**So hier, so eine?
- 469 **IA:**Uhm. Genau.
- 470 **S4:**Ähm. Aber die . . Loch ist schmaler als die Quelle.
- 471 **IA:**Uhm. Genau.
- 472 **S4:**So ich zeichne die Quelle, das ist das Loch, äh.
- 473 **IA:**Uhm.
- 474 **S4:**Ähm und hier ist das so groß und hier wahrscheinlich
- 475 **IA:**Uhm.
- 476 **S4:**Es hat eine andere Form wahrscheinlich.
- 477 **IA:**Uhm. Und wenn's am Schirm trifft.
- 478 **S4:**Hm. Wenn's am Schirm trifft? Ich weiß nicht wieso hat das dann mehrere
479 diese kleine Streichen, aber das hat ähm eine veränderte Aussehen wegen der
480 veränderte Lochweite.
- 481 **IA:**Uhm. Aber jetzt haben wir **ein** Loch.
- 482 **S4:**Ein Loch haben wir jetzt, ja.
- 483 **IA:**Und es gibt trotzdem quasi so ein Muster.
- 484 **S4:**Ja.
- 485 **IA:**Hast du eine Idee warum das so sein könnte?
- 486 **S4:**(denkt 10 s) Vielleicht wegen der schmalen . Loch wird das Licht so gehen
487 und deswegen ist das. Verstehst du.
- 488 **IA:**Uhm. Kenn mich aus was du meinst.
- 489 **S4:**Vielleicht ist das entsteht zwei und deswegen die interferieren miteinander.
- 490 **IA:**Uhm.
- 491 **S4:**Damit das ah steht ich weiß es nicht. Denn wenn du nur ein hast . . . dann das
492 wird . . .hm . . . wieso. Ich glaube nur deswegen, dass
- 493 **IA:**Uhm.
- 494 **S4:**Es kann sein.

- 495 **IA:** Ok. So.
- 496 **S4:** Hm.
- 497 **IA:** (blättert um) Gut. Jetzt werden wir den Spalt noch enger machen was erwartest
498 du was wir da sehen.
- 499 **S4:** Es wird. Es verbreitert sich.
- 500 **IA:** Uhm. Zeichnest du das da wieder hin genau.
- 501 **S4:** (zeichnet 5 s) So es wird schmaler, aber trotzdem wird es mehr größer.
- 502 **IA:** Ok. Ich versuch's mal zu treffen. Ok.
- 503 **S4:** Uhm.
- 504 **IA:** Noch einmal, das geht noch ein bissi enger, glaub ich. So schauen wir mal was
505 da passiert.
- 506 **S4:** Uhm.
- 507 **IA:** Ok.
- 508 **S4:** So wie gesagt diese Ding wird schmaler. Verbreitert sich.
- 509 **IA:** Uhm.
- 510 **S4:** Den Maximum wird ein bisschen herum - wie heißt das - geschmalt so pf, pf, pf
- 511 **IA:** Verschmiert.
- 512 **S4:** Verschmiert, ja, verschmiert.
- 513 **IA:** Ok. Zeichnest das hin.
- 514 **S4:** Verschmiert. Ah und ich sehe da keine Streifchen.
- 515 **IA:** Genau. Wir können auch mit der Lupe nochmal draufschauen.
- 516 **S4:** Uhm.
- 517 **IA:** Da ist nix, oder?
- 518 **S4:** Uhm. Na da ist sehr wenig Licht.
- 519 **IA:** Ja ist schon sehr schwach.
- 520 **S4:** Ok. Super.
- 521 **IA:** Guuut. Gut jetzt würd ma einen grünen Laser verwenden.
- 522 **S4:** Ok.
- 523 **IA:** Was erwartest du was passiert?
- 524 **S4:** Grüner Laser ist noch schwacher als das.
- 525 **IA:** (hantiert mit Laser)
- 526 **S4:** Wir können das nicht so gut sehen wie bei dem Roten glaub ich.
- 527 **IA:** Ok. Schauen wir mal (hantiert weiter) Schauen wir mal was da passiert.
- 528 **S4:** Wow ist anders. Das kann man besser sehen.
- 529 **IA:** Uhm.
- 530 **S4:** Und auch diese Streifchen auch. die Minimum wie heißt das.
- 531 **IA:** Das ist das Maximum, das sind die Minima genau, das ist das Hauptmaximum.

- 532 Das sind die Nebenmaxima.
- 533 **S4:** Das habe nicht erwartet und das ist gut.
- 534 **IA:** Zeichnest du was du herausbekommen hast. Also erwartet hast du das es genau
535 so aussieht nur weniger Intensiv wie das 3g genau.
- 536 **S4:** Ja. So Beobachtung ist (zeichnet) so.
- 537 **IA:** Hast du eine Idee warum das so sein könnte was da die?
- 538 **S4:** Ich habe nicht eigentlich. Ich habe eine Frage.
- 539 **IA:** Eine Frage ist nicht gut (lacht)
- 540 **S4:** Eine Beobachtung.
- 541 **IA:** Ja.
- 542 **S4:** Ähm. So ich hab hier ein ein eine Kreis
- 543 **IA:** Uhm
- 544 **S4:** Eigentlich darf ich hier?
- 545 **IA:** Ja natürlich.
- 546 **S4:** Und ich hab den Loch . so das schaut so aus.
- 547 **IA:** Uhm.
- 548 **S4:** Nicht waagrecht sondern senkrecht ist das.
- 549 **IA:** Ja.
- 550 **S4:** Aber auf dem Wand steht das so waagrecht ähm und vielleicht ist das mit dem
551 Polarisation zu tun polarisieren zu tun weil dass das wie heißt das
- 552 **IA:** Das das polarisiert das Licht?
- 553 **S4:** Ja. Ich weiß nicht, das das verdreht.
- 554 **IA:** Uhm.
- 555 **S4:** Weil ich hab erwartet, dass es so aussieht und nicht so. So. Ja. Und wieso das
556 weiß ich leider nicht. Es wird von dem Loch beeinflusst. Polarisiert oder nicht,
557 das weiß ich nicht.
- 558 **IA:** Uhm. Ok. Ich würd's jetzt noch enger machen das Loch, was glaubst du wird
559 passieren?
- 560 **S4:** uhm. Ähm . Ich zeichne hier
- 561 **IA:** Na hier. Das ist schon das Nächste. Machst du da hier auf der Rückseite bitte.
- 562 **S4:** So Erwartung, dass wird noch schlanker, aber es bleibt.
- 563 **IA:** Schlanker heißt für dich jetzt
- 564 **S4:** So.
- 565 **IA:** Also von der Breite, also von der Höhe in unserem Fall jetzt.
- 566 **S4:** Ja.
- 567 **IA:** Wenn wir das jetzt als die Höhe, die Höhe, dass die jetzt schmaler wird. Ok.
568 Gut na dan schauen wir mal was rauskommt. Ok. Ich tu's wieder enger machen.
569 So. Hoffentlich passt's noch. Ok.

- 570 **S4:** Na es ist vielleicht von dem Höhe schlanker vielleicht aber die . . . Striche haben
571 wir nur eine Maxima eine ohne den Löchern haben wir jetzt nur diese Linie.
- 572 **IA:** Ok. Gut. So jetzt sind wir aber wahrscheinlich noch immer breiter als die
573 Wellenlänge von dem Licht. Jetzt würd ma. Was erwartest du was passiert wenn
574 ma jetzt den Spalt so eng machen, dass er enger ist als die Wellenlänge von den
575 Licht.
- 576 **S4:** Hmm. Das die Maxima und die Minima wird immer so länger. Die sind jetzt
577 einfach so zusammen. Verstehst du, was ich meine? Das sind A zum Beispiel
578 das sind B.
- 579 **IA:** Uhm.
- 580 **S4:** Und B ist jetzt noch schlanker, noch länger
- 581 **IA:** Uhm.
- 582 **S4:** Und A auch noch länger und deswegen treffen die sich hier
- 583 **IA:** Uhm
- 584 **S4:** Und statt den Löchern
- 585 **IA:** Uhm
- 586 **S4:** Eine ganze Linie oder Spaltung.
- 587 **IA:** Ok. Gut. Schauen wir mal ob wir das hinkriegen. So.
- 588 **S4:** Uhm. Ah.
- 589 **IA:** Wird. Passiert eh genau das was du beschrieben hast.
- 590 **S4:** Ja.
- 591 **IA:** Das Hauptmaximum wird immer breiter, aber es wird halt dann so schmal das
592 man's dann nicht mehr sieht. Ok. Na cool, sehr gut. So. Dann kommen wir schon
593 zum letzten Punkt.
- 594 **S4:** Das.
- 595 **IA:** Genau. Wir wollen optische Gitter verwenden. Hast du schon mal was von
596 optischen Gittern gehört?
- 597 **S4:** Ähm. Ich Fotografiere mit einer Lo, mit Kameras die Linse haben und da habe
598 ich eine für dann drauf.
- 599 **IA:** Uhm.
- 600 **S4:** Welche verschieden Lichtquellen . beeinflusst. So ausloggt. Aus, so das kann
601 nicht reingehen in den Linse.
- 602 **IA:** Uhm.
- 603 **S4:** So wahrscheinlich das wird auch das sein.
- 604 **IA:** Also dieses Gitter hat 80 Linien auf einem Millimeter.
- 605 **S4:** Uhm.
- 606 **IA:** Ich werd wieder den roten Laser verwenden. (Hantiert mit Laser) Gut. So. Räum
607 ma das da auf die Seite dann tun wir uns leichter. Was erwartest du was da
608 jetzt passieren wird wenn ich jetzt den roten Laser durch dieses Gitter schicke?
- 609 **S4:** Es wird ein chaotisches Bild.

- 610 **IA:**Ein chaotisches Bild heißt?
- 611 **S4:**(lacht)
- 612 **IA:**Zeichne mal hin was du erwartest.
- 613 **S4:**Ok. (zeichnet 10 s) So das ist prinzipiell das Selbe aber mit sehr vielen Linien.
- 614 **IA:**Genau. Wie der Doppelspalt. Genau. Also was erwartest du da jetzt?
- 615 **S4:**Ihm.
- 616 **IA:**Schauen wir mal, das wir da die Mitte treffen gut.
- 617 **S4:**Ich glaube es wird mehr. Ich glaube eine Maxima aber mehr Minima. So ich
- 618 glaube das wird sehr . . . viele Linien da.
- 619 **IA:**Uhm. Dann schauen wir mal was rauskommt.
- 620 **S4:**Ja. Schauen wir mal. Aha.
- 621 **IA:**Ist das das was du erwartet hast?
- 622 **S4:**Nicht genau. Ähm. Ungefähr. Es gibt mehrere Punktchen, Pünktchen.
- 623 **IA:**Uhm.
- 624 **S4:**So mehr aber die sind die haben alle denselben Energie wahrscheinlich und die
- 625 schauen ...
- 626 **IA:**Energie, verstehst du das von der Intensität her?
- 627 **S4:**Von der Intensität, ja.
- 628 **IA:**Gut. Aber die Abstände und so ...
- 629 **S4:**Die Abstände sind sehr breit und die sind alle Maxima glaub ich.
- 630 **IA:**Ok.
- 631 **S4:**Ja. Die sind alle dasselbe.
- 632 **IA:**Gut.
- 633 **S4:**Interessant ja.
- 634 **IA:**Gut. Dann hätten wir ein anderes Gitter mit 300 Linien. Was erwartest du was
- 635 da passiert wenn ich das verwenden werde?
- 636 **S4:**Dasselbe, aber den Breiten es wird die Pünktchen stehen weit weg voneinander.
- 637 Mehr weiter weg als bei dem 80.
- 638 **IA:**Ok. Schauen wir mal.
- 639 **S4:**Nein. Das gibt ein Punkt.
- 640 **IA:**Na oja. da schau.
- 641 **S4:**Also es ist weiter.
- 642 **IA:**Genau, dass du erwartet hast. Ganz weit genau. Da ist auch noch. Ok.
- 643 **S4:**Ok.
- 644 **IA:**Gut. Magst du das skizzieren genau. Sehr gut. Gut. Jetzt nehmen wir wieder
- 645 die 80 Linien pro Millimeter und jetzt würde ich den grünen Laser hineintun.
- 646 Was erwartest du? Wird es gleich bleiben, wird sich's ändern? Und warum und
- 647 weshalb? Wie immer.

- 648 **S4:** So die Pünktchen werden zueinander näher stehen wahrscheinlich.
- 649 **IA:** Ok. (hantiert mit Laser) Weil. Warum glaubst du? (Gerät fällt runter)
- 650 **S4:** (lacht)
- 651 **IA:** (lacht) Warum erwartest du das? Hast du eine Idee warum das so sein könnte?
- 652 **S4:** Ausgehend von unserer letzten so früheren ähm Beobachtungen zum Beispiel von
653 dem Loch der Grüne ähm war starker von den Intensitäten als
- 654 **IA:** Uhm.
- 655 **S4:** So ich glaube das ist ein (blättert) wenn es stark ist vielleicht diese Löcher, diese
656 Linien können die Licht nicht so stark ähm . . . voneinander ab, abbreiten, so
657 dass sie starker ausbreiten zusammen.
- 658 **IA:** Ok. So dann schauen wir nach was passiert.
- 659 **S4:** Ok.
- 660 **IA:** Ich geb's mal hinein. Ok.
- 661 **S4:** Passt. So ich sehe jetzt solche Linien was bei dem Rot konnte ich früher nicht
662 sehen. Diese Linien ähnm . . . ich glaube die Breite zwischen zwei Punkte ist
663 dasselbe beim Rot also auch beim Grün.
- 664 **IA:** Ok. Da sind jetzt 1,2,3,4,5,6,7,8 vorher waren's?
- 665 **S4:** Das hab ich nicht gezählt (lacht).
- 666 **IA:** Gut können wir ja nochmal ausprobieren. (wechselt Laser)
- 667 **S4:** Ok.
- 668 **IA:** Gut so. 1,2,3,4,5,6.
- 669 **S4:** So die sind jetzt näher zueinander als ich gezeichnet habe.
- 670 **IA:** Genau.
- 671 **S4:** So Beobachtung ist. Stimmt.
- 672 **IA:** Ok. Und jetzt komm ma zum letzten Punkt. Ich werde jetzt weißes Licht nehmen
673 eine Taschenlampe, eine normale. Ich muss sie nur fokussieren damit auch wirklich
674 der Effekt gut zum sehen ist. Da muss ich ein bisserl basteln. Derweil kannst du
675 dir überlegen was passieren wird mit dem Gitter. Ich verwende wieder das 80
676 Linien pro Millimeter.
- 677 **S4:** 80 Linien. Ok. Ich überlege.
- 678 **IA:** Was du erwartest, was da rauskommt. (Hantiert mit Geräten)
- 679 **S4:** Ok. Ja. (zeichnet)
- 680 **IA:** So jetzt versuch ich diesen Spalt ordentlich abzubilden. Ich hab da eine Spalt
681 nur damit wir da wieder so eine Spaltblende haben und dann würd ich das Gitter
682 hineintun. Was erwartest du was passiert?
- 683 **S4:** So und die weiße Licht ist nicht so gut fokussiert, wie zum Beispiel das rote,
684 oder grüne. So das ist mehr größer so statt den Pünktchen haben wir wieder eine
685 Strang oder wie heißt das eine Linie. So mit den 80 glaub ich es wird schärfer
686 aber solche Linien nebeneinander stehen.
- 687 **IA:** Ok.

- 688 **S4:** Wahrscheinlich. Aber schauen ma wir jetzt.
- 689 **IA:** Also, so weiße Linien einfach nebeneinander, oder?
- 690 **S4:** Wahrscheinlich.
- 691 **IA:** Ok. Schauen wir mal.
- 692 **S4:** Ah. Nicht weiße Linien. Linien nebeneinander aber den Licht ist durch einen
693 wie eine Prismaeffekt, ähm ...
- 694 **IA:** Uhm. Zeichnest das einmal hin. Ich mach es ein bisschen näher, dann kannst es
695 vielleicht besser sehen. So.
- 696 **S4:** (zeichnet) So in der Mitte.
- 697 **IA:** Mit den Buntstiften vielleicht.
- 698 **S4:** Soll ich es genau.
- 699 **IA:** Nicht ganz genau. So dass man vielleicht eine Idee hat.
- 700 **S4:** Grün
- 701 **IA:** Da ist die Mitte.
- 702 **S4:** Blau glaub ich. So in der Mitte sehe ich jetzt das ist weiß oder Lila?
- 703 **IA:** Das wieder weiß sein genau.
- 704 **S4:** So dann hier (zeichnet) und rot und das ist dasselbe. Ok. Gut?
- 705 **IA:** Passt. Kannst du erklären warum das passiert? Was da passiert?
- 706 **S4:** (Räuspert sich) Ja ähm wie früher gesagt wie bei dem Prismaeffekt. Dem Licht
707 wird . dem weiße Licht. So dem weiße Licht ähm beinhaltet alle Farben eigentlich.
- 708 **IA:** Uhm.
- 709 **S4:** Und aber die verschiedenen Farben haben verschiedene . Energien, oder Fre-
710 quenzen, oder Wellenlängen.
- 711 **IA:** Uhm.
- 712 **S4:** Und äh zum Beispiel eine, eine rote Wellenlänge ah . ist anders als einen blaue
713 deswegen es hat ich glaube mehrere keine Ahnung hat mehrere kleinere Energie,
714 aber der . darf ich hier zeichnen?
- 715 **IA:** Ja. Klar.
- 716 **S4:** Prisma. Es kommt eine weiße Licht da
- 717 **IA:** Uhm.
- 718 **S4:** Und es wird verbreitert.
- 719 **IA:** Uhm.
- 720 **S4:** Und . . da unten ist die Rote und darüber ist die Blaue glaub ich (Schulglocke
721 läutet) oder umgekehrt ich weiß nicht. Aber die Prismaeffekt ist die Farben sich
722 so verändern aber . welche die . ich weiß nicht, verstehst du?
- 723 **IA:** Ja ich versteh schon. Alles gut.
- 724 **S4:** Ok.
- 725 **IA:** Passt. Gut. Ja. das war's dann auch schon.

6.3.5 Interview 5

Interview mit Schülerin 5 (8. Klasse Oberstufe) am 2. Mai 2018 im Schulversuchspraktikum (Boltzmanngasse 5, 1. Stock) statt. Bei diesem Interview war auch die Betreuungsperson (IB) anwesend.

Die Schülerin schätzt sich selbst mit Note 2-3 in Physik ein.

- 1 **IA:** Also. Das erste worüber wir sprechen wollen sind ah ist Polarisation und zwar
2 wird Autofahrern empfohlen Polarisationsbrillen anstatt von normalen Sonnen-
3 brillen zu verwenden. Weißt du den Grund dafür? Kannst du dir vorstellen was
4 für einen Grund sein könnte?
- 5 **S5:** Ich glaube das soll deshalb sein, weil das ist wegen, also ich bin jetzt nicht
6 hundertprozentig sicher, aber es sollte irgendwie so sein, dass bei einem Polarisationsfilter kommt eine Art von Licht und wenn das andere dann ist dann kommt
7 kein Licht mehr und ich glaub beim Autofahren ist es wichtig besonders wegen
8 der Sonne weil wenn das Licht dann auf die Augen stößt und dann kann man
9 nicht geschert sehen und bei mit der Brille wird es wahrscheinlich auch besser
10 sein für die Sicherheit beim Autofahren und so.
- 11
- 12 **IA:** Uhm.
- 13 **S5:** Glaube ich mal, dass das irgendsowas damit zu tun hat.
- 14 **IA:** Was meinst du mit Art von Licht.
- 15 **S5:** Also nein nicht Art von Licht aber (lacht). Also irgendwie also ich glaub bestimmte Farben gehen glaub ich durch den einen Filter und wenn man das
16 anderen drauf gibt das man das kreuzt also wir hatten so ein Experiment in der
17 Schule, ich weiß das noch.
- 18
- 19 **IA:** Uhm.
- 20 **S5:** Und wenn man dann eben beide Filter hat, dann geht eben kein Licht durch
21 und bei den einem dann nur - ich weiß nicht ob's die hellen Lichter waren oder
22 die Farben, oder ich bin mir nicht mehr ganz sicher aber irgendwie irgend eine
23 Art von Licht (lacht).
- 24 **IA:** Ok. Gut. Schau. Dann haben wir da eine Polarisationsfolie.
- 25 **S5:** Ok.
- 26 **IA:** Und da zwei andere Folien. Könntest du herausfinden welche von den beiden
27 auch polarisierend ist?
- 28 **S5:** Ähm. Kann ich die in also
- 29 **IA:** Du darfst das alles in die Hand nehmen.
- 30 **S5:** Ok. Ich glaub, dass war irgendwie mit dem Sonnenlicht wenn man das eine .
31 (murmelt)
- 32 **IA:** Sehr gut. Also was machst du da jetzt dann, was du versuchst.
- 33 **S5:** Ich tu also, man muss es eben kreuzt, gekreuzt hinstellen, damit eben kein Licht
34 durchkommt.
- 35 **IA:** Ok. Du drehst es um 90 Grad hast du grad gemacht.
- 36 **S5:** Genau.

- 37 **IA:** Sehr gut.
- 38 **S5:** Und ich weiß aber nicht bei welchem das jetzt ist. Bei welchem Licht. Ah da.
- 39 **IA:** Ok.
- 40 **S5:** Aber da kommt keins mehr durch weil jetzt ist es so gestellt das das passt glaub
41 ich (lacht)
- 42 **IA:** Ja. Also das meinst du ist die zweite Polarisationsfolie.
- 43 **S5:** Genau.
- 44 **IA:** Und das andere war ein normales. Also keine polarisierende Folie.
- 45 **S5:** Genau.
- 46 **IA:** Sehr gut. Gut. Aber was die Polarisation jetzt genau ist ...
- 47 **S5:** Könnt ich jetzt nicht definieren (lacht). Also ich hätte gesagt das es irgendwie
48 Lichtquellen sind oder Lichtstrahlen, Wellenlängen oder so was.
- 49 **IA:** Ok. Dann schauen wir mal da. Wir haben da zwei Bilder. Das eine ist mit einer
50 Polarisationsfolie aufgenommen, das andere Ohne.
- 51 **S5:** Ja.
- 52 **IA:** Könntest du sagen welches welches ist?
- 53 **S5:** Das ohne und das mit, weil das Licht hier nicht mehr also ist
- 54 **IA:** Ok.
- 55 **S5:** Da ist es eben gekreuzt gestellt mit den beiden Folien und da ohne.
- 56 **IA:** Genau. Ok. Und warum ist da jetzt der Unterschied.
- 57 **S5:** Ähm. Weil eben also die Sonne gibt uns ja Lichtstrahlen, Wellenlängen, also ich
58 weiß nicht.
- 59 **IA:** Ja.
- 60 **S5:** Und ähm da kann man das eben sehen und wenn man diese Folien wie's jetzt
61 da war wo man das eben verdunkelt deswegen kann man die dann nicht mehr
62 sehen.
- 63 **IA:** Aber warum, ähm. Du hast ja eben nur eine Folie. Durch eine Folie kannst ja
64 immer durchsehen, oder.
- 65 **S5:** Ja. Aber da sind halt quasi beide und da keine.
- 66 **IA:** Aber warum sind da keine? Du hast ja trotzdem, also die Polarisationsbrille hat
67 nur eine Folie, ganz sicher.
- 68 **S5:** Ach so. Weil dann eben also weil ich ok ähm (lacht). Ich glaube eben, dass die
69 Strahlen von der Sonne . und die haben. Also, da gibt's zwei verschiedene Arten
70 und die haben und die einen sind irgendwie die mit den Farben und die anderen
71 sind die Schwarzen und Weißen.
- 72 **IA:** Ok.
- 73 **S5:** Oder so keine Ahnung. Und da sind halt die, also die schwa - quasi die Far -
74 also ich weiß nicht. Eins von beiden ist da weg (lacht) und da sind eben beide
75 da. Also quasi das was blendet ist weg. Ich weiß aber nicht. Ja. Keine Ahnung.
76 Also wie gesagt das mit den Arten verstehe ich nicht ganz.

- 77 **IA:**Ok. Gut. Aber so was Polarisation genau ist also das, du weißt nur das es zwei
78 verschiedene Arten gibt ...
- 79 **S5:** Ja.
- 80 **IA:**... aber wie das jetzt genau funktioniert ...
- 81 **S5:** Nein.
- 82 **IA:**... ist nicht mehr da. Ok. So . . . Gut da haben wir dann genau. Hast du irgend
83 eine Idee was mit diesem Licht passieren könnte wenn es durch diesen, oder
84 durch diese Polarisationsfolie durchgeht?
- 85 **S5:**Ich glaub das Licht wird irgendwie abgestoßen, das heißt es kommt da quasi
86 nicht durch. Also für unser Auge zumindestens nicht. Ähm, ja.
- 87 **IA:**Uhm.
- 88 **S5:** Also weil ich glaub die Strahlen sind nicht stark genug da sie durchgehen können
89 durch diese Filter. Weil das eben abgestoßen wird. Also glaub ich.
- 90 **IA:**Aber es kommt ja was durch, weil wennst nur so durchschaust kommt ja was
91 durch.
- 92 **S5:** Ja eben die einen (lacht). Die eine Art, die andere nicht.
- 93 **IA:**Na. Sehr gut. Ja. Passt.
- 94 **S5:** Ok.
- 95 **IA:**Dann würde ich sagen gehen wir zum nächsten über. Wir haben da so ein
96 Experiment aufgebaut.
- 97 **S5:** Uhm.
- 98 **IA:**Ich werd dann noch eine Schirm da hinstellen.
- 99 **S5:** Ok.
- 100 **IA:** Wir nehmen so ein Doppeltgitter, also einen Doppelspalt. Da sind jetzt mehrere
101 drinnen. Wir werden aber zuerst mit den kleinsten anfangen. Mit dem 0,15
102 Millimeter Spalt.
- 103 **S5:** Ja.
- 104 **IA:** Ah. Da ist ein Laser da ist ein Spalt und da werde ich so einen Schirm hinstellen.
105 (hantiert mit Geräten) Ah. Hast du eine Idee was passieren könnte wenn man
106 den Laser, also das Laserlicht
- 107 **S5:** Also. Ist das jetzt ein Doppelspalt?
- 108 **IA:** Das ist ein Doppelspalt. Da ist ein Doppelspalt.
- 109 **S5:** Ok. Dann sollte es.
- 110 **IA:** Wir nehmen jetzt den Schmälesten von denen.
- 111 **S5:** Das ist ich galub das ist dann irgendwie, dass sich also, wie war das nochmal?
112 Das sich die Strahlen dann quasi durch den Spalt durchstreuen
- 113 **IA:** Ja.
- 114 **S5:** Also und dann gibt's eben dann gibt's eben dann diesen eine Graphen wie das
115 dann angezeigt wird. Da gibt's dann Maximum und Minimum.
- 116 **IA:** Uhm.

- 117 **S5:** Und dann ist es eben ziemlich gleichmäßig von der Mitte also uuhh.
- 118 **IA:** Ok. Genau. Magst du das da mal das ist deine Erwartung. Magst du das da
119 mal bei 2a hinzeichnen.
- 120 **S5:** Ok. Also das ist eben äh gibt's einen Spalt.
- 121 **IA:** Genau. Das ist die Mitte. Schau ich hab da so einen Strich gemacht das man
122 die Mitte andeuten. Das ist dass da die Mitte.
- 123 **S5:** Ok. Also da ist der Schirm.
- 124 **IA:** Das ist der Schirm. Genau. Das ganze ist der Schirm.
- 125 **S5:** Ok. Ok. Achso. Auf den Schirm kommt das, das ist eben, das ist irgendwie so
126 mittel- und das ist dann eben ein Minimum oder ein Maximum. Ich weiß nicht
127 welche Reihenfolge. Ich glaub ja keine Ahnung. Jedenfalls, dann ist es eben.
- 128 **IA:** Ok. Wart amal. Du hast die Spalte stehen so und das ist die Mitte von dem
- 129 **S5:** Aso. Und das ist jetzt das Gitter wo das durchgeht.
- 130 **IA:** Genau da ist das Gitter, das steht so.
- 131 **S5:** Ah ok.
- 132 **IA:** und da ist die Mitte. Du kannst es jetzt wegradieren kurz. Weißt du was ich
133 jetzt mein?
- 134 **S5:** Ich kann's mir jetzt also das
- 135 **IA:** Also da ist der optische Weg und da ist genau die Mitte von dem optischen Weg.
136 Und die steht dann so da.
- 137 **S5:** Ok und ich soll jetzt wie's da drauf zeichnen würde.
- 138 **IA:** Und die Gitter stehen so.
- 139 **S5:** Ok. Also soll ich jetzt einfach diese Kurve zeichnen? Meinst du das?
- 140 **IA:** Ja zum Beispiel ja. Oder, Oder was dir dazu oder die Kurve kommt ja nicht
141 raus, sondern es kommt ja was raus.
- 142 **S5:** Ja eh nicht es kommen ja also kommen irgendwie so ich ich kann das jetzt nicht
143 wirklich beschreiben. Also es ist irgendwie ähm das eben bei den einem dann
144 die Wellen ankommen und bei dem anderen nicht. Also
- 145 **IA:** Genau.
- 146 **S5:** Weil das irgendwie durch den Winkel irgendwie.
- 147 **IA:** Genau, also wird's da hell oder dunkel sein und
- 148 **S5:** Genau. Ales es wird eben. Dann gibt es eben Maximum und Minimum und
149 dann kommt das eben raus.
- 150 **IA:** Genau und jetzt würd ich dass du mir da hinzeichnest wo die Maxima sein
151 werden und die Minima lass ma frei halt einfach.
- 152 **S5:** Die M. Die Maxima werden oben also in der Mitte.
- 153 **IA:** Ja.
- 154 **S5:** Also. Das ist jetzt ein bisschen schiach gezeichnet und dann Minima wieder
155 keine Ahnung hier unten und dann wieder ein Maximum. Das ist halt immer
156 gleichmäßig weil da

- 157 **IA:** Ok.
- 158 **S5:** Nach unten und oben in den gleichen Winkel geht
- 159 **IA:** Ja.
- 160 **S5:** Und dann ist es so also immer wieder gleich und es geht halt immer wieder
161 weiter. Das sollte halt gleich sein auf den beiden Seiten.
- 162 **IA:** Ja. Ok. Sehr gut.
- 163 **S5:** Das ist so schwer zu zeichnen (lacht).
- 164 **IA:** Ja also. Was jetzt da rauskommen würde wären dann da ein groß, da ein Punkt
165 und da ein Punkt und da ein Punkt.
- 166 **S5:** Aso ok.
- 167 **IA:** So würd's dann wahrscheinlich aussehen. So erwartest du das.
- 168 **S5:** ja, ja. Ja.
- 169 **IA:** Oder hättest du was anderes jetzt.
- 170 **S5:** Nein ich hätt's eh so gemacht.
- 171 **IA:** Ok. Passt. Sehr gut. Dann schauen wir uns mal an was wirklich rauskommt.
- 172 **S5:** Ok.
- 173 **IA:** Gut ich. Vorsicht kommst du nur da zu mir auf die Seite, dass mit dem Laser
174 nix passiert. Dann muss ma noch treffen. Und dann muss ma in die Mitte stellen.
175 so dann und jetzt ist's weiter weg noch besser zu sehen. Also da ist jetzt genau
176 die Mitte. Ist das dass was du jetzt erwartet hast?
- 177 **S5:** Ja. Genau. Dann läuft. Ja genau.
- 178 **IA:** Ok. Schaust du es dir noch ein bisserl genauer an, dass du erkennst was da was
179 ist.
- 180 **S5:** Also das ist in der Mitte ist eben am stärksten und dann wird's eben also desto
181 weiter es auseinandergeht, desto weniger stark wird das. Und das ist eben immer
182 abwechselnd. In der Mitte ist ein Maximum und dann Minimum und dann wieder
183 ein Maximum dann wieder ein Minimum.
- 184 **IA:** Sehr gut. Zeichnest du auf was du da erkennst. Ich dreh nur den Laser ab, dass
185 da nichts passiert mit den Augen.
- 186 **S5:** In der nächsten oder
- 187 **IA:** Genau. Das ist das zweite die Beobachtung.
- 188 **S5:** Da war jetzt eben in der Mitte.
- 189 **IA:** Ja.
- 190 **S5:** Maximum. Dann wieder nichts und dann wieder ein Minimum.
- 191 **IA:** Ja.
- 192 **S5:** Wieder ein Minimum und dann wieder nichts und ich weiß nicht soll ich das
193 kleiner zeichnen oder weniger stark aufdrücken den Bleistift also es wird immer
194 ...
- 195 **IA:** Ja. Genau leichter
- 196 **S5:** ... weniger einfach und deswegen, das ist eben dann hier wo's runtergeht.

- 197 **IA:** Uhm.
- 198 **S5:** Also ja. Einfach.
- 199 **IA:** Und weißt du wie dieser Effekt heißt. Was da passiert. Hast du eine Erklärung,
200 kannst du erklären was da vorkommt?
- 201 **S5:** Ich dassss das das ganze heißt jetzt ob das Doppelspaltexperiment und das ist
202 halt irgend also ich na nein also ich weiß nur das es irgendetwas mit dem Winkel
203 zu tun hat wie diese Wellenlängen dann gehen und wie dann wenn das Eine also
204 wenn quasi ein Berg ist und wenn dann noch ein Berg unten ist bei dem Zweiten
205 ...
- 206 **IA:** Uhm.
- 207 **S5:** ... das sich dann eine dass sich die dann also das die dann weggehen ...
- 208 **IA:** Uhm
- 209 **S5:** ... wenn es aber Berg und Tal ist also wenn einer also es sind verschiedene
210 Winkel wo es da draufgeht.
- 211 **IA:** Ok. Kannst du dass was du jetzt da versuchst zu beschreiben vielleicht da
212 herzeichnen wie du dir das vorstellst. Stell dir vor ungefähr da ist der Schirm.
- 213 **S5:** Also ich weiß nicht wie ich das mit dem Schirm. Kann ich das schräg aufzeichnen.
- 214 **IA:** Ja. Ja. Du kannst das jetzt das
- 215 **S5:** Also wenn jetzt eben der eine Winkel also da ist jetzt . der Schirm und dann
216 geht's hier rauf und hier rauf und hier diese Wellen also wenn das jetzt so ist.
- 217 **IA:** Genau. Ok.
- 218 **S5:** Und hier geht's dann eben anders, weil es . so ist und dann wenn hier jetzt ein
219 Winkel ist, also halt hier ist ein rechter Winkel Alpha und wenn also halt also
220 ok. Wenn das so aussieht, dann tun sich die wegstreichen, weil das zwei hohe
221 sind. Aber wenn es so ist . . dann bleibt es. Dann gibt es ein - also das wäre ein
222 Minimum und das ein Maximum - weil das oben ist und das ist unten also passt
223 das - und die tun sich dann eben wegstreichen weil das beide im glaub ich. Ja.
- 224 **IA:** Ok. Hast du da irgendwie so eine Regel oder ein weißt du wovon das abhängt
225 das dass so ist?
- 226 **S5:** Nein.
- 227 **IA:** Kannst du dich an.
- 228 **S5:** Nein. Also wir hatten mal einen Test ich hab das so gelernt also keine Ahnung.
- 229 **IA:** Also irgendwie das wovon das abhängt was man da braucht?
- 230 **S5:** Ich glaube es ist einfach weil es sind ja verschiedene Längen. Also es sind ja zwei
231 Spalte. Und es ist ja ein Spalt und da geht's durch und desto größer der Winkel,
232 desto mehrere quasi gibt's die da irgendwie durchgehen und . ja irgendwie sowas.
233 Keine Ahnung. Also das ist dann eben das dort das ist ja steiler deshalb braucht
234 es nicht so lange. Das kommt schneller an. Und das untere eben nicht. Und
235 deshalb sind die, deswegen ist es nicht gleichmäßig wie wenn's parallel, parallel
236 wäre.
- 237 **IA:** Uhm.
- 238 **S5:** Und dadurch ähm wie die Wellen dann eben gehen. Das eine tut sich dann

- 239 wegtun und das andere nicht. Hätte ich jetzt gesagt (lacht).
- 240 **IA:** Gut. Und wie der Effekt heißt. Haben wir das schon. Haben wir da überhaupt
241 schon geredet drüber?
- 242 **S5:** Nein.
- 243 **IA:** Weißt du noch wie der Effekt heißt?
- 244 **S5:** Also meinst du jetzt einfach Doppelspaltexperiment?
- 245 **IA:** Na das Doppelspaltexperiment zeigt einen Effekt. So wie ich vorher gesagt habe
246 dass es Polarisierung ist.
- 247 **S5:** Nein. Weiß ich leider nicht.
- 248 **IA:** Interferenz.
- 249 **S5:** Ah ok. Ja. Ah, ja, voll. Dann gibt's zwei Interferenzen. Also das ist jetzt das
250 Interferenzmuster wäre das dann, oder?
- 251 **IA:** Genau.
- 252 **S5:** Genau. Ok. Ja.
- 253 **IA:** Und jetzt noch einmal Frage. Gibt's eine Regel für diese Interferenzmaxima und
254 -minima?
- 255 **S5:** Ähm. Wart jetzt einmal ich glaub eben
- 256 **IA:** Wo die auftreten?
- 257 **S5:** Aso.
- 258 **IA:** Kann man das irgendwie ausrechnen? Herausfinden?
- 259 **S5:** Ich glaub da gibt's so eine Formel aber die haben wir nie gelernt.
- 260 **IA:** Ok.
- 261 **S5:** Ähm. Also. Ich glaube das ist irgendwie eben . das ist ein Maxima und das ist
262 ein Minima und kann man eben sich glaub ich ausrechnen je nachdem - ich weiß
263 nicht vielleicht wie weit die Winkel auseinander sind oder nicht - aber das so
264 das ist nein also da bin ich mir eigentlich nicht sicher.
- 265 **IA:** Ok. Hast du schon einmal was von Gangunterschied oder so oder Phasenunter-
266 schied bei diesen Wellen?
- 267 **S5:** Ähm.
- 268 **IA:** Ist dir das schon untergekommen?
- 269 **S5:** Ähm. Ist das nicht eh irgendwie, da gibts doch irgendwie ein destruktives und
270 ein . nicht destruktive eben und ich glaub das ist eben das destruktive und das
271 das Konstruktive quasi. Wenn das überhaupt die richtigen Worte sind (lacht).
272 Ich bin mir nicht sicher weil
- 273 **IA:** Es gibt konstruktive und destruktive Interferenz, genau.
- 274 **S5:** Ja und eben. Ja.
- 275 **IA:** Wenn sie konstruktiv interferieren dann?
- 276 **S5:** Dann gibt's eben. Gibt's glaub ich gleich viels. Keine Ahnung ich will jetzt nicht
277 irgendwas Falsches sagen. Gleichwellige.
- 278 **IA:** Du kannst nichts Falsches sagen. Du kannst schon was Falsches sagen, aber,

- 279 aber es stört mich nicht ich will ja ...
- 280 **S5:** Ok.
- 281 **IA:** ... wissen was du dir drunter vorstellst.
- 282 **S5:** Ok. Also ich glaub das ist dann einfach wenn die Wellen quasi wenn sie so sind
283 das sie sich nicht quasi eben zerstören sozusagen und dann dann kommt eben
284 Maxima und Minima raus. Also quasi. Also das sind dann die Maxima und die
285 Anderen sind die Minima. Also die Minimums keine Ahnung, also ja. Das hätte
286 ich gesagt. Aber das weiß ich eigentlich generell nicht. Ich hätte das als so. Ja.
- 287 **IA:** Was ist überhaupt generell deine Vorstellung von Licht. Das würde ich generell
288 gerne mal wissen.
- 289 **S5:** Von Licht. Ok. Also das erste was ich denke wenn ich höre Licht ist einfach die
290 Sonne.
- 291 **IA:** Ja.
- 292 **S5:** Und äh dann irgendwie wenn ich genau darüber nachdenke sind's halt eben
293 diese Wellen. Ja. Weil durch die Wellen sehen wir das Licht und dann gibt's
294 eben verschiedene Arten dann wieder was für Licht wir sehen, dann gibt's ja
295 auch irgendwie dass manche Tiere mehr Licht sehen als wir und so also Farben
296 eigentlich Lichtfarben irgendwie so. Ja.
- 297 **IA:** Was, wovon hängt das ab was wir sehen können und was nicht?
- 298 **S5:** Ähm ich glaub einfach was für uns zugänglich ist von unserem Auge also welche
299 Sachen wir eben absorbieren können und welche nicht glaube ich.
- 300 **IA:** Aber welche physikalische Eigenschaft hat diese Welle?
- 301 **S5:** Äh. Aso . . .
- 302 **IA:** Weißt du worauf ich hinausmöchte?
- 303 **S5:** Nicht wirklich. Meinen sie welche Wellen quasi wir sehen können, oder?
- 304 **IA:** Genau. Zum Beispiel.
- 305 **S5:** Ach so. Ich glaub eben zum Beispiel Sonnenlicht könne wir ja sehen eigentlich,
306 oder?
- 307 **IA:** Jaa...
- 308 **S5:** Ja (lacht)
- 309 **IA:** Das hat?
- 310 **S5:** Und das hat Photonen oder ist Photon nicht eh auch ein Licht?
- 311 **IA:** Ja.
- 312 **S5:** Ok. Ja. Irgendwie so was. Ich weiß nicht (lacht)
- 313 **IA:** Ok. Aber damit's diese Interferenz gibt ...
- 314 **S5:** Ja.
- 315 **IA:** ... muss das Licht eine bestimmte Eigenschaft haben . . diese Lichtquellen müssen
316 ...
- 317 **S5:** Ähm ich weiß nicht?
- 318 **IA:** Kohärent. Hast du von dem schon mal was gehört?

- 319 **S5:** Nein. Nein habe ich nicht. Nein.
- 320 **IA:** Okay. Also kohärente Licht, also Lichtquellen müssen kohärent sein weil sonst
321 kann's keine Interferenz geben. Drum sieht man. Achso ich darf nichts erklären
322 (lacht)
- 323 **S5:** (lacht)
- 324 **IA:** Ah ok. Also die haben. Also das Wichtige ist, dass die Wellenlängen gleich sind.
325 Das heißt kohärent, Ok?
- 326 **S5:** Ok. Ja. Sie meinen, ja.
- 327 **IA:** Und auf die Wellenlängen wollte ich eigentlich hinaus die ganze Zeit.
- 328 **S5:** Ok. (lacht)
- 329 **IA:** Dass das das Wichtige ist.
- 330 **S5:** Ok. Ok. Ok.
- 331 **IA:** Gut. Dann würden wir statt dem roten einen grünen Laser verwenden.
- 332 **S5:** Ok.
- 333 **IA:** Glaubst du würde sich an dem Bild was ändern? Würd sich nichts ändern?
334 Wenn ja, was ändert sich. Wenn nein, was, warum ändert sich's nichts?
- 335 **S5:** Ich hätte eigentlich nein gesagt. Aber ich schätze sie machen das jetzt, es wird
336 wahrscheinlich sich was ändern (lacht) sonst würden sie's wahrscheinlich nicht
337 machen. Aber ich hätte jetzt nicht gesagt. Also ich könnte nicht sagen warum.
- 338 **IA:** Ok. Probier mir also deine Erwartung jetzt da herzuzeichnen bitte.
- 339 **S5:** Äh mit dem Grünen?
- 340 **IA:** Wenn's ein Grüner wär genau. Also du glaubst dass es gleich ist, dann zeichne
341 es genau so hin wie's oben aussieht.
- 342 **S5:** Also genau so einfach?
- 343 **IA:** Genau.
- 344 **S5:** (zeichnet 20 s)
- 345 **IA:** Also du glaubst nicht das sich was ändern wird.
- 346 **S5:** Nein glaub ich nicht.
- 347 **IA:** Gut (denkt 7s nach). Aber der grüne Laser ist doch ein anderer Laser als der
348 rote Laser.
- 349 **S5:** (lacht) Ok. anscheinend schon.
- 350 **IA:** (lacht) Also was ist deine Erklärung dafür dass es sich nicht ändert?
- 351 **S5:** Weil es beides Laser sind die eine bestimmte Farbe aussenden, aber ich schätze
352 mal das im roten irgendwie andere Teilchen oder andere Wellen sind als im
353 grünen vielleicht.
- 354 **IA:** Ok. Aber am Muster wird sich nichts ändern meinst du.
- 355 **S5:** Ich glaube nicht. Ich wüsste nicht was sich dann ändern würde.
- 356 **IA:** Gut. So. Das werden wir jetzt nicht anschauen, weil das wird nicht so gut
357 dargestellt, aber wenn wir jetzt den abstand zwischen den Spalten vergrößern.
358 Wird sich die Abbildung auf den Schil, auf dem Schirm ändern?

- 359 **S5:** Ja.
- 360 **IA:** Wenn ja wie? Und warum?
- 361 **S5:** Also das heißt jetzt Ich glaub weil dann heißt es ja eigentlich, dass quasi mehrere
362 Minima weggegangen sind oder mehrere Max, also das mehrere Wellen sich dann
363 aufgelöst haben oder eben nicht.
- 364 **IA:** Wie lösen sich die Wellen auf? Also.
- 365 **S5:** Wenn der Winkel dann also da gibt's dann mehr Wellen.
- 366 **IA:** Also du meinst Inferenz wieder.
- 367 **S5:** Genau. Genau.
- 368 **IA:** Konstruktiv oder destruktiv.
- 369 **S5:** Ja, genau und ich glaub dann wär's halt irgendwie anders. Soll ich das jetzt
370 aufzeichnen wie ich's denke?
- 371 **IA:** Bitte ja. Wie's du glaubst das es jetzt ausschauen würde.
- 372 **S5:** Also mehr abstände haben sie gesagt, oder?
- 373 **IA:** Der Abstand zwischen den Spalten wird verändert.
- 374 **S5:** Zwischen Spalten, Ok.
- 375 **IA:** Genau wir waren schau wir haben jetzt diesen schmalen Spalt genommen ...
- 376 **S5:** Ja.
- 377 **IA:** ... und jetzt nemma den breiten Spalt ...
- 378 **S5:** Ok.
- 379 **IA:** ... mit einem Millimeter Abstand zwischen den Spalten. Also die Spalten bleiben
380 gleich schmal ...
- 381 **S5:** Ok.
- 382 **IA:** ... aber der Abstand zwischen den Spalten ...
- 383 **S5:** Der Abstand zwischen den Spalten.
- 384 **IA:** ... wird größer. Hat das an Einfluss auf das Bild und wenn ja wie? Oder wenn
385 nein, warum nicht?
- 386 **S5:** Ich glaub dann wird es irgendwie. Ich weiß nicht glaub es wird dann schmaler
387 werden generell aber halt es wird nicht so viele Maxima und Minima geben
388 glaub ich. Dann ist es so. So.
- 389 **IA:** Uhm. Ok. Das ist aber jetzt schon wieder deine Erklärung. Wie wird's denn
390 ausschauen.
- 391 **S5:** Ach so meinen sie jetzt ähm wie's da ausschauen würde. Aso, soll ich das dann
392 da?
- 393 **IA:** Na, na, da eh da drüber einfach so wie ichs da drüber gemacht hab, bei ...
- 394 **S5:** Ach so. Dann wird es eben ...
- 395 **IA:** ... 2f jetzt einfach dazu.
- 396 **S5:** ... aso beziehungsweise die Vierecke halt werden eben mehr Abstand und dann
397 also eh dasselbe wie da nur eben mit mehr Abstand.

- 398 **IA:** Okay.
- 399 **S5:** Also ok das ist jetzt. Dieser Punkt sollte hier sein, dass hier das gehört hier
400 nicht hin sonder hier, dann hier und hier.
- 401 **IA:** Gut radier den einen feinen da einfach weg wenn's in da jetzt nicht haben
402 möchtest.
- 403 **S5:** (radiert 7 s)
- 404 **IA:** Na gut. Dann schaun ma wieder nach. Ok.
- 405 **S5:** Aso. Ok. (lacht)
- 406 **IA:** Soda. So. Das passt nicht ganz. Na passt da muss er sein. Na warte. Ok. Da ist
407 die Mitte. Ist das das was du erwartet hast?
- 408 **S5:** Nicht wirklich. Das ist nur irgendwie, das ist nur heller geworden. Aber nicht.
409 Die sind irgenwie länger geworden. Die, die, die, da diese Streifen oder.
- 410 **IA:** Okay.
- 411 **S5:** Und es is, ja.
- 412 **IA:** Ich hab noch eine Lupe vielleicht hilft dir die was, das ma das besser sieht was
413 da passiert. (Hantiert mit Geräten)
- 414 **S5:** Ach so ist das jetzt mit der Lupe?
- 415 **IA:** Das ist jetzt mit der Lupe, genau. So schaut der mittlere, schau das ist der
416 mittlere Punkt einfach und denn vergrößere ich jetzt.
- 417 **S5:** Ach so. Dann es ist es jetzt noch genauer geworden. Denn es ist genau nicht so
418 wie ich gedacht hab, sondern eben noch viel schmaler zusammen. Obwohl ich
419 weiß jetzt nicht wie das beim anderen war weiß ich jetzt nicht wie das so ...
- 420 **IA:** Dann schauen wir uns das andere nochmal so an. Ok. Sehr gut, dass hab ich
421 nämlich vorher nicht gemacht. So treffen so. Ok.
- 422 **S5:** Okay, ja. Dann ist es eben - es gibt mehr und die sind aber schmaler.
- 423 **IA:** Uhm.
- 424 **S5:** Also das, also wenn das jetzt das ist. Dann ist bei dem jetzt schaut's dann so
425 aus.
- 426 **IA:** Ja.
- 427 **S5:** Viel näher dran und zusammen.
- 428 **IA:** Ok.
- 429 **S5:** Also ich weiß nicht kann man das erkennen, dass es nun schmaler ist. Soll ich
430 das dazuschreiben vielleicht?
- 431 **IA:** Ja.
- 432 **S5:** Gut. Schmaler und mehr. Und dasselbe in die Richtung halt. Also ist die
433 Zeichnung dann eigentlich auch falsch glaub ich.
- 434 **IA:** Und dann ist wieder, also das ist jetzt der Falsche, wart dann dreh ich's wieder
435 um. Also in Wahrheit geht's uns nur um die drei da in der Mitte.
- 436 **S5:** Okay. Ok.
- 437 **IA:** Ok. Und jetzt dreh ich's wieder auf das Große.

- 438 **S5:** Soll ich's hier das erste groß Aufzeichnen? Also einen Ausschnitt.
- 439 **IA:** Ja, das könntest du auch machen genau wenn man so einen Ausschnitt macht,
440 genau eben.
- 441 **S5:** Und dann ist es eben hier und dann hier und dann hier
- 442 **IA:** Ja.
- 443 **S5:** Und ein Ausschnitt davon wäre hier und hier und hier also.
- 444 **IA:** Ja sehr gut und nach außen schaut's?
- 445 **S5:** Nach außen schaut's, also nach außen schaut's eben genau so wieder gleich weit
446 aus und also immer, also dasselbe wieder, nur halt.
- 447 **IA:** Ok. Sehr gut. Also man muss dazu sagen, dass hab ich vorher vergessen. Das in
448 der Mitte, also das ist das Interferenzmuster das wir eigentlich sehen wollen.
- 449 **S5:** Ok.
- 450 **IA:** Das andere, dass außen ist das Beugungsmuster das drüber liegt.
- 451 **S5:** Ok.
- 452 **IA:** Das ist halt schwierig. Also es geht eigentlich nur um die Mitte. Das war's.
- 453 **S5:** Ok.
- 454 **IA:** Und das hast du eh richtig gemacht. Das war super.
- 455 **S5:** Und soll ich bei dem jetzt noch. Ich glaube, das würde dann anders ausschauen.
456 Soll ich da so ein hier noch noch hinzeichnen oder so?
- 457 **IA:** Jetzt die Erklärung könntest du da drunter zeichnen, wenn du das erklären
458 möchtest.
- 459 **S5:** Das mache ich klein einfach. Wenn hier das die Mitte ist.
- 460 **IA:** Uhm.
- 461 **S5:** Glaube ich das dann viel eher zusammen. Also das ist quasi schmaler zusammen
462 als die ...
- 463 **IA:** Ja. Verstehe ich ja.
- 464 **S5:** (lacht)
- 465 **IA:** Hast du eine Idee warum das jetzt so ist, enger, also gegen deine Erwartung
466 eigentlich ist?
- 467 **S5:** Ähm. Also das war jetzt der Spalt war jetzt größer, oder?
- 468 **IA:** Genau. Breiter, also breiter auseinander.
- 469 **S5:** Breiter, ok. Ähm. Wenn das weiter auseinander. Ich schätz einmal, dass da mehr
470 Wellen durchgehen und deshalb vielleicht, also quasi dass dann ...
- 471 **IA:** Was verstehst du unter Wellen durchgehen? Jetzt sind wir wieder am interessan-
472 ten Punkt.
- 473 **S5:** Also das Licht wieder (lacht).
- 474 **IA:** (lacht)
- 475 **S5:** Also das Licht ist das eben die Wellen in denen das Licht durchgeht und ähm
476 die da gibt's jetzt mehr Wellen und deshalb ist gibt's jetzt mehr Möglichkeiten,

- 477 deshalb ist es auch enger beieinander.
- 478 **IA:** Warum gibt's jetzt mehr Wellen?
- 479 **S5:** Weil der Spalt größer ist. Deswegen.
- 480 **IA:** Der Spalt ist nicht größer sondern nur der Abstand zwischen den Spalten. Das
481 wollt' ich da vorher schon.
- 482 **S5:** Ja eh und dann gehen mehr durch, oder, also hätte ich zumindestens gedacht?
483 Weil wenn der Spalt größer ...
- 484 **IA:** Die Spalte sind genau gleich breit wie vorher.
- 485 **S5:** Ja.
- 486 **IA:** Wie vorher. Nur der Abstand zwischen den Spalten hat sich verändert.
- 487 **S5:** Aso! Und es gehen die gleiche Anzahl von Wellen durch?
- 488 **IA:** Nachdem die Spalten gleich breit sind ...
- 489 **S5:** Ach so, okay. Keine Ahnung. Ich schätze, dass hat wieder was mit der Interferenz
490 zu tun aber ich weiß nicht ...
- 491 **IA:** Genau.
- 492 **S5:** ... aber ich kann das jetzt nicht erklären (lacht).
- 493 **IA:** Keine Idee?
- 494 **S5:** Nein eigentlich nicht.
- 495 **IA:** Ok.
- 496 **S5:** Also.
- 497 **IA:** Na passt. Na kann man ja nix machen. Das ist ja nix. Wir wollen ja herausfinden
498 was du dir gemerkt hast und wie du's dir gemerkt hast und was du dir dabei
499 vorstellst wie gesagt. Wichtig ist für uns ...
- 500 **S5:** Ja.
- 501 **IA:** ... dass du immer wieder erklärst was dein Idee davon ist ...
- 502 **S5:** Ok.
- 503 **IA:** ... Okay. Gut wir sind jetzt bei. Gut. Ok. Jetzt haben wir mal dieses Experiment
504 abgeschlossen. Jetzt wollen wir auf der nächsten Seite, blätterst du kurz um. Wart
505 da machen wir mal Platz (Aufräumgeräusche). Kurz über, über Wasserwellen
506 sprechen.
- 507 **S5:** Ok.
- 508 **IA:** Weil das für die Zeichnung einfacher ist. Aber es gilt dasselbe wie bei den Licht-
509 quellen. Die Abbildung zeigt kohärente Wasserwellenquellen, also Wellenquellen
510 jetzt. Ah. Warum ist das jetzt? Noch einmal warum ist das jetzt wichtig, dass
511 sie kohärent sind?
- 512 **S5:** Was ist kohärent nochmal?
- 513 **IA:** Das sie die gleiche Wellenlänge haben.
- 514 **S5:** Also die gleiche. Na ja, weil, wenn's, damit sie, also ich weiß nicht, vielleicht
515 weil, sie kommen jetzt von zwei verschiedenen Seiten, oder? Also einmal von da
516 und einmal ...

- 517 **IA:**Nein. Einmal von da und einmal von da die schwarzen Punkte sind die Quellen.
518 **S5:** Aso. Und gehen die jetzt auseinander, oder kommen sie aufeinander zu.
519 **IA:**Na. Das ist eine Quelle halt. Da, da gehen Wellen weg.
520 **S5:** Also ich glaube wenn sie gleich sind, dann können sie quasi zusammen-fließen.
521 Wenn das jetzt wirklich Wellen verwenden. Und wenn sie verschieden sind dann
522 würden sie ja nicht zusammen, also dann hätten sie ja nicht in eine Welle
523 weiterfließen, quasi. So hätte ich das verstanden.
524 **IA:**Uhm. Gut. Jetzt zeigt diese Abbildung eben wie es beschriftet ist. Zwei Lambda
525 ist der Abstand zwischen den zwei Quellen.
526 **S5:** Ok.
527 **IA:** Was glaubst du ist im Punkt B ein Maximum oder ein Minimum?
528 **S5:** Ähm. Im Punkt B.
529 **IA:** Der Punkt B ist jetzt genau in der Mitte zwischen den zwei Quellen.
530 **S5:** Zwischen den zwei Quellen. Meinen sie jetzt einfach wie das ausschauen würde?
531 Also oder.
532 **IA:** Na ist da. Ja. Also. So wie wir vorher gesagt haben. Da sind ja auch Maxima
533 und Minima a. Verschieden gewesen.
534 **S5:** Ach so. Ich glaube in der Mitte wäre in dem Fall ein Minimum vielleicht, weil
535 wenn die Wellen zusammen, dann muss es ja irgend, oder, ja ich glaube es wäre
536 ein Minimum.
537 **IA:** Ok.
538 **S5:** Ja, Ein Minimum.
539 **IA:** Gut. Und jetzt ist dieser Punkt A 10 Lambda von diesen zwei Quellen entfernt.
540 Wird da ein Maximum oder ein Minimum sein?
541 **S5:** Ähm. Also da ist jetzt eine. Also da sind jetzt zwei Wellen. Also die Wellenlänge
542 ist zwei.
543 **IA:** Nein, nein. Die Wellenlänge. Die zwei sind zwei Wellenlängen auseinander. Die
544 Wellenlänge ist Eins.
545 **S5:** Ach so. Ok. Die sind zwei Wellenlängen auseinander.
546 **IA:** Die sind zwei Wellenlängen auseinander. Genau.
547 **S5:** Ok. Und hier sind sie jetzt 10 Wellenlängen auseinander.
548 **IA:** Un der Punkt ist jetzt 10 Wellenlängen weg. Da ist keine Quelle mehr sondern
549 das ist ein Punkt wo's auftrifft.
550 **S5:** Ach so. Ok. Das ich weiß nicht. Ich weiß nicht wie man das überhaupt sagen
551 könnte. Weil. Das müsste man einfach schauen oder wie das aufgezeichnet wäre
552 (unverständlich)
553 **IA:** Und äh dieser Gangunterschied zwischen den Wellen der hilft dir da jetzt gar
554 nicht, oder?
555 **S5:** Nein eigentlich nicht.
556 **IA:** Okay. Ein Tipp einfach.

- 557 **S5:** Ähm ich würde ich weiß nicht weil's ein Minimum ist ich denke das es hier
558 vielleicht ein Maximum ist. Nein keine Ahnung ich (lacht) rate jetzt.
- 559 **IA:** Ok. Das heißt es hilft die auch nix wenn ich dir beim nächsten Beispiel sag dass
560 da drei Halbe Lambda da Abstand zwischen den zwei Quellen ist.
- 561 **S5:** Nein.
- 562 **IA:** Ob sich da jetzt was ändert und wo ein Maximum und wo ein Minimum is?
- 563 **S5:** Nein (lacht). Nein, eigentlich nicht.
- 564 **IA:** Ok. Also und dann. Da ist jetzt wieder. Da haben wir diese zwei Quellen und da
565 ist der Schirm. Wie kannst du da jetzt feststellen ob irgendwo auf dem Punkt
566 hast du da eine Idee. Du hast mir vorher schon versucht zu erklären mit dem
567 Winkel das.
- 568 **S5:** Aso. Soll das das soll jetzt nicht den Winkel darstellen, dass soll den Abstand
569 zwischen den Wellen darstellen.
- 570 **IA:** Zwischen den Quellen darstellen. Genau.
- 571 **S5:** Ja. Aber meine Sie wenn. Kann ich hier jetzt kurz zeichnen?
- 572 **IA:** Ja dafür ist der Platz da.
- 573 **S5:** Wenn, also wenn ich jetzt ähm.
- 574 **IA:** Oder zeichnen wir's auf die andere Seite da haben wir viel mehr Platz. Bevor
575 ma uns nicht verkennen.
- 576 **S5:** We, also wenn wir jetzt also haben das mit den drei Halben. Meinen si e dass
577 ist der Abstand hier wo dann die Wellen sind.
- 578 **IA:** Genau, das ist der Abstand.
- 579 **S5:** Ach so ja doch das kann man ja schon ausrechnen. Also ausrechnen. Das könnte
580 man sagen in dem Fall je nach dem wie weit der Abstand ist. Ich weiß jetzt nicht
581 die Formel. Es gibt sicher eine Formel, aber ich kenn die Formel nicht.
- 582 **IA:** Ummm (zustimmend).
- 583 **S5:** Aber je nachdem wie die Formel ist dann kann man ja sagen um wie viele
584 Wellenbreiten das weg ist, das ist, also man könnte sich ausrechnen wenn man
585 die Angaben hat, ähm je nach dem ob ein Maximum oder ein Minimum ist. Wo
586 es dann wenn's denn ankommt. Ich wüsste aber nicht wie, also ich kenn die
587 Formel nicht.
- 588 **IA:** Okay.
- 589 **S5:** Aber ja. Dann kann ma das eh. Weil ich dachte. Ich dachte sie meinen einfach
590 zuerst also quasi dann ist der Abstand da und dann geht's hier weiter.
- 591 **IA:** Ach so. Nein, nein, nein, dass sind zwei Quellen einfach und die senden Wellen
592 aus ...
- 593 **S5:** Ok. Ja.
- 594 **IA:** ... und zwar kohärente, also gleich, gleiche Wellen.
- 595 **S5:** Ja also wenn das eben normal aufeinander liegt, also wenn jetzt hier das ist und
596 dann geht's hier runter. Dann kann man sich ja ausrechnen, weil das ist ja mehr
597 und das weniger und dann könnte man sich das glaube ich ausrechnen irgendwie.

- 598 **IA:** Das könntest du da hinzeichnen. Also da ist die eine Quelle und da ist die andere
599 Quelle.
- 600 **S5:** Aber ich versteh nicht. Die Quellen. Sollte das nicht rauf. Also ich hätte das so
601 jetzt gezeichnet.
- 602 **IA:** Ja.
- 603 **S5:** Was sind diese Punkte in dem Fall?
- 604 **IA:** Das sind die Quellen. Von da gehen die Wellen aus.
- 605 **S5:** Also quasi da geht's jetzt so weiter.
- 606 **IA:** Genau.
- 607 **S5:** Ach so. Ok. Ok. Und das wär so.
- 608 **IA:** Jaaa.
- 609 **S5:** Wenn das jetzt gleichmäßig wäre und dann wäre das eben . . normal, also .
610 eigentlich so . , oder? Ich glaube das wäre so. Und da sind eben mehr und da
611 weniger.
- 612 **IA:** Ok.
- 613 **S5:** Und das ja könnte man sich wahrscheinlich irgendwie ausrechnen glaube ich
614 (lacht).
- 615 **IA:** Ja. Das ist fast der Gangunterschied, aber (lacht)
- 616 **S5:** Ok (lacht).
- 617 **IA:** Noch nicht ganz. Gut. Aber also wie gesagt, du hast eh gesagt. Eine Bedingung
618 weißt du jetzt nicht . was d - wie man da herausfinden kann ob da jetzt ein
619 Maximum, ein Minimum, ein Maximum, ein Minimum ist.
- 620 **S5:** Nein. Das wüsste ich jetzt nicht. Also na ja außer eben das mit der konstruktiven
621 und destruktiven je nach dem, also wenn das jetzt zum Beispiel aufeinander, das
622 wär zum Beispiel destruktiv und wenn das aber so raufgehen würde wäre das
623 konstruktiv und das könnte man sich dann irgendwie - aber ich wüsste nicht
624 wie, also ich wüsste nicht mit welcher Formel - da gibt's sicher eine Formel aber
625 ich wüsste nicht wie genau also ich könnte die Formel jetzt auch nicht herstellen
626 und mit dem was ich weiß.
- 627 **IA:** Ok. Na. Sehr gut. Wie gesagt wir wollen ja herausfinden was du dir drunter
628 vorstellst ...
- 629 **S5:** Ja.
- 630 **IA:** ... und wie du dir da helfen kannst quasi. Gut. Dann kommen wir zum nächsten
631 Experiment. Wir haben da so einen Spalt und wieder einen Laser (hantiert mit
632 Geräten). So. Und dann haben wir mal als erstes einen Abstand von 2,5. Das ist
633 a Spalt der ist variabel. Jetzt ist er bei 2,5 und den kann man dann enger oder
634 weiter machen. Wir werden in dann enger machen.
- 635 **S5:** Ok.
- 636 **IA:** Jetzt ist er bei 2,5 Millimeter. Was erwartest du was passiert?
- 637 **S5:** Ist es jetzt wieder dasselbe nur das es ein Spalt ist?
- 638 **IA:** Das ist jetzt ein Spalt. Genau.

- 639 **S5:** Also.
- 640 **IA:** Aber nur ein Spalt. Kein Doppelspalt mehr.
- 641 **S5:** Kein Doppelspalt mehr. Dann . . dann gehen jetzt mehr Wellen durch glaub ich.
- 642 **IA:** Ok.
- 643 **S5:** Weil beim Doppelspalt gibt's ja nur zwei kleine Öffnungen und bei einem das
644 ist jetzt ein größerer auch noch.
- 645 **IA:** Genau.
- 646 **S5:** Also schätzte ich mal. Ja.
- 647 **IA:** Also was erwartest du was da jetzt rauskommt am Schirm?
- 648 **S5:** Ahm - das - ich erwarte mir, dass jetzt . . na ja es gibt mehr das heißt es könnten
649 auch wieder mehr wegfallen. Dann sollte es glaub ich so ausschauen. Ich glaube
650 dann ist es wieder weiter auseinander (zeichnet 5s).
- 651 **IA:** Ok. Gut. So vorsicht nur, das ma da nicht. So. So. Ok.
- 652 **S5:** Können wir diese Lupe wieder machen?
- 653 **IA:** Ja. Wir nehmen wieder die Lupe. Sehr gerne wenn ich's find nur. (Pause 5s)
654 Also.
- 655 **S5:** Das ist ja dann nur ein Fleck. Also quasi dann gibt's nur das Maximum.
- 656 **IA:** Weil?
- 657 **S5:** Weeeiiil, ich schätze mal alle anderen lösen sich weg.
- 658 **IA:** Der Strahl passt ganz durch.
- 659 **S5:** Ach so. Ok. Ach so. Ja gut. Macht Sinn.
- 660 **IA:** Ok.
- 661 **S5:** Ok.
- 662 **IA:** Also zeichnest du da hin was du da herausbekommen hast.
- 663 **S5:** Das war's.
- 664 **IA:** Gut. Jetzt machen wir den Spalt enger.
- 665 **S5:** Ok.
- 666 **IA:** Und zwar auf 0,3 Millimeter. Ich dreh wieder ab dazwischen.
- 667 **S5:** Aso. Das was davor war ist das der Strahl sich so auseinadergee - das selbst in
668 die mehreren also das ganze ist im Grunde genommen bei dem ersten ...
- 669 **IA:** Ja.
- 670 **S5:** ... auch ein Spalt gewesen nur . sind sie aufgeteilt gewesen . . der einen Strahl.
- 671 **IA:** Genau. Das waren zwei Spalten. Nein, nein, das waren zwei Spalten. Aber der
672 eine Strahl wurde aufgeteilt in diese zwei Spalten.
- 673 **S5:** Genau. Ja. Genau.
- 674 **IA:** Jetzt ist's nur mehr ein Spalt.
- 675 **S5:** Ok. Ja. Ok. Und jetzt ...
- 676 **IA:** Jetzt mach ich ohn so eng, der quasi in die Nähe der Wellenlänge kommt, auf 0,3

- 677 Millimeter den Abstand. Was kann da passieren? Oder wird da was passieren?
678 Wird sich was ändern?
- 679 **S5:** Also ich weiß aber nicht ob der Wellenstrahl - ob das jetzt ganz durchgeht, oder
680 schon?
- 681 **IA:** Nein, nein, der geht jetzt nicht mehr ganz durch.
- 682 **S5:** Nicht mehr ganz durch. Dann glaub ich wird das sich wieder au . obwohl dann
683 sollte es glaub ich nur kleiner werden, oder?
- 684 **IA:** Ok.
- 685 **S5:** Also dasselbe nur schmaler.
- 686 **IA:** Uhm.
- 687 **S5:** Glaub ich hier.
- 688 **IA:** Ok. Also weniger Intensiv wahrscheinlich.
- 689 **S5:** Uhm.
- 690 **IA:** Oder, schmaler. Gut. Wir stellen das mal auf die 0,3 und dann schauen wir uns
691 an was ich sehe und was da rauskommt.
- 692 **S5:** Ach so. Nein. Ok.
- 693 **IA:** Ok.
- 694 **S5:** Nein. Doch nicht. Das ist wieder - ist eigentlich wie am Anfang weil am Anfang
695 ist es groß und dann wird's wieder kleiner und kleiner und kleiner.
- 696 **IA:** Ok. Und jetzt schauen wir nur, dass du einen Unterschied zu vorher (undefinier-
697 bare Geräusche) Das da jetzt in der Mitte keine Interferenzmuster sind, sondern
698 das ist jetzt das Beugungsmuster. Ok. Siehst du den Unterschied. Vorher in der
699 Mitte war der Rote noch unterteilt, der große ...
- 700 **S5:** Ja.
- 701 **IA:** ... das ist jetzt nicht mehr.
- 702 **S5:** Ja.
- 703 **IA:** Ok.
- 704 **S5:** Also ist das eigentlich sehr groß (zeichnet 10 s). Ok.
- 705 **IA:** Weißt du was da jetzt der Effekt ist?
- 706 **S5:** Also ich schätze mal, dadurch, der Strahl ist ja größer als der Spalt und dann .
707 auf der an . also . vorne geht's ja gleich durch aber hinten spaltet sich dann auf
708 weil das eben.
- 709 **IA:** Kannst du das da vielleicht hinskizzieren was du mir versuchst zu erklären. Wart
710 ich dreh wieder ab. Damit dann nicht.
- 711 **S5:** Ähm. Also wenn das der Spalt ist. und der ist schmaler als davor.
- 712 **IA:** Uhm.
- 713 **S5:** Dann gehts's hier rein.
- 714 **IA:** Ja.
- 715 **S5:** Dann geht's auseinander einfach.

- 716 **IA:** Aber warum geht's auseinander?
- 717 **S5:** Weil . . . es muss ja irgendwie den Platz bekommen rauszukommen, aber . es hat
718 nicht genug Platz im Spalt, weil der Spalt zu schmal ist und es sollte eigentlich
719 so irgendwie sein und deshalb bricht das dann quasi ab.
- 720 **IA:** Was verstehst du unter abbrechen?
- 721 **S5:** Äh (lacht). Ok (lacht). Ich aso ich schätze mal einfach das . ich kann das nicht
722 erklären. Einfach das es, es will durch aber es kann nicht durch. Also quasi wenn
723 man einen Strahl zerquetschen würde. Das ist ja so wie wenn man, wenn ich
724 jetzt meine Hand also einquetschen würde, dann . also wenn das jetzt irgendwas
725 wäre was man teilen kann und das geht durch und dann quetsche ich es aber
726 und dann geht's auseinander. Verstehen sie was ich (lacht)
- 727 **IA:** Ja.
- 728 **S5:** Und so ist es eben im Strahl auch. Und die Teilchen werden eben quasi zusam-
729 mangedrückt und damit gehen sie auseinander weil . Bewegung.
- 730 **IA:** Ok. Jetzt sind's Teilchen.
- 731 **S5:** Ja. Jetzt sind's Teilchen genau. Aber es ist ja nur ein Strahl, aber es sind ja
732 mehrere Wellen im Strahl.
- 733 **IA:** Ok. Na ja.
- 734 **S5:** Und deshalb, oder. Also ich glaube es sind mehrere Wellen in einem Strahl
735 drinnen und wenn man das wenn dann der Strahl weniger wird das sie dann
736 dann lösen sie sich auseinander, also dann gehen sie auseinander.
- 737 **IA:** Okay. Und gibt's da eine Regel dafür? Fallt dir da was ein? Hast du da irgendwie?
- 738 **S5:** Ähm. Nicht wirklich, also nein.
- 739 **IA:** Auch nicht Ok. Na. Macht ja nix. Gut. Ich glaub wenn ich mich richtig erinnere
740 müssten wir jetzt einen grünen Laser verwenden, aber ich schau nochmal nach
741 sicherheitshalber (blättert). Ah ja. Was erwartest du wenn ich jetzt den Spalt
742 den noch enger mach diesen Spalt?
- 743 **S5:** Das es dann noch weiter auseinander geht.
- 744 **IA:** Das es dann noch weiter auseinander geht? Ok.
- 745 **S5:** Ja. quasi. Ja.
- 746 **IA:** Ok. Ich probier das mal, ich versuch das mal ein bisserl enger zu stellen noch.
747 Soooo. Dann schauen wir mal was da rauskommt. Ok.
- 748 **S5:** Ja.
- 749 **IA:** Noch a bissi enger vielleicht. Es geht noch a Stücki. So. Ok. Bemerkest, was
750 erkennst du da?
- 751 **S5:** Es wird eigentlich, es wird nicht schmaler in dem Sinne, es wird ein also das
752 mittlere wird immer größer, also ...
- 753 **IA:** Ok.
- 754 **S5:** ... es wird quasi immer so.
- 755 **IA:** Da schau schreibs da her bitte.
- 756 **S5:** Aso. So.

- 757 **IA:** Also das man dann da, also da musst du es herzeichnen. Du hast die Erwartung
758 nicht, dass hab ich vergessen.
- 759 **S5:** Also quasi es wird immer, statt das es kleiner wird, wird's immer weiter auseinander.
760
- 761 **IA:** Ok. Und was hättest du vorher erwartet kannst du dich noch erinnern?
- 762 **S5:** Also das es schmaler wird, das es quasi .
- 763 **IA:** Ok. Zeig's. Nochmal. Genau.
- 764 **S5:** Also näher also näher beieinander einfach.
- 765 **IA:** Ok. Also eigentlich genau das Gegenteil von dem was du erwartet hast.
- 766 **S5:** Genau also es wird weiter auseinander, aber ich hätte nicht gedacht, dass das
767 jetzt länger wird. Ich hätte eher gedacht, dass das es gleich bleibt und das es
768 nicht aso.
- 769 **IA:** Ok. Das heißt aber wir kommen jetzt immer näher in die Nähe der Wellenlänge.
770 Jetzt sind wir so ungefähr bei 0,2 Millimeter, vorher war's 0,3 Millimeter.
- 771 **S5:** Ok. Ok.
- 772 **IA:** Und das Licht hat ja ungefähr a Wellenlänge von 600 Nanometer.
- 773 **S5:** Ja. Ok.
- 774 **IA:** Das heißt, was wird passieren wenn man da jetzt noch schmaler werden.
- 775 **S5:** Dann wird's immer weiter und ich weiß nicht ich soll ich das hier zeichnen oder
- 776 **IA:** Wart einmal. Muss ich selber nachschauen.
- 777 **S5:** Ich glaub, dass es einfach quasi das dieser dieser mittlere Teil einfach immer
778 länger wird. Also, dass das immer länger wird bis dann nur noch ...
- 779 **IA:** Uhm.
- 780 **S5:** ... ein so ein Streifen zu sehen ist, quasi.
- 781 **IA:** Gut und was ist dann wenn ein so ein Streifen zu sehen ist, wie schmal ist's
782 dann da.
- 783 **S5:** So groß wie die Wellenlänge, also so groß wie die Wellenlänge ist.
- 784 **IA:** Ok. Und was ist wenn man noch schmaler werden.
- 785 **S5:** Dann wird es glaub ich, dann geht's ja gar nicht mehr durch oder?
- 786 **IA:** Na es wird schon noch was durchkommen.
- 787 **S5:** Dann wahrscheinlich nur noch Teile, dann wird's wahrscheinlich so sein, dass es
788 umso dünner wird. Also quasi obwohl, ja nein oh ja es wird dann noch dünner
789 werden uh (lacht) statt
- 790 **IA:** Zeichnest es da auf die andere Seite vielleicht hin, weil das.
- 791 **S5:** Wenn das noch also wenn das noch dünner wird jetzt?
- 792 **IA:** Genau.
- 793 **S5:** Also das eine war das es so lang wird also
- 794 **IA:** Ja. Das ist das was du gesagt hast, das ist wenn's ziemlich genau die Wellenlänge
795 erreicht hat. Und wenn's jetzt noch kleiner wird.

- 796 **S5:** Genau. Und wenn's jetzt noch kleiner wird eigentlich das . dann . ich glaub,
797 nein, ich glaube es wird länger bleiben, aber ich glaube, das generell also diese
798 Länge hier wird dünner werden.
- 799 **IA:** Uhm. Ok. Aber es kommt noch immer Licht durch auch wenn's kleiner als die
800 Wellenlänge ist, der Spalt.
- 801 **S5:** Ja, ich glaub schon, weil es gehen ja ein paar durch, ein paar Wellenlängen
802 gehen durch. Nicht alle aber . glaub ich.
- 803 **IA:** Es hat nur eine Wellenlänge in Wahrheit, das ist ja ein Laserlicht.
- 804 **S5:** Es hat nur eine Wellenlänge. Es ist nur eine Welle, wie?
- 805 **IA:** Na ja. Ja. Nicht. Ja.
- 806 **S5:** Na. Gut.
- 807 **IA:** Viele Wellen, aber alle mit der gleichen Wellenlänge.
- 808 **S5:** Dann geht's ja eigentlich, dann geht's ja, sollte es gar nicht mehr durchgehen.
809 Also glaub ich. Nein dann geht's gar nicht durch. Dann ist es einfach. Geht's
810 nicht durch.
- 811 **IA:** Dann geht's nicht mehr durch?
- 812 **S5:** Nein.
- 813 **IA:** Ok. Gut. Ja. Sehr gut. So. Jetzt wechseln wir auf den grünen Laser.
- 814 **S5:** Ok.
- 815 **IA:** Wir stellen wieder auf die 0,3 Millimeter ein. So wie es vorher war. Erwartest
816 du? Was erwartest du was da jetzt zu sehen sein wird?
- 817 **S5:** Ich habe keine Erwartung, weil ich weiß nicht was für ein Unterschied das
818 machen soll ob es grün ist.
- 819 **IA:** Ok. Gar keine Erwartung?
- 820 **S5:** Nein. Also ..
- 821 **IA:** Also es bleibt gleich für dich.
- 822 **S5:** Ja. Gleich.
- 823 **IA:** Ok. Also es macht keinen Unterschied. Na dann schauen wir mal. Schauen wir
824 mal nach (hantiert mit Geräten). So. Ok. Das ist die Mitte.
- 825 **S5:** Ok. Also das ist jetzt eigentlich. Können wir die Lupe noch mal machen?
- 826 **IA:** Ja. Die Lupe können wir nochmal machen. Das ist das da. Ok.
- 827 **S5:** Das schaut eigentlich jetzt. Das ist eigentlich jetzt. Da ist jetzt in der Mitte
828 wieder nicht unterteilt.
- 829 **IA:** Genau.
- 830 **S5:** Und das geht wieder . es ist eigentlich wie am Anfang. So ähnlich, obwohl nein
831 am Anfang war's ja in der Mitte irgendwie unterteilt.
- 832 **IA:** Genau.
- 833 **S5:** Das ist einfach. Es gibt jetzt mehr also schmaler, nein, nein, nein.
- 834 **IA:** Aber merkst du einen Unterschied zum Roten, oder nicht?

- 835 **S5:** Nicht wirklich, ich meine es ist schmaler aneinander als bei dem, da war's
836 weiter auseinander. Da war wie wir die Lupe gemacht haben, haben wir nur drei
837 gesehen. Oder halt noch ein paar da.
- 838 **IA:** Die sind enger aneinander genau.
- 839 **S5:** Also das wäre dann wieder.
- 840 **IA:** Also das musst jetzt bei der Beobachtung. Du hast ja keine Erwartung gehabt.
- 841 **S5:** Ach so, ja, ja, ja. Das stimmt. Also so und dann eben enger beieinander.
- 842 **IA:** Hast du jetzt eine Idee warum das jetzt anders aussieht. Du hast ja erwartet
843 das es nicht anders aussieht.
- 844 **S5:** Ja und das ist enger aneinander geworden. Hm. Das heißt . . . ach so. Obwohl.
845 Ach so. Nein. Ok. Warte. Also beim ersten war das jetzt so, dass man nur das
846 eine quasi sehen konnte.
- 847 **IA:** Na das kann ich dir jetzt auch zeigen, dass würde auch passieren beim ersten
848 wenn der Spalt ganz groß ist ...
- 849 **S5:** Aso.
- 850 **IA:** ... kommt das ganze Licht durch.
- 851 **S5:** Jetzt war der Spalt war klein.
- 852 **IA:** Jetzt war der Spalt auf diesen 0,3 so wie's da war so wie's beim 3d war.
- 853 **S5:** Ich schätze mal das beim ähm die also die Welle hier größer ist als wie bei
854 dem anderen und wenn man jetzt es wieder, obwohl, ja oja. Deswegen passt
855 eben nicht so viel durch quasi. Beziehungsweise nicht alles, man kann nicht alles
856 sehen.
- 857 **IA:** Ok.
- 858 **S5:** Ja.
- 859 **IA:** Die Welle ist größer. Was meinst du damit?
- 860 **S5:** Die Welle ist gr, also halt, also weil bei dem konnte man ja jetzt als es klein
861 war, oder auch bei dem.
- 862 **IA:** Uhm.
- 863 **S5:** Ähm. Ach so na ja bei dem konnte man ja mehr von der Welle sehen. Also desto
864 kleiner der Abstand wurde also desto mehr der Abstand wurde wie der Abstand,
865 also wie die Größe von der Welle ist. Äh, desto länger hat sich das gezogen . und
866 bei dem ist es jetzt nicht der Fall also wenn das jetzt noch kleiner wird, dann
867 kann man wieder mehr sehen. Also.
- 868 **IA:** Ja. Dann wird's sa sich wieder verbreitern.
- 869 **S5:** Ja.
- 870 **IA:** Aber was ist jetzt der Unterschied zwischen dem Roten und dem Grünen? Das
871 will ich herausarbeiten.
- 872 **S5:** Ich glaube, dass die Welle, also die Wellenlänge größer ist.
- 873 **IA:** Ja. Umgekehrt. Die Wellenlänge ist kleiner beim Grünen ...
- 874 **S5:** Ach so. Ok.

- 875 **IA:**... als beim Roten.
- 876 **S5:** Ok. Ok. Ja. Ja. Macht eh Sinn. Ja.
- 877 **IA:** Also haben wir jetzt . wovon hängt's ab?
- 878 **S5:** Von der Wellenlänge (lacht).
- 879 **IA:** (lacht) Haben wir jetzt herausgefunden. Ist doch gut, dass wir ein Experiment
880 gemacht haben.
- 881 **S5:** Ja.
- 882 **IA:** Sehr gut. So. Da sind ma jetzt . und dann sind wir schon beim optischen Gitter.
883 Sagt dir ein optisches Gitter was?
- 884 **S5:** Ein optisches Gitter.
- 885 **IA:** Ich zeig dir mal Eines. Die müsste da liegen. Schau wir werden einmal das mit 80
886 Linien pro Millimeter nehmen. Hast du schon mal von optischen Gitter gehört?
- 887 **S5:** Nein hab ich nicht. Nein.
- 888 **IA:** Ok.
- 889 **S5:** Aber ich schätz einmal das ist wieder irgendwas wo ein Licht durchgeht, oder
890 nicht, oder, je nachdem von der Länge von dem Gitter, oder so. Oder ist es so
891 ähnlich wie bei den Filtern jetzt? Also ich . also weil das schaut so ähnlich aus
892 nur halt ohne den Linien.
- 893 **IA:** Ok. Ah. Na ja das werden wir jetzt herausfinden, nicht. Also du . hast jetzt .
894 hast du irgend eine Vorstellung was passieren könnte. Das sind jetzt ganz viele
895 Spalten.
- 896 **S5:** Da drinnen.
- 897 **IA:** Genau.
- 898 **S5:** Das ist viele Spalten, dass heißt, ok (unverständlich) ähm . . wenn da jetzt viele
899 Spalten sind sollt es ja (denkt 10 s) hmm, quasi, hmm, wieder mehr Maxima
900 und Minima geben, also mehr Interferenz.
- 901 **IA:** Ok.
- 902 **S5:** Weil, da gibt's mehr Möglichkeiten dafür.
- 903 **IA:** Ok. Zeichnest du da hin was du da jetzt erwartest.
- 904 **S5:** Also, meinen sie jetzt wieder diese, also ich hätte jetzt wenn ich so, aso . . wenn
905 von der Welle her hätte ich gedacht, dass es quasi so sein wird, dass es eben
906 mehr geben wird, viel mehr.
- 907 **IA:** Uhm.
- 908 **S5:** Also das soll gleich sein übrigens.
- 909 **IA:** Ja, ja. Ok.
- 910 **S5:** Also halt und vielleicht hier oben fängt's schon an.
- 911 **IA:** Also es ist da wieder so ein Laserpunkt, dass heißt es werden wieder .
- 912 **S5:** Aso. Ja. Viel, viele, wieder. Also, so, so, so, so.
- 913 **IA:** Ok. Dann probier ma's doch einfach aus. (Pause 7s) Das ist der Rote. Vorsicht.
914 Kommst du nur ganz nahe da zu mir weil . . So jetzt müss ma noch durchtreffen.

915 (pause 10 s) Soda.

916 **S5:** Ok.

917 **IA:** Ok. Tschuldige, tschuldige, da müsst die Mitte sein, nein da müsst die Mitte
918 sein eigentlich.

919 **S5:** Das ist jetzt eigentlich genau das Gegenteil von dem was ich .

920 **IA:** Ok. Zeichnest du das auf und hast du eine Idee warum das so sein könnte?

921 **S5:** Ähm . Ok. Also es sind mehr Spalten, dass heißt also . ich schätz einmal das es
922 bei manchen Spalten nicht durchgeht und nur bei ein paaren und das ist eben
923 dann weiter auseinander weil es da viel mehr Möglichkeiten gibt. Also, quasi,
924 dass es war jetzt so. Ich dachte das wird enger beieinander sein stattdessen
925 war das jetzt so, dass . . es viel weiter auseinander ist. Also dann würde das
926 irgendwie so ausschauen, also (zeichnet 7 s) Das soll wieder gleichmäßig sein,
927 aber wurscht.

928 **IA:** Uhm.

929 **S5:** Ja. Also . durch. Also es gibt jetzt mehrere Spalten und quasi bei dem mittleren
930 Spalt in der Mitte ähm geht das durch und bei vielen anderen wieder nicht und
931 erst dann später wieder. Also es geht nicht bei allen Spalten hm gescheit durch.

932 **IA:** Ok.

933 **S5:** (lacht)

934 **IA:** Da sind auf einem Millimeter 80 Linien.

935 **S5:** Ja, und.

936 **IA:** Und du glaubst, dass da nicht durch alle Spalten was durchgeht?

937 **S5:** Halt ich glaub, dass ähm dass ich das wieder destruktiv ist die Interferenz,
938 dass sich die dann auslöschen wieder weil das eben so viele sind, weil die in
939 verschiedene Richtungen gehen und we desto mehr es wird desto mehr werden
940 irgendwie weggehen.

941 **IA:** Ok. Dann haben wir jetzt ein Gitter mit 300 Linien pro Millimeter.

942 **S5:** Ok, das heißt es wird glaub ich noch mehr auseinander sein.

943 **IA:** Gut. Willst du das ...

944 **S5:** Aber jetzt von dem her also wahrscheinlich . ok wenn das soweit auseinander
945 war, dann wird das hier sein und das hier irgendwo und das Andere hier.

946 **IA:** Ja. Dann schauen wir mal, ob das auch so ist. Kommst du wieder an meine
947 Seite weil, das ist immer a bisserl heikel. Gut . . ja und da siehst du schon ...

948 **S5:** Ach so. Ok.

949 **IA:** ... ok die sind wirklich du hast es richtig. Die sind wirklich soweit auseinander.
950 Ok.

951 **S5:** Ok. Ja. Also soll ich einfach dasselbe hier wieder hinzeichnen, oder?

952 **IA:** Genau, dass ist eigentlich was du erwartet hast oder? Sehr gut.

953 **S5:** (zeichnet 9 s)

954 **IA:** Gut. Jetzt würde ich wieder das 80 Linien pro Millimeter damit wir mehr sehen,
955 weil da haben wir ja nur einen Punkt jetzt wirklich gscheit gsehen - reingeben

- 956 und den grünen Laser verwenden.
- 957 **S5:** Ok (lacht). Gut.
- 958 **IA:** Was wird passieren? Wird was passieren? Wird was ändern, wenn ja warum
959 und wenn nein warum nicht?
- 960 **S5:** Ähm. Ok. Das mit dem grünen war jetzt die Wellenl - kann ich kurz zurückblättern?
- 961 **IA:** Ja, natürlich. (Umbaugeräusche)
- 962 **S5:** (blättert) Also ich glaub es wird so ähnlich sein. Hm. Also mit welchen Abstand,
963 also eh mit der 80 wieder.
- 964 **IA:** Wieder mit der 80 Millimeter also mit dem ersten was wir da gesehen haben.
- 965 **S5:** Ich glaube es wird so ähnlich sein nur vielleicht noch ein bisschen enger zusammen
966 weil das eben jetzt wieder eine größere Wellenlänge ist.
- 967 **IA:** Ok.
- 968 **S5:** Also. Immer noch mit einem großen Abstand aber nicht so sehr der Abstand
969 wie bei dem.
- 970 **IA:** (Pause 5 s) Ok. Dann schauen wir mal nach. (Pause 10 s) So. Ist es das was du
971 erwartet hast?
- 972 **S5:** Ja. aber sind da dazwischen noch immer noch mehr Wellen, oder sehe ich das
973 falsch? Also zwischen den deutlichen grünen Punkten.
- 974 **IA:** Da könnte was da. Ja ein bisserl was ist da schon dazwischen glaub ich. Schaun
975 ma . . das durch die Lupe, aber wenn man so schaut sieht man's besser glaub
976 ich. Also man sieht schon
- 977 **S5:** Also. Eh so wie ich es gedacht hab, aber ich hab das Gefühl dazwischen ist auch
978 noch was.
- 979 **IA:** Uhm. Na dann.
- 980 **S5:** Also ich hab das Gefühl . also.
- 981 **IA:** Na dann . skizzierst du das hin.
- 982 **S5:** Also quasi
- 983 **IA:** Wart geht schon wieder.
- 984 **S5:** Also quasi, das ist jetzt so wie bei dem. (zeichnet 7 s) Ich würd da aber ganz
985 kleine
- 986 **IA:** Ja.
- 987 **S5:** Und ich glaub, das würde dann so ausschauen wie . Maximum, Maximum,
988 Maximum und da sind's lauter kleine Maximum's (zeichnet 5 s). So stell ich mir
989 das vor.
- 990 **IA:** Ok. (Umbaugeräusche 5 s) Und hast du jetzt eine Erklärung warum das jetzt
991 anders ist als beim And, als beim
- 992 **S5:** Weil die Wellenlänge wieder größer ist.
- 993 **IA:** Ok. Gut. So warte jetzt muss ich noch das einbauen. So jetzt woll'n ma . mit
994 der Taschenlampe, also mit weißem Licht durch die, auf dieses Gitter leuchten.
- 995 **S5:** Ok.

- 996 **IA:** Was erwartest du was da passiert?
- 997 **S5:** Mit einer Taschenlampe?
- 998 **IA:** Ja. Wart ich zeig dir mal wie es jetzt aussieht wenn ich, wenn ich noch kein
999 Gitter drinnen hab. Genau. So. Wart einmal. Dass wir das schön abbilden können.
1000 Wart einmal, dass ist,
- 1001 **S5:** Ist das die Mitte?
- 1002 **IA:** Ja genau. Das ist die Mitte. Ok.
- 1003 **S5:** Ähm. Das ist jetzt ohne dem Filter?
- 1004 **IA:** Das ist jetzt ohne dem Gitter.
- 1005 **S5:** Ohne dem Gitter, genau.
- 1006 **IA:** Und was erwartest du, was jetzt mit dem Gitter passiert?
- 1007 **S5:** Ja. Also einfach . dass es also Erstens das ist jetzt länger geworden.
- 1008 **IA:** Uhm.
- 1009 **S5:** Ich mein Ok.
- 1010 **IA:** Das ist weil die Quelle viel breiter ist. Das ist klar.
- 1011 **S5:** Und ich glaub es wird dann . welches Gitter geben wir jetzt rein?
- 1012 **IA:** Das 80-Linien-Gitter.
- 1013 **S5:** Das 80-Linien-Gitter, dann gaub ich wird's . so ein (zeichnet 5s).
- 1014 **IA:** Kann dir das vorige helfen dabei?
- 1015 **S5:** Ich glaub es ist weil das jetzt ein anderes Licht ist glaube ich wird das . enger
1016 beieinander sein als bei dem, weil das war ja auseinand, obwohl ja weil ich würd
1017 das als klein. Die Wellenlänge ist bei dem glaub ich kleiner.
- 1018 **IA:** Ok. Noch kleiner als das rote und das grüne Licht?
- 1019 **S5:** Ich glaub schon. Aber ich schätze nicht (lacht).
- 1020 **IA:** Was ist weißes Licht?
- 1021 **S5:** Ähm. Weißes Licht also weißes Licht jetzt von der Taschenlampe ist ja dann
1022 eigentlich . aso nein, weil das sollte schwächer sein. Obwohl, ja, nein, das ist ja
1023 schwächer, das ist ja nicht gefährlich. Das rote, zum Beispiel Laserlicht das ist
1024 ja schon . das ist gefährlich und ...
- 1025 **IA:** Uhm. Ok.
- 1026 **S5:** ... ok, dann ist das ein Blödsinn eigentlich was ich gemacht hab, also . dann.
- 1027 **IA:** Na lass das ruhig. Zeichne daneben.
- 1028 **S5:** Ach ja, also da daneben.
- 1029 **IA:** Nein, nein, drunter, also drunter vielleicht. Streich das durch einfach und
- 1030 **S5:** Ähm. Also, . . das ist dann . . auch wieder viel weiter auseinander und ich glaube
1031 auch nicht so stark, also viel schwächer.
- 1032 **IA:** Ok. Na dann schauen wir uns an was passiert. (Pause 10 s)
- 1033 **S5:** Ach so. Das ist eh nicht so weit auseinander. Nur sieht man Farben.

1034 **IA:** Uhm. Warum?

1035 **S5:** Weil. Der Filter das wahrscheinlich trennt . also beziehungsweise die Farben von
1036 dem weißen Licht werden dann auf dem angezeigt.

1037 **IA:** Ok.

1038 **S5:** Und wenn man jetzt wahrscheinlich das andere Gitter noch . also verkehrt
1039 hintun würde würde es wahrscheinlich wieder nicht so sein. Also ich glaub bei
1040 dem einen also äh das man eben, das . die einen Arten von Licht, also diese
1041 eine Art von anderen Licht von der ich geredet habe, dass das jetzt eben da
1042 durchkommt, aber in der Mitte dann wieder nicht. Das ist nur auf den Seiten .
1043 also . . ich.

1044 **IA:** Ok.

1045 **S5:** Ich werd

1046 **IA:** Kannst du das mal hinzeichnen was du jetzt da siehst?

1047 **S5:** Ja. Also es ist Erstens

1048 **IA:** Das ist ja die, du has es ja eh da.

1049 **S5:** Ja also es ist wieder enger beieinander.

1050 **IA:** Uhm.

1051 **S5:** Und . dass ist weiß aber soll ich das verwenden oder?

1052 **IA:** Gerne, ja.

1053 **S5:** Ähm. Die haben Farben.

1054 **IA:** Wart ich zeig's dir nochmal, Wart amal.

1055 **S5:** Regenbogenfarben, also blau. Ich zeichne es jetzt so, weil den Farben Blau,
1056 Grün,

1057 **IA:** Ok. Schaust du nochmal genau. Du zeichnest es jetzt anders als es ist.

1058 **S5:** Ach so sorry, da ist es nicht so andersrum. Blau, Grün, also das wird quasi, also
1059 das spaltet sich so auf in die Farben eigentlich.

1060 **IA:** Uhm.

1061 **S5:** Obwohl hier ist es dann eh wieder gleich, obwohl immer wie es also ja. Ah. Die
1062 anderen Farben.

1063 **IA:** Ach so. Tschuldige. Ich zeig's dir wieder.

1064 **S5:** Ah. Gelb.

1065 **IA:** Und dann noch Rot villeicht und dann.

1066 **S5:** (zeichnet 5 s)

1067 **IA:** Ok.

1068 **S5:** Und weiß geht mit den verschiedenen Farben.

1069 **IA:** Warum ist das jetzt so glaubst du, also was ist da?

1070 **S5:** Also im weißen Licht sind mehrere, also bei grünen, rot, war es vorher, dass nur
1071 Grün und Rot drinnen war und bei weißem Licht sind aber alle Farben drinnen
1072 und

1073 **IA:** Aber warum? Was sind die Farben?

1074 **S5:** Äh, die Sonnenlicht, also die Regenbogenfarben.

1075 **IA:** Ja.

1076 **S5:** Also halt aus diesen Farben kann man dann mehrere Farben machen.

1077 **IA:** Was ist der Unterschied bei den Farben? Das meine ich.

1078 **S5:** Der Unterschied zwischen den beiden meinen sie?

1079 **IA:** Nein, nein, nein, nein, zwischen Farben überhaupt, generell.

1080 **S5:** Ach so. Ähm. Ich weiß nicht.

1081 **IA:** Ok.

1082 **S5:** Ähm. also halt ich wollt nur sagen bei dem, dass es dann aufspaltet. Es ist nicht
1083 so, dass es dann in der gleichen Reihenfolge ist sondern, also eigentlich schon.
1084 Also zuerst Weiß und dann beide Seiten Blau und dann auf beide Seiten Grün,
1085 Gelb und Rot.

1086 **IA:** Ja.

1087 **S5:** Ja (lacht).

1088 **IA:** Ok. Passt. Dann sind ma fertig.

6.3.6 Interview 6

Interview mit Schüler 6 (8. Klasse Oberstufe) am 15.5.2018 im Schulversuchspraktikum (Boltzmannngasse 5, 1. Stock) statt. Der Schüler schätzt sich selbst mit Note 1-2 in Physik ein.

- 1 **IA:** Den Autofahrern wird empfohlen das ma Polarisationsbrillen verwendet anstatt
2 von normalen Sonnenbrillen. Kannst du dir vorstellen warum? Hast du eine
3 Ahnung warum?
- 4 **S6:** Ah. War das nicht so das Polarisationsbrillen eine bestimmte Richtung der
5 Wellenlänge aus, also quasi äh . einfach nicht durchlassen.
- 6 **IA:** Ok. Was verstehst du unter Richtung der Wellenlänge?
- 7 **S6:** Äh. Wie sie gelegen ist, also ob sie jetzt horizontal äh . horizontal oder waagrecht?
- 8 **IA:** Ja, vertikal, ja, oder waagrecht ist egal, ja.
- 9 **S6:** Vertikal, ah ist ...
- 10 **IA:** Ja.
- 11 **S6:** ... nur eine also eine bestimmte Richtung eben durchlässt. Also eine bestimmte
12 ...
- 13 **IA:** Was ist dann eine Welle überhaupt bei dir?
- 14 **S6:** Äh. . Ja eine Schwingung, ein Licht im Endeffekt.
- 15 **IA:** Uhm.
- 16 **S6:** Also . . Ja äh wie, wie was ist eine Welle?
- 17 **IA:** Äh. Ja warum was der Polarisation was die als Polarisation auslöst, oder was
18 das macht?
- 19 **S6:** Na ja. Es, es lässt halt. Also, das Licht strahlt ja Wellen, also das Licht bewegt
20 sich ja in Wellen ...
- 21 **IA:** Uhm.
- 22 **S6:** ... oder in Teilchen. Also, das kann ja beides sein.
- 23 **IA:** Uhm.
- 24 **S6:** Und äh, wenn ma sie als Welle sieht, dann lässt sie nur eine bestimmte Art, also
25 eine bestimmte Ausrichtung von Wellen durch. Und das ist zum Beispiel bei
26 Spiegelungen oder so werden dadurch einfach, äh, andere Spiegelungen werden
27 einfach dadurch halt ausgeblockt zum Beispiel.
- 28 **IA:** Ok. Und das ist jetzt bei der Polarisationsbrille zum Beispiel der Vorteil weil?
- 29 **S6:** Man zum Beispiel wenn eine Straßenbahn, eine Fahrbahn nass ist oder so, dann
30 sieht man die Spiegelung von der Sonne zum Beispiel nicht so stark und ja das
31 ist eben der Vorteil, dass man nicht geblendet ist von unten.
- 32 **IA:** Ok. Warum sieht man die Spiegelung nicht so stark?
- 33 **S6:** Weil ...
- 34 **IA:** Zieh ruhig den Pullover aus.
- 35 **S6:** ... wenn die, das Licht sich spiegelt im Wasser, das Wasser ist ja nicht komplett

- 36 ruhig und es wird vielleicht anders wieder anders weggehen, also es ist äh anders
37 auch vom Wasser als jetzt von der Straße, oder so und dabei kann's eben die
38 Richtung ändern.
- 39 **IA:** Was ist die Richtung? Auf das will ich eigentlich hinaus (lacht)
- 40 **S6:** Die, die ...
- 41 **IA:** Was stellst du dir unter Richtung vor?
- 42 **S6:** also quasi die Auslenkung welche , welche äh (Pause 5 s) im Endeffekt die
43 Auslenkung welche, äh, in der sich, also die Auslenkung der Welle im Endeffekt,
44 oder?
- 45 **IA:** Die Auslenkung mit womit, entschuldige?
- 46 **S6:** Mit der Welle.
- 47 **IA:** Mit der Welle. Ja. Aber. Ja. Ähm (lacht)
- 48 **S6:** Ähm (lacht).
- 49 **IA:** Na gut. So. Also du weißt worum es geht. Genau. Jetzt haben wir da zwei Folien.
- 50 **S6:** Uhm.
- 51 **IA:** Eine ist eine Polarisationsfolie, eine nicht. Da haben wir definitiv eine Polarisationsfolie.
52 Kannst du herausfinden welche von den beiden die Polarisationsfolie
53 ist?
- 54 **S6:** (Pause 7 s)
- 55 **IA:** Ok. sagst du mir nur was du da machst?
- 56 **S6:** Na im Endeffekt beide san also lassen nur eine bestimmte Art, also eine be-
57 stimmte Auslenkung von Licht durch und . wenn ich die jetzt übereinander leg
58 und drehe sollten sie schwarz werden, weil sie gar kein Licht durchlassen.
- 59 **IA:** Ok.
- 60 **S6:** Und (pause 5s) also eben hier wenn ich's dreh lässt es eben eine, eine Auslenkung
61 von Licht durch und wenn ich's so dreh lässt's gar nichts durch. Weil's halt ein
62 Gitter ist, dass nichts durchlässt.
- 63 **IA:** Ja.
- 64 **S6:** Also das dunkler.
- 65 **IA:** Aber wenn's ein Gitter ist das nichts durchlässt (lacht) warum kann ich wenn
66 ich dann durch eine durchschau, was durchsehen?
- 67 **S6:** Na weil, weil im Endeffekt sind's wie Gitterstäbe, so hab ich's mir immer
68 vorgestellt. Es sind wie Gitterstäbe, die nur eine, eine Richtung durchlassen. So
69 wie wenn ich die Hand durchstrecken kann und so geht's nicht durch.
- 70 **IA:** Okay.
- 71 **S6:** Und wenn ich jetzt aber nochmal Gitterstäbe hingeb die so verlaufen.
- 72 **IA:** Ja.
- 73 **S6:** Dann kann ich die Hand gar nicht durchstrecken.
- 74 **IA:** Ok. Du hast jetzt ein Kreuz gezeigt.
- 75 **S6:** Ja.

76 **IA:** Ok.

77 **S6:** Und so hab ich es mir vorgestellt, dass ich quasi einfach zwei Gitterstäbe
78 verschieden also in verschiedenen Richtungen hintereinander leg und dann also
79 nichts mit, also nichts mehr durch kann, also kein Licht quasi.

80 **IA:** Ok. Ausrichtung. Was verstehst du jetzt unter Ausrichtung? Das wollt ich
81 nochmal genau herausbekommen.

82 **S6:** Äh (pause 5 s) ahm wie die Welle sich im Bezug auf die x-Achse bewegt, also
83 ob sie senkrecht auf die x-Achse steht, oder waagrecht auf die x-Achse steht.

84 **IA:** Ok. Sehr gut. Passt. Dann haben wir noch ein Experiment vorbereitet. Und
85 zwar haben wir hier einen Doppelspalt.

86 **S6:** Ok.

87 **IA:** Wir nehmen zuerst einmal den ganz schmalen mit 0,15 mm. Kannst ruhig
88 anschauen wenn du möchtest und wir haben einen roten Laser.

89 **S6:** Ok.

90 **IA:** Die Frage ist was werden wir sehen wenn wir dort auf dem Schirm hinprojizieren.

91 **S6:** Messen wir durch welchen Spalt das durchgeht, oder nicht.

92 **IA:** Nein. Messen wir nicht.

93 **S6:** Dann werden wir ein Interferenzmuster sehen.

94 **IA:** Ok. Möchtest du deine Vermutung daher mal skizzieren, dass soll die Mitte
95 andeuten von diesem Schirm. Da hab ich auch so eine Linie gemacht auf diesem
96 Schirm.

97 **S6:** Bei 2a oder?

98 **IA:** Bei 2a genau.

99 **S6:** (zeichnet 10 s)

100 **IA:** Also ich zeig dir mal wie der Laser ausschaut wenn er, wenn nix drinnen ist.

101 **S6:** Ok.

102 **IA:** Ok.

103 **S6:** Ahm (zeichnet 12 s).

104 **IA:** Sagst du mir noch was du da zeichnest?

105 **S6:** Also, ich glaube mich zu erinnern, dass man in, das in der Mitte eben kein Strahl
106 ist, sondern nur seitlich davon, äh zwei die breiten, also die hellsten Strahlen.

107 **IA:** Uhm.

108 **S6:** Dann wird's nach außen immer kleiner und eben die Interferenzmuster wie wenn
109 sich zum Beispiel Wellen im Wasser treffen dann bilden sie ein Muster und so
110 ähnlich funktioniert das beim Licht.

111 **IA:** Ja. Sehr gut.

112 **S6:** Und werden, die sollen immer heller werden. So.

113 **IA:** Also in der Mitte ist es dunkel, dann ist hell.

114 **S6:** Wird es heller nach außen.

- 115 **IA:** Gut. Dann schauen wir mal, ich hab gesagt den schmalsten nehmen wir zuerst,
116 das ist der da. So wo ist er wo ist er. Ok. Ich stell dir die Mitte genau wo die
117 Mitte ist. Ok. Was kannst du beobachten?
- 118 **S6:** Das in der Mitte auch ein Strahl ist. Also, dass in der Mitte der hellste Strahl
119 ist und dann wird's nach außen immer immer ähm
- 120 **IA:** Ok.
- 121 **S6:** Heller.
- 122 **IA:** Ich möcht dich nur darauf hinweisen. Wir, du weißt was das welches Phänomen
123 beobachten wir da jetzt?
- 124 **S6:** Das ist das Interferenzmuster.
- 125 **IA:** Interferenzmuster, genau, aber Interferenz ist in Wahrheit nur, ich zeig dir das
126 mit einer Lupe. Soda (hantiert 10 s). In Wahrheit ist Interferenz nur dieser Teil.
- 127 **S6:** Uhm.
- 128 **IA:** Weil da dann ein anderer Effekt überlagert ist. Also es geht mir nur um diesen
129 mittleren Teil, nur diese drei, da sind sie.
- 130 **S6:** Ok.
- 131 **IA:** Aber erkenn ma gut, dass es drei sind, oder? Magst du das wieder skizzieren wie
132 du das dann beobachtest, also ohne die Lupe?
- 133 **S6:** Da gleich darunter?
- 134 **IA:** Da gleich daneben, da steht Beobachtung.
- 135 **S6:** (zeichnet 11 s) Nur die drei, oder die andern auch?
- 136 **IA:** Die anderen auch, so wie's ausschaut hat. Nur, dass ma's wissen.
- 137 **S6:** (zeichnet 32 s)
- 138 **IA:** So. Das unterscheidet sich ja jetzt a bisserl von deiner Erwartung.
- 139 **S6:** Ja.
- 140 **IA:** Wie . kommt das überhaupt zustande? Weißt du wie das zustande kommt?
- 141 **S6:** Äh. . Na durch, ich glaub das ist quantenmechanisch. Also in der Quanten-
142 mechanik dass äh also dass hier ein Teilchen wie eine Welle und ein Teilchen
143 bewegen kann.
- 144 **IA:** Ok.
- 145 **S6:** Und das Doppelspaltexperiment zeigt eben quasi dass ich durch die Art der
146 Beobachtung ändern kann wie sich das Teilchen verhält, dass heißt wenn ich
147 jetzt am Doppelspalt beobachte durch welchen also wenn ich einzelne Teilchen
148 nur schieß, also keinen ganzen Strahl, sondern nur Einzelteilchen nacheinander
149 und den Doppelspalt beobachte und schau durch welche, mit einem Detektor
150 zum Beispiel, und schau durch welchen ähm durch welchen Spalt es durchgeht
151 dann werde ich einfach nur zwei Striche dahinter sehen, also die durchsch..
- 152 **IA:** Ja. Ok. ich weiß was du meinst, aber das haben wir ja hier nicht, oder.
- 153 **S6:** Ja. Das ist eben weil wir's nicht, weil wir's nicht halt quasi beobachten genau
154 und dadurch ähm interferiert das Licht mit sich selbst und selbst wenn wir
155 einzelne Teilchen durchschicken würden, würd's ein Interferenzmuster bilden

- 156 weil das Teilchen quasi mit sich selbst als Welle interferiert.
- 157 **IA:** Äh. Weißt du überhaupt, fällt ma grad ein, wie man bezeichnet die hellen und
158 dunklen Stellen da?
- 159 **S6:** Nein.
- 160 **IA:** Maxima und Minima. Interferenzmaxima und -minima schon mal gehört?
- 161 **S6:** Gehört, ja aber , jetzt nicht auswendig gewusst.
- 162 **IA:** Also Interferenzmaximum ist ...
- 163 **S6:** wenn's am hellsten ist.
- 164 **IA:** ... wenn's hell ist und Minimum.
- 165 **S6:** dunkel.
- 166 **IA:** Genau. Und hast du irgend eine Regel wie man da draufkommen könnte was
167 wo ist? Also, weil dich hat ja überrascht, also du hast ja nicht erwartet, dass in
168 der Mitte einer sein wird.
- 169 **S6:** Ja.
- 170 **IA:** Kannst du das da vielleicht skizzieren was du da für eine Idee hättest?
- 171 **S6:** (denkt 10 s) Ähm. Also ich wie ich rausfinde, also wie ich mir vorstellen kann,
172 dass in der Mitte ...
- 173 **IA:** Zum Beispiel, ja. Wie das Muster überhaupt entsteht, was da wichtig ist? Was
174 wir da überhaupt haben für ein Experiment.
- 175 **S6:** (Zeichnet 37 s) Ähm (zeichnet 21 s) Soll ich dazu sagen, was ich?
- 176 **IA:** Bitte gern, weil dann hab ich's am Gerät.
- 177 **S6:** Am im Endeffekt hab ich hier das Doppelspaltexperiment aufgezeichnet.
- 178 **IA:** Uhm.
- 179 **S6:** Und ähm, . . ich mach jetzt das bei jedem Spalt quasi unendlich viel Strahlen
180 rauskommen. Es sind nicht unendlich viele, aber wüsste ich jetzt nicht genau.
181 Also, dass sich einfach so trifft und dass sie eine spezifische Weite haben so . . .
182 und . das sie sich dann so treffen und halt in der Mitte halt sich am stärksten
183 treffen, halt weil's dann so ist.
- 184 **IA:** Okay. Gibt's da irgendwas was . was jetzt bestimmt wo was ist? Wovon hängt
185 das ab?
- 186 **S6:** Na von der Distanz.
- 187 **IA:** Ja.
- 188 **S6:** Von der, von der . wie weit die Spalte auseinander sind. Das bestimmt wie weit
189 die Maxima auseinander liegen. Glaub ich war's. Ähm . die Distanz zum Detektor
190 und . ich glaub die Art der Strahlung macht glaub ich keinen unterschied.
- 191 **IA:** Okay. Aber quasi eine Regel wo ein Maxima wenn ich zum Beispiel diesen Punkt
192 hab. Wie könnte ich bestimmen ob an diesem Punkt ein Maximum oder ein
193 Minimum ist?
- 194 **S6:** Na ich sehe ob ob na einerseits ich kann's beobachten.
- 195 **IA:** (lacht) ja aber wir haben die Beobachtung schon gemacht ...

- 196 **S6:** oder ich schau ob sich da grad Wellen treffen beim Detektor.
- 197 **IA:** Was verstehst du unter Wellen treffen?
- 198 **S6:** Also, ob sich zwei Wellen . hochs, sagt man Wellenhochs? Treffen.
- 199 **IA:** Ok. Zwei Wellenberge meinst du.
- 200 **S6:** Zwei Wellenberge treffen dort. Dann schaukeln sie sich gegenseitig nochmal
201 höher auf und dadurch wird die Welle auch kraftvoller und dadurch kann man
202 auch beobachten, dass es ein Maximum ist.
- 203 **IA:** Und was ist die Bedingung dafür. Auf das will ich eigentlich hinaus. Das sich
204 zwei Wellenberge treffen.
- 205 **S6:** Das die Wellen die gleiche Schwingung . äh . das sie die gleiche Periode zur
206 gleichen Zeit haben.
- 207 **IA:** Ok.
- 208 **S6:** Mir fällt's grad nicht leicht ein.
- 209 **IA:** Na eh. Ist eh vollkommen richtig. Ich wollt noch was anderes hören, aber auf
210 das kommen wir vielleicht noch. Gut. Also, dann schauen wir mal weiter. Wenn
211 wir einen grünen Laser verwenden würden, wird sich ws ändern an dem Bild?
212 Wenn ja, was? Wenn nein, warum nicht.
- 213 **S6:** Ahmm.
- 214 **IA:** Und würdest du das da herskizzieren bitte.
- 215 **S6:** (denkt 16 s) Ich glaub nicht, wobei macht die Frequenz einen Unterschied?
216 (denkt 7 s) Soll wobei könnt's . ich glaub da wird ein kleiner Unterschied sein.
- 217 **IA:** Du glaubst es wird was sein?
- 218 **S6:** Ein kleiner Unterschied sein.
- 219 **IA:** Ein kleiner Unterschied und zwar welcher?
- 220 **S6:** Ich glaub die Max . die liegen näher beisammen die Maxima.
- 221 **IA:** Ok. Na dann zeichne das hin.
- 222 **S6:** Weil die Frequenz bei Grün kleiner als bei Rot ist. Glaub ich (zeichnet 24 s).
- 223 **IA:** Ok. Die liegen näher beieinander meinst du. Gut. Das kann ich, werd ich jetzt
224 nicht zeigen, weil das mit dem weil man's da nicht so gut auflösen kann. Das
225 sehen wir dann bei einem anderen Experiment, was da wirklich rauskommt.
226 Gut. Jetzt vergrößern wir den Abstand zwischen den Spalten. Jetzt nehmen wir
227 einfach den, nicht die breiteren Spalte, sondern den breiteren Abstand zwischen
228 den Spalten.
- 229 **S6:** Ja. Ok.
- 230 **IA:** Wieder deine Erwartung? Was wird sich ändern, warum wird sich's ändern?
231 Was wird sich wird sich's nicht ändern? Warum wird sich's nicht ändern?
- 232 **S6:** (denkt 6 s) Die breiteren Abstände glaub ich dass die Maxima weiter auseinander
233 gehen weil sie sich nicht mehr so schnell, ich glaub die Strahlen treffen sich nicht
234 mehr so gscheit.
- 235 **IA:** Ok (lacht). Gscheit treffen. Was, wie glaubst du, was umschreibst du mit gscheit
236 treffen?

- 237 **S6:** Äh. Das sie sich nicht kohärent. Sagt man kohärent?
- 238 **IA:** Kohärent ist, dass sie die gleiche Wellenlänge haben.
- 239 **S6:** Ach so. Nein. Sie treffen sich nicht mehr . . . richtig. Also ich mein dass sie
240 sich nicht mehr äh also dass sich die beiden Strahlen von Doppels, äh von den
241 beiden Spalten nicht mehr so schnell treffen und dadurch einfach die Maxima
242 sich verschieben.
- 243 **IA:** Ok.
- 244 **S6:** Und ich glaube das mittlere Maximum wird heller, also es wird dünkler.
- 245 **IA:** Intensiver sagen wir, oder?
- 246 **S6:** Na eben nicht. Weniger.
- 247 **IA:** Ach so. Weniger intensiv sein. Gut. Gut, dass wir darüber gred haben.
- 248 **S6:** (zeichnet 25 s)
- 249 **IA:** Nur kurz zur, was du da gezeichnet hast. Du glaubst die Mitte wird weniger
250 intensiv, dann wird's stärker sein, dann wird's intensiver und dann wird's wieder
251 abfallen.
- 252 **S6:** (zeitgleich) dann wird's intensiver und dann wird's wieder
- 253 **IA:** Ok. Dann schauen wir uns das an. So hab ich's eh richtig drinnen genau wieder
254 so na. Gut.
- 255 **S6:** Ups.
- 256 **IA:** Also wir schauen uns wieder die Mitte genau an ein bisserl. (Geräusche 10 s)
257 Ok.
- 258 **S6:** Ok. Gut.
- 259 **IA:** Schaust du es dir ganz genau an. Es geht wieder nur um das Mittlere.
- 260 **S6:** Also das Mittlere wird breiter.
- 261 **IA:** Das Mittlere wird breiter, aber schaust du wieder ganz genau hin (Geräusche
262 10 s) So. Ganz genau musst hinschauen.
- 263 **S6:** Auf der Seite wird's jetzt.
- 264 **IA:** Nur die Mitte. Die Mitte ist breiter worden und in der Mitte ist es durchgehend
265 hell oder ist es
- 266 **S6:** Es ist ja durchgehend hell es sind keine drei . also es sind keine drei mehr sondern
267 es sind jetzt in der breitere.
- 268 **IA:** Ok. Gut. (Pause 15s) So kannst du jetzt erklären warum das so aussieht, was
269 sich jetzt gegenüber deiner Erwartung eigentlich verändert hat.
- 270 **S6:** (denkt 6 s) Das weiß ich gerdae nicht ganz. Ähm (Pause 10s) Hm . . . Na es
271 könnte sein, dadurch das die Spalten jetzt breiter auseinander sind, dass sich
272 die Strahlen gleichmäßiger hinten treffen.
- 273 **IA:** Okay.
- 274 **S6:** Das würd mir als erstes einfallen warum's jetzt so aussieht und nicht so.
- 275 **IA:** Uhm.
- 276 **S6:** Das die Strahlen einfach dadurch . einfach quasi gradliniger ganz hinten treffen

- 277 und dadurch ein breiteres, ein breiteres Feld einfach ergeben.
- 278 **IA:** Okay. Gut, dann wenden wir uns ganz kurz weg vom Licht. Und gehen einmal
279 von so anderen Wellenquellen aus.
- 280 **S6:** Ok.
- 281 **IA:** So. Diese Abbildung zeigt zwei kohärente Wellenquellen. Kohärent haben wir
282 schon festgestellt was das ist.
- 283 **S6:** Dass sie gleich schwingen.
- 284 **IA:** Genau.
- 285 **S6:** Der Abstand zwischen den zwei Wellen ist zwei Lambda.
- 286 **IA:** Ok.
- 287 **S6:** Ah. Und glaubst du wird im Punkt B ein Maximum oder ein Minimum sein?
- 288 **IA:** Ähm (denkt 5s). Also wie, wie bewegen sich die Wellen?
- 289 **S6:** Also in dieser Ebene.
- 290 **IA:** Ok.
- 291 **S6:** Ähm (denkt 7 s) Na das kann ich ja nur feststellen wenn ich die Periode hab.
- 292 **IA:** Ok.
- 293 **S6:** Also hier hab ich nur wie weit sie voneinander entfernt sind.
- 294 **IA:** Ja.
- 295 **S6:** Und ich hab aber keine Information wie sie sich zu Punkt B bewegen. Welche
296 Frequenz sie sind, oder ...
- 297 **IA:** Oja. Du hast schon eine Information, du weißt dass dieser Abstand zwei mal
298 die Wellenlänge ist, zwei mal Lambda, oder.
- 299 **S6:** Ach so.
- 300 **IA:** Was ist überhaupt Lambda?
- 301 **S6:** (lacht) ah. Lambda ist die in der Zeit in der es wieder zum Ausgangs.
- 302 **IA:** Also wie würdest du Licht mit Lambda beschreiben quasi, wie kannst du
303 Licht Lambda bestimmen, oder Licht nicht überhaupt von einer Welle Lambda
304 bestimmen?
- 305 **S6:** Also das wäre das.
- 306 **IA:** Ok.
- 307 **S6:** Also das.
- 308 **IA:** Ok. Von wo bis wohin?
- 309 **S6:** Also von Anfang des Wellenberges bis zum Ende vom Wellental.
- 310 **IA:** K. Genau. Also das ist die Wellenlänge.
- 311 **S6:** Ja.
- 312 **IA:** Gut. Und jetzt wissen wir, dass da zwei mal die Wellenlänge der Abstand ist . .
313 . Kannst du jetzt herausfinden ob da jetzt ein Maximum oder ein Minimum ist
314 in Punkt B?

- 315 **S6:** Wenn's in Relation, so eine richtige Relation zum (unverständlich) ja, dann
316 könnt ich die, dann könnt ich's zeichnen damit und dadurch halt berechnen.
- 317 **IA:** Ok. Magst du's zeichnen.
- 318 **S6:** Ähm. Ja. Hast du ein Geodreieck?
- 319 **IA:** Ach so. Geodreieck ach so das wart einmal muss ich schauen. Ah warte einmal
320 (entfernt sich 20 s) Gott sei dank sind wir in einem gut ausgestatteten Labor
321 (lacht).
- 322 **S6:** (lacht) War ja nicht anders zu erwarten. Ok. Ähm. Ich hätte geschaut, den
323 Mittelpunkt des Kreises schaue ich mir an. Und dann schaue ich wie weit der
324 Mittelpunkt ist, also ein Lambda ist.
- 325 **IA:** Uhm.
- 326 **S6:** Und es zirka Eins. Also um es und jetzt nicht zu kompliziert zu machen ist
327 es zirka ein Zentimeter. Uuunnnddd jetzt kann ich . im Endeffekt kann ich's
328 jetzt ungefähr bestimmen wo sich's ähm wie weit entfernt ist. Aber eigentlich
329 kann ich direkt eine Strich machen aso. Komme ich auf zirka 6,8 wo sich's trifft.
330 Wenn wir zuerst die Wellen . . . dann soll's eigentlich gar aus einen Wellental
331 rauskommen, also kurz hintern Minimum sein wo sich's trifft also eigentlich
332 sollt's grad ein bisschen heller als ein Minimum.
- 333 **IA:** Ok. Du bist jetzt nur von einer Quelle ausgegangen, wir haben aber zwei Quellen.
- 334 **S6:** Aber die sind kohärent, oder.
- 335 **IA:** Ja.
- 336 **S6:** Das heißt sie bewegen sich gleich.
- 337 **IA:** Ja.
- 338 **S6:** Es ist im Endeffekt würde es auf der anderen Seite genauso aussehen und sich
339 im selben Maß des Anstiegs von der Welle treffen.
- 340 **IA:** Uhm. Ok. Also du meinst das wir da ein Minimum haben.
- 341 **S6:** Ich glaube es würde ein Mittelding sein. Also wenn ma's richtig rechnen würde
342 wahrscheinlich anders, aber wenn ich von einem Zentimeter ausgehe als ein
343 Lambda dann komme ich auf zwei, na wart, ein Lambda war eine Wellenlänge?
- 344 **IA:** Genau.
- 345 **S6:** Ok. Ja. Dann passt das eh, weil dann brauch ich das im Endeffekt gar nicht zu
346 berechnen, weil das, weil solange sie kohärent sind kann ich sagen ob das halt
347 richtig ist oder nicht.
- 348 **IA:** Ok. Gut. So jetzt haben wir den Punkt A der ist 10 Lambda entfernt von der
349 einen Quelle. Wird da ein Maximum oder ein Minimum sein?
- 350 **S6:** (denkt 10 s) Uhm. Da wird ein . hhhmm (denkt 7 s) Ich schätze da wird ein
351 Maximum sein. Ich hab das auf die Rückseite geschrieben.
- 352 **IA:** Genau.
- 353 **S6:** Eigentlich sollt da grad ein genau die Mitte sein. Also wenn ich das so anschau,
354 dann habe ich wahrscheinlich da einen falschen Gedanken.
- 355 **IA:** Weil?

- 356 **S6:** Es genau in der Mitte ist und ich dadurch kein Maximum oder Minimum
357 bestimmen kann.
- 358 **IA:** Was verstehst du mit genau die Mitte jetzt, tschuldigung?
- 359 **S6:** Also, die, also im Endeffekt, da wo . die Wellenlänge grad die x-Achse trifft.
360 Also die Welle die x-Achse trifft.
- 361 **IA:** Ok.
- 362 **S6:** Also wo grad der Wendepunkt ist. Richtig ausgedrückt.
- 363 **IA:** Was ist jetzt die Welle?
- 364 **S6:** Ja, das ist die Welle.
- 365 **IA:** Ok. Die bewegt sich so vor.
- 366 **S6:** Und hier hab ich halt den Wendepunkt.
- 367 **IA:** Ok.
- 368 **S6:** Und eben hier auch und hier auch.
- 369 **IA:** Also wo hast du da ein Maximum und ein Minimum auf der anderen Skizze.
- 370 **S6:** Also ein Maximum hier und ein Minimum hier.
- 371 **IA:** Okay (erkennend).
- 372 **S6:** Oder? (denkt 22 s) Ok. Jetzt bin ich grad ganz kurz ein bisschen verwirrt.
- 373 **IA:** Kein. Problem lass dir Zeit. Was ist die Ausbreitungsrichtung von dieser Welle?
- 374 **S6:** Na in die Richtung, also so.
- 375 **IA:** Uhm.
- 376 **S6:** (denkt 13 s) Ei, ei, ei, da hab ich was verwechselt. Das ist nicht ob's, das
377 bestimmt gar nicht über Minima, Maximum, ei.
- 378 **IA:** Also diese Auslenkung bestimmt nicht über Minimum und Maximum, sondern?
- 379 **S6:** Das bestimmt einfach nur drüber wie die Frequenz, wie, also wie die Wellen-
380 abstände sind im Endeffekt.
- 381 **IA:** Uhm. Ok.
- 382 **S6:** Und das sind, das äh. Ich hab das grad verwechselt mit wie stark, also wie stark
383 die Welle per se ist, oder.
- 384 **IA:** Ok.
- 385 **S6:** Also im Endeffekt wird da ein Maximum sein.
- 386 **IA:** Weil?
- 387 **S6:** Weil sich zwei Wellen treffen, also wen ich sag, dass die beiden Wellen sich nicht
388 grad vor bewegen, also wenn ich sag, dass die beiden Wellen sich nicht grad vor
389 bewegen ...
- 390 **IA:** Ja.
- 391 **S6:** ... sondern sich zum Punkt B hin treffen.
- 392 **IA:** Ok. Wie können's das?
- 393 **S6:** Indem sie sich einfach so bewegen.

- 394 **IA:** Wie bewegt sich a Welle?
- 395 **S6:** Vorwärts.
- 396 **IA:** Was ist vorwärts?
- 397 **S6:** Na ja vorwärts ist im Endeffekt aus ihrem Medium wenn sie ausgestrahlt wird,
398 hab ich ja quasi jede Welle . also wenn ich jetzt eine Lampe hab, dann bewegt
399 sich in jed, jeder Richtung eine, eine Welle aus. Also wenn ich eine rausnehm
400 und eine andere auch und die treffen sich am selben Punkt.
- 401 **IA:** Ok.
- 402 **S6:** Wenn ich annehm, dass die beiden Wellenquellen, also nicht weitere angaben
403 dazu gemacht sind.
- 404 **IA:** Also wie gehen die Wellen von da weg? Das ist die Frage jetzt.
- 405 **S6:** Also in einem Winkel zu B hin.
- 406 **IA:** Aber wie kann dann, was kann dann da sein? . Bei A?
- 407 **S6:** Das ...
- 408 **IA:** Kommt da überhaupt Licht hin?
- 409 **S6:** Ja dass ist, sie überschneiden sich. Also nicht überschneiden sich, sondern sie
410 werden zu einer einzigen Welle.
- 411 **IA:** Gut. Ok.
- 412 **S6:** Und dadurch wird sie halt stärker, oder halt heller.
- 413 **IA:** Ok . . . Also jetzt sind wir mal draufgekommen das wir zwei Quellen brauchen
414 um überhaupt ...
- 415 **S6:** ein Maximum zu bekommen.
- 416 **IA:** Ok. Aber wenn jetzt nur eine Quelle ist und ich seh trotzdem ein Licht wie ist
417 das dann?
- 418 **S6:** Na ja es ist halt einfach, es ist halt nicht ganz so, es ist halt einfach ein bisschen
419 hell (lacht).
- 420 **IA:** Gut. So. Jetzt nochmal zurück auf die Frage, also du meinst jetzt, du hast jetzt
421 deine Meinung geändert in B ist ein Maximum meinst du.
- 422 **S6:** Ja.
- 423 **IA:** Gut und was ist dann in A?
- 424 **S6:** Kommen beide also, kommt das hier durch oder nicht?
- 425 **IA:** Ja natürlich, das ist ja nur eine, eine Skizze, eine Beschreibung der Skizze das
426 sind die zwei Quellen und wir schauen da her und da her.
- 427 **S6:** Ja. Das sollte auch ein Maximum eigentlich sein.
- 428 **IA:** Da sollt auch ein Maximum sein. Ok. Gut.
- 429 **S6:** Wenn die zwei Strahlen kohärent sind und sich genau hier ein Maximum treffen.
- 430 **IA:** Also A ist auch ein Maximum. Was ist wenn das jetzt 11 Lambda entfernt wäre?
- 431 **S6:** Dann wäre es trotzdem ein Maximum.
- 432 **IA:** Ok. Gut. So, dann gehen wir zur nächsten Skizze. Es hat sich was geändert und

- 433 zwar haben wir jetzt drei Halbe Lambda als Abstand.
- 434 **S6:** Ok.
- 435 **IA:** Ok? Wieder die gleiche Frage ist in B ein Maximum, oder ein Minimum?
- 436 **S6:** . . . Aahhh, ich kann mir da eh aufzeichnen?
- 437 **IA:** Ja, ja, du kannst da zeichnen, dafür ist es da.
- 438 **S6:** Ich zeichne mir nur auf wie das dann aussieht. Als eben mit 1,5 also drei Halbe
- 439 Lambda aufgezeichnet.
- 440 **IA:** Ok. Was zeichnest du dir da auf nur das du es mir erklärst.
- 441 **S6:** Also quasi zwei Wellenberge und einen Wellenberg, also ein Wellental, also quasi
- 442 ein Halbes und noch ein Halbes und halt drei Halbe Lambda. Ahm . . . das heißt
- 443 in A wird kein Maximum sein, weil sich die Wellen eben ungleichmäßig treffen
- 444 werden ...
- 445 **IA:** Uhm.
- 446 **S6:** ... und grad an dem Punkt hier wo also das erste das ganz rechte Medium die
- 447 Linkere, also die linke Lichtquelle erreicht beginnt das Licht so und das Licht so
- 448 ...
- 449 **IA:** Uhm.
- 450 **S6:** ... und dadurch wird sich's eben überschneiden ...
- 451 **IA:** Ok.
- 452 **S6:** ... und wird eben nicht zu einem Maximum ahm.
- 453 **IA:** Das heißt in A ist ein Minimum meinst du.
- 454 **S6:** Ja.
- 455 **IA:** Gut. Und in B?
- 456 **S6:** Hier sollte es egal sein.
- 457 **IA:** Also du vermutest in B ist ein Maximum.
- 458 **S6:** Ja. Weil sie sich von hier nämlich mit der gleichen Wellenlänge ausbreiten . .
- 459 und sich dann hier treffen.
- 460 **IA:** Ok. Also B ist ein Maximum und A ist ein Minimum.
- 461 **S6:** Ja.
- 462 **IA:** Und was ist wenn ich jetzt auf 11 Lambda geh bei A?
- 463 **S6:** Ahhh. Das wird nichts ändern, also weil sich die Wellen, also die Wellen trotzdem
- 464 nicht kohärent sind, sondern sich noch immer, also um eins verschoben sind.
- 465 **IA:** Gut. Ok. So. Noch einmal jetzt ganz genau wir haben wieder diese zwei
- 466 kohärenten Wellenquellen und da dem Schirm. Wie kann man jetzt bestim-
- 467 men auf dem Schirm wo ein Maximum und wo ein Minimum ist. Also wie kann
- 468 man jetzt bestimmen, was an diesem Punkt zum Beispiel ist?
- 469 **S6:** Na ja wenn ich die Distanz von beiden ausmach. Weil hier waren die immer
- 470 gleich weit vom Medium entfernt und hier sind sie's nicht.
- 471 **IA:** Uhm.
- 472 **S6:** Also von dem Punkt jetzt der aufgezeichnet ist. Das heißt ahm.

- 473 **IA:** Kannst ruhig reinzeichnen, dafür ist es da.
- 474 **S6:** Ist es im Endeffekt, es könnte sein das da ein Maximum ist
- 475 **IA:** Ja.
- 476 **S6:** Wenn die Wellen, also wenn die Wellen . . der Abstand durch Zufall zulässt,
477 dass sie, dass sie hier kohärent sind.
- 478 **IA:** Und wie bestimmst du diesen Abstand? Hast du da irgendwie eine Regel?
- 479 **S6:** Ja von der Mitte der Quelle bis zu dem Punkt den ich beobachten muss.
- 480 **IA:** Uhm. Und was ist, aber das ist ja von da bis da auch ein Abstand, aber was ist
481 jetzt . was ist jetzt wichtig damit da ein Maximum oder ein Minimum ist?
- 482 **S6:** Na ja . . . ob sich's hier trifft. Also sich hier eben zwei Wellenberge, oder
483 zwei Wellentäler treffen, oder ob sie sich hier grad so verfehlen, das glaube ich
484 bestimmt ob's irgend.
- 485 **IA:** Aber kannst du das aus dieser Skizze herauslesen?
- 486 **S6:** Nein weil ich nicht weiß was ein Lambda ist.
- 487 **IA:** Ok.
- 488 **S6:** Also ich weiß nicht wie die Wellenlänge per se aussieht.
- 489 **IA:** Aber das sind zwei kohärente Quellen, also die haben definitiv die gleiche
490 Wellenlänge.
- 491 **S6:** Ahm . . .
- 492 **IA:** Was ist überhaupt die Bedingung das du, das konstruktive und destruktive
493 Interferenz ist?
- 494 **S6:** Ah, dass . . .ja das sie kohärent sind.
- 495 **IA:** Kohärent müssen sie sein, ja genau.
- 496 **S6:** Und (denkt 6 s) mehr fällt mir nicht.
- 497 **IA:** Hast du schon einmal was von Gangunterschied gehört.
- 498 **S6:** Nein.
- 499 **IA:** Oder Phasendifferenz?
- 500 **S6:** Nein (lacht).
- 501 **IA:** Ok. Gut. Na dann alles klar. Dann noch überhaupt generell eine Frage, so, also
502 jetzt gehen wir wieder zurück zum Licht.
- 503 **S6:** Ok.
- 504 **IA:** Was stellst du dir unter Licht jetzt wirklich überhaupt vor? Vielleicht noch ne
505 kleine Skizze. Was ist Licht?
- 506 **S6:** . . . aahhh Licht . . . na ja Licht ist Energie, die sich in Form von Photonen . .
507 gleichzeitig als Tel, gleichzeitig als Welle und als Teilchen . bewegt.
- 508 **IA:** Ok. Aber wir haben jetzt da Experimente mit Interferenz, dass heißt wir
509 beobachten.
- 510 **S6:** Das sie eine Welle ist.
- 511 **IA:** Die Welleneigenschaften genau.

- 512 **S6:** Aber gleichzeitig aber ja im Endeffekt
- 513 **IA:** Und wie stellen wir uns jetzt Licht als Welle vor? Das ist meine Frage, quasi.
- 514 **S6:** Na das sich durch's anregen von Atomen eben Energie aussendet, zum Beispiel
515 bei den, bei den, bei den alten Lampen, da erhitz ich die . . also schicke ich
516 Strom durch. Dadurch werden die einerseits heiß was ja eigentlich nur das
517 Nebenprodukt ist, nur die waren halt sehr ineffizient und deswegen wurden sie
518 mehr heiß als dass sie Licht abgegeben haben und dadurch strahlen sie auch
519 und schicken eben Wellen in jede beliebige Richtung aus.
- 520 **IA:** Ok. Aber was sind die Wellen?
- 521 **S6:** Die Wellen sind eine F . also wenn . ist das mit Emission, dass die Atome eben
522 Energie aufnehmen durch Absorption
- 523 **IA:** Na ich will weg von den Atomen ich will rein auf deine Vorstellung was eine
524 Lichtwelle ist, ansich.
- 525 **S6:** Ok.
- 526 **IA:** Oder stellst du dir da überhaupt was vor?
- 527 **S6:** Na eigentlich gar nicht.
- 528 **IA:** Eigentlich gar nicht?
- 529 **S6:** Ich akzeptier's einfach.
- 530 **IA:** Ok.
- 531 **S6:** Weil das ganze es ist es ist gleichzeitig Welle und, und Teilchen ist in meinen
532 Augen ein bisschen gegen sich selbst also ist ist widersprüchlich finde ich und
533 deswegen fahre ich leichter, also kann ich's mir leichter akzeptieren das es beides
534 ist wenn ich's mir nicht vorstell.
- 535 **IA:** Ok.
- 536 **S6:** Also sobald ich ein Bild vor Augen hab würde ich.
- 537 **IA:** Aber wir können ja eine Welle beschreiben. Eine Wasserwelle könntest ja auch
538 beschreiben.
- 539 **S6:** Ja, aber weil, aber ich kann aus einem Wassermolekül, kann ich keine Welle
540 machen.
- 541 **IA:** Sondern?
- 542 **S6:** Na es ist ja ein Molekül. Ich kann natürlich ich kann's bewegen, dass es sich
543 wie eine Welle bewegt, aber die Welle des Wassers ist ja einfach nur indem sich
544 verschied ander Moleküle einfach heben oder senken.
- 545 **IA:** Uhm.
- 546 **S6:** Und dadurch einfach Energie weitergetragen wird. Nur bei Licht ist die Welle
547 selbst eine also ist die Welle Energie, die aber gleichzeitig auch . . . ein Teilchen
548 bewegt.
- 549 **IA:** Okay.
- 550 **S6:** Es es ist ja ich weiß nicht (lacht)
- 551 **IA:** Na, na ja, das ist ja gut. Das ist ja genau das was wir hören wollen von dir, was
552 du dir vorstellst drunter. Gut. Dann schließen wir einmal diesen Teil ab und

- 553 kommen zu einem neuen Experiment.
- 554 **S6:** Ok.
- 555 **IA:** Und zwaaar haben wir hier einen Grünen. Ah na wir nehmen den roten Laser
556 wieder. Ich muss den nur ausbauen. Wir nehmen den roten Laser und eine
557 Blende.
- 558 **S6:** Ok.
- 559 **IA:** So ich muss nur schauen, gut. Die Blende ist jetzt ganz offen, kannst ruhig
560 schauen, also ist auf 2,5 Millimeter glaub ich, ja genau. 2,5 Millimeter ah, also
561 ein einziger Spalt. Was erwartest du was am Schirm sehen wird?
- 562 **S6:** Uhm. Licht (lacht)
- 563 **IA:** Ja wie?
- 564 **S6:** Rotes Licht als einzelnen Strahl.
- 565 **IA:** Gut. Zeichnest es da hin bitte.
- 566 **S6:** (zeichnet 6 s).
- 567 **IA:** Ok. Dann schauen wir uns das mal an. So durchtreffen muss man natürlich so.
568 Ok. Ist das dass was du erwartet hast?
- 569 **S6:** Ja.
- 570 **IA:** Uhm. Schaust nochmal genau und zeichnest es dann genau dahin so wie's
571 ausschaut.
- 572 **S6:** (zeichnet 7 s)
- 573 **IA:** Ok. Was zeichnest du da auf der Seite?
- 574 **S6:** Na es, es verzieht sich hier auf der Seite, also es kommen auch noch Lichtstrahlen
575 raus.
- 576 **IA:** Warum ist das so?
- 577 **S6:** Aaaaahhhh, weil das Licht Interferenzmuster bildet (lacht). Nein, ich weiß es
578 nicht, um ehrlich zu sein.
- 579 **IA:** Ok.
- 580 **S6:** Wir haben das ja auch wenn wir zum in, in, in Lichtquellen schauen, dass
581 sich rundherum eben, eben wie heißt's, also das sich eben rundherum auch so
582 Lichtstrahlen weg, also weg
- 583 **IA:** Uhm.
- 584 **S6:** So zum Beispiel bei Sternen oder so. In Wirklichkeit sind sie eigentlich rund,
585 nur wir sehen sie mit so wegstehenden Strahlen.
- 586 **IA:** Ah. Jetzt weiß ich was du meinst. Ok. Ja. Uhm. Gut. Jetzt würd ma den Spalt
587 auf 0,3 Millimeter verengen. Was glaubst du wird passieren?
- 588 **S6:** Uhmhhh . . . der Punkt, der Punkt wird größer und das außen wird ein bisschen
589 weiter sein.
- 590 **IA:** Ok. Zeichnest du das da hin und was für ein Phänomen beobachten wird da
591 eigentlich glaubst du? Oder weißt du das?
- 592 **S6:** Ahmmm . . .

- 593 **IA:** Na zeichne mal. Tschuldige, jetzt wollt ich dich, wollt ich dich nicht ablenken.
- 594 **S6:** (zeichnet 14 s)
- 595 **IA:** Ok. Also die Mitte wird stärker und das nach außen soll schw, weniger intensiv
596 sein. Sehe ich das richtig?
- 597 **S6:** Nein, also ich glaub die Mitte wird etwas breiter.
- 598 **IA:** Uhm.
- 599 **S6:** Also wird weiter auseinandergehen.
- 600 **IA:** Ok.
- 601 **S6:** Und . außen wird's wird's aber schwächer.
- 602 **IA:** Ok. Dann schauen wir uns das an, was da rauskommt. So ich hoffe ich hab gut
603 getroffen. So 0,3 hamma gsagt. Ok. Ist das das was du erwartet hast?
- 604 **S6:** Total.
- 605 **IA:** Die Mitte wieder richtig.
- 606 **S6:** Zum Teil.
- 607 **IA:** Ok.
- 608 **S6:** Das es breiter wird, also man sieht eben hier, dass die Mitte breiter geworden
609 ist.
- 610 **IA:** Uhm.
- 611 **S6:** Das die Strahlen außen ein Interferenzmuster, also ein, ein Muster gebildet
612 haben mit verschiedenen Maxima und Minima.
- 613 **IA:** Ok. Zeichnest du das mal hin.
- 614 **S6:** (zeichnet 15 s)
- 615 **IA:** Hast du eine Idee warum das jetzt so ist und anders als deine Vorstellung.
- 616 **S6:** Ahm.
- 617 **IA:** Und wie das Phänomen heißt und
- 618 **S6:** Aahhh. Absolut keine Ahnung.
- 619 **IA:** Ok. Beugung am Spalt. Schon mal gehört.
- 620 **S6:** Ist es das wo die Wellen so draufkommen und sich dann so rundherum bewegen
621 und dann so auseinander bewegen?
- 622 **IA:** Zeichnest du mal hin was du grad beschrieben hast. Was meinst du damit mit
623 so drauf und so.
- 624 **S6:** Also es ist das wo wen Wellen so sich auf was zubewegen ...
- 625 **IA:** Uhm.
- 626 **S6:** ... und grad hier sind, das sie sich . weil sie einfach so viel (unverständlich) und
627 da rundherum bewegen und hier dann so auseinander gehen (zeichnet 5 s)
- 628 **IA:** Jaa.
- 629 **S6:** Und dadurch wenn das auf beiden Seiten passiert . wenn das hier auch passiert.
- 630 **IA:** Okay.

631 **S6:** Dann trifft sich das hier.

632 **IA:** Uhm.

633 **S6:** Weil der mittlere Punkt ist klar, weil hier einfach Strahlen ungehindert durch-
634 kommen, kommen sie hier zum mittleren Punkt und dadurch das sich jetzt aber
635 eben hier die Wellen einfach so am um, um, um die, das Hindernis halt beugen,
636 dass dadurch eben das Interferenzmuster zustande kommt.

637 **IA:** Ok.

638 **S6:** Also dieses Muster zustande kommt.

639 **IA:** Und kennst du eine Bedingung dafür, wann das auftritt, wie das auftritt, wovon
640 abhängt ob ein Maximum oder Minimum?

641 **S6:** (denkt 5 s) Jau. Also wovon's abhängt.

642 **IA:** Ja.

643 **S6:** Na eben ob, ob, ob die Wellen hier sich kohärent treffen.

644 **IA:** Jaaa.

645 **S6:** Also.

646 **IA:** Also wir haben eine kohärente Lichtquelle weil der Laser ist ein kohärente
647 Lichtquelle.

648 **S6:** Ja. Ansonsten . aaaahhhmmm . . . nein (lacht)

649 **IA:** Ok.

650 **S6:** Also fällt mir jetzt auf Anbieb nichts eine.

651 **IA:** Aber was verstehst du unter die Beugen sich da? Wie verstehst du das? Das du
652 mir das nochmal neu, genauer erklären.

653 **S6:** Ahm (denkt 12 s). Ich weiß nicht. Ich stell's mir grad mit Wasser vor.

654 **IA:** Ja. Stell's dir mit Wasser vor, ist auch gut.

655 **S6:** Mit Wasser macht das so find ich ein bisschen mehr Sinn.

656 **IA:** Ok.

657 **S6:** Weil . immer

658 **IA:** Zeichnest das drunter noch einmal, damit.

659 **S6:** Ok.

660 **IA:** Dann, dann haben wir einen Unterschied zu dem was du mit Wasser meinst.

661 **S6:** Na ja, weil daa . gehen die Wellen jaa so.

662 **IA:** Uhm.

663 **S6:** Und wenn sie hier drauftreffen ...

664 **IA:** Uhm.

665 **S6:** ... wird die Welle eben, das ist die Welle zugehörig und hier wird die Welle
666 bewegt sich aber so wei, auf die, auf die Seite weiter, weil, eben weil ein Teil der
667 Welle abgerissen wird und die andere sich aber ein bisschen zur Seite dreht.

668 **IA:** Uhm.

- 669 **S6:** Ich, ich tu mir gard ein bissi schwer das zu erklären, weil ich es selber nicht ganz
670 versteh.
- 671 **IA:** Ja. Ja, das ist ja, genau da wollen wir ja hin.
- 672 **S6:** (lacht)
- 673 **IA:** Das sind ja die Knackpunkte wo man dann anfangt zum nachdenken darüber,
674 oder? Das wollen wir ja.
- 675 **S6:** Ich sollt das eigentlich können für die mündliche Matura.
- 676 **IA:** Naja. Also was ist da. Bei Wasser habt's es ganz, bin ich mir hundertprozentig
677 sicher das ihr das gemacht habt.
- 678 **S6:** Haben wir gemacht.
- 679 **IA:** Also was da ausschlaggebend?
- 680 **S6:** Ahm.
- 681 **IA:** Da gibt's a Prinzip.
- 682 **S6:** Ahhhhhh.
- 683 **IA:** Na fällt mir gerade nicht ein. Na gut. Na macht ja nix. Gut. So. Aber dir . . .
684 also das ist Beugung. Haben wir jetzt schon besprochen.
- 685 **S6:** Ja.
- 686 **IA:** Das ist ein Beugungsmaximum in der Mitte und dann sind da außen Beu-
687 gungsmaxima und -minima. Ok. Gut. Ich glaub wenn ich mich richtig erinnern
688 müssten wir jetzt auf Grün wechseln. Ja. Also gibt's eine Regel überhaupt wo
689 dies, wo man diese Minima und Maxima sehen? Das haben wir grad versucht
690 herauszufinden, aber da fällt da nix ein, oder wie? Wovon könnt's abhängen?
- 691 **S6:** Na von der Breite des Spalts.
- 692 **IA:** Uhm.
- 693 **S6:** (denkt 5 s) und vielleicht von der Wellenlänge.
- 694 **IA:** Ok. Gut . . . so jetzt würd ma an grünen Laser, wie ich gesagt hab, den grünen,
695 den grünen Laser verwenden. Was erwartest du wird man sehen? Wird sich was
696 ändern? Wenn ja warum? Wird sich nichts ändern? Wenn nein, warum nicht?
- 697 **S6:** (denkt 6 s) Ich glaub nicht, weil ich glaub, dass sich die Frequenz zwar ändert
698 und die Wellenlänge gleich bleibt, oder umgekehrt.
- 699 **IA:** Ok. Zeichnest es da her.
- 700 **S6:** Also ich glaub es sollte eigentlich gleich bleiben (zeichnet 20 s).
- 701 **IA:** Was verstehst du unter Frequenz, was ist Wellenlänge?
- 702 **S6:** (denkt 5 s) Das gehört irgendwie zamm, gell (lacht). Ah. Die Frequenz ist wie
703 oft eine Wellenlänge in einer bestimmte Zeit vorkommt.
- 704 **IA:** Okay.
- 705 **S6:** Also wie oft die Welle schwingt ...
- 706 **IA:** Uhm.
- 707 **S6:** ... in einer bestimmten Zeit.
- 708 **IA:** Ok.

- 709 **S6:** Ja.
- 710 **IA:** Und die Wellenlänge ist dann?
- 711 **S6:** Ahh. Wie weit die Welle schwingt.
- 712 **IA:** Jaaa. Ok. Und daher?
- 713 **S6:** Gehören sie mehr oder weniger zusammen, also die Frequenz bestimmt einfach
714 nur wie oft ich eine Wellenlänge in einer bestimmten Zeit oder, oder, ...
- 715 **IA:** Uhm. Wenn ich jetzt eine größere Wellenlänge hab?
- 716 **S6:** Hab ich eine niedrigere Frequenz. (lacht)
- 717 **IA:** Also (lacht) schauen wir mal was rauskommt, oder? Gut. Sooo. Treffen. Ok.
718 Nur noch die Mitte richtig. Also was beobachtest du?
- 719 **S6:** Es ist heller.
- 720 **IA:** Es ist heller und?
- 721 **S6:** Und es geht weiter auseinander. Also das Muster geht halt weiter auf die Seiten.
- 722 **IA:** Und das Muster ist gleich geblieben abstandsmäßig?
- 723 **S6:** (Pause 5 s) So auf Anhieb. (Pause 6 s) Auf Anhieb würd ich sagen ja.
- 724 **IA:** Ok. Ich zeig dir nochmal das Rote.
- 725 **S6:** Na ja.
- 726 **IA:** (Umbaugeräusche) Siehst du einen Unterschied, fällt dir was auf, oder ist es
727 für dich gleich geblieben? Schau dir das nochmal genau an und ich tu wie-
728 der den Grünen rein, weil den musst du ja jetzt zeichnen. Ups. Tschuldige
729 (Umbaugeräusche) Soda. Na. So.
- 730 **S6:** Die, die Maxima sind näher beieinander.
- 731 **IA:** Ok. Zeichnest du das da hin.
- 732 **S6:** (zeichnet 19 s)
- 733 **IA:** Kannst du erklären warum das jetzt so sein wird glaubst du?
- 734 **S6:** Wahrscheinlich weil sie eine andere Frequenz haben, beziehungsweise Wellenlänge
735 wahrscheinlich in weiterer Folge ...
- 736 **IA:** Ok.
- 737 **S6:** ... das sich dadurch die grünen Strahlen einfach woanders treffen als die roten.
- 738 **IA:** Uhm.
- 739 **S6:** Ja.
- 740 **IA:** Woanders treffen heißt bei dir immer?
- 741 **S6:** Ah. An einem anderen. Na an einen anderen Punkt zusammenkommen.
- 742 **IA:** Das Wellenberge konstruktiv Interferenz.
- 743 **S6:** Aso, dass sich, das sich ähh, na das sich . na . ja . Na gut (lacht).
- 744 **IA:** So jetzt hab ich da, wart einmal. (Pause 5 s) Ah. Jetzt hab ich was übersehen
745 natürlich. Tschuldige. Das war, dass ist ha und hier, . . . ich nehm wieder den
746 roten Laser, was erwartest du wenn ich den Spalt noch enger mache zu sehen?
747 (Umbaugeräusche) Wie ändert sich das Beugungsmuster?

- 748 **S6:** Äähhhh, die Maxima sollten sind noch weiter auseinander und in der Mitte der
749 Punkt wird breiter.
- 750 **IA:** Zeichnest du das da her bitte, was du dir da jetzt vorstellst, was da rauskommt.
- 751 **S6:** (zeichnet 10 s)
- 752 **IA:** Gut schauen wir uns das an. Ich hab's ja schon ein bisschen enger gemacht. Das
753 ist der da. (Umbaugeräusche) Ist das das was du erwartet hast?
- 754 **S6:** Ja.
- 755 **IA:** Ok. Zeichnest du nochmal deine Beobachtung hin, aber das ist genau das was
756 du erwartet hast. Warum?
- 757 **S6:** Na weil man beim vorigen gesehen hat das es genauso passiert ist wenn ich
758 von 2,5 auf . . 0,3 gegangen bin hat man genau dasselbe beobachten können,
759 deswegen war zu erwarten das es.
- 760 **IA:** Sehr gut. Was ist wenn ich das jetzt noch enger mach den Spalt und zwar so
761 eng das die Wellen, das es kleiner wird als die, das der Spalt kleiner wird als die
762 Wellnlänge?
- 763 **S6:** Dann wird nichts durchgehen.
- 764 **IA:** Dann geht nix durch?
- 765 **S6:** Weil die Wellen nicht mehr durchkönnen.
- 766 **IA:** Also es ist noch immer ein Spalt, aber es ist enger als die Wellenlänge.
- 767 **S6:** (Pause 10 s) Wie enger als die Wellenlänge.
- 768 **IA:** Na die Wellenlänge ist beim roten Licht ungefähr 650 Nanometer und der Spalt
769 wird noch wird a bisserl enger sein, wird 500 Nanometer sein.
- 770 **S6:** (denkt 5 s)
- 771 **IA:** Du lächelst, warum?
- 772 **S6:** Ich denk grad, es wär ziemlich gefinkelt wenn das durchgehen würde obwohl's
773 so klein ist. Weil irgendwie wenn's so gefragt wird wird's höchstwahrscheinlich
774 durchgehen.
- 775 **IA:** Schülerlogik. Ok (lacht).
- 776 **S6:** (lacht)
- 777 **IA:** Aber eigentlich hättest du erwartet das es, das nix durchgeht.
- 778 **S6:** Nein.
- 779 **IA:** Erste Intuition?
- 780 **S6:** Erste Intuition, wenn's nicht durchpasst geht's nicht durch.
- 781 **IA:** Ok.
- 782 **S6:** Nur bei Licht gibt's so abgefeilte Sachen, dass genauso einfach wirklich durchge-
783 hen könnte.
- 784 **IA:** Ok.
- 785 **S6:** Also ja.
- 786 **IA:** Gut ich zeig dir wie das ausschauen würde, weil ich kann das da, na jetzt ist's
787 zu und so ist's enger.

- 788 **S6:** Na gut.
- 789 **IA:** Klar was da passiert? Was ist jetzt passiert?
- 790 **S6:** Na ja da . . entweder es geht nur noch ein Strahl durch, der auseinander gezerzt
791 wird. Also quasi die Seiten der Welle beugen sich um die Ding herum.
- 792 **IA:** Zeichnest du das nochmal daher, also quasi da das Eckerl.
- 793 **S6:** Gut. Ahm. Na wenn der Spalt ...
- 794 **IA:** Wart ich dreh nur ab.
- 795 **S6:** ... wenn der Spalt so ist und ...
- 796 **IA:** Uhm.
- 797 **S6:** ... ich hab hier eine Welle und die ...
- 798 **IA:** Ja.
- 799 **S6:** ... kommt da drauf zu.
- 800 **IA:** Uhm.
- 801 **S6:** Dann beugen sich die Enden um das rundherum und breiten sich so aus und
802 dadurch bekomme ich hier.
- 803 **IA:** Und wie breitet sich die Welle da jetzt aus?
- 804 **S6:** Ahh. Als schwächeres also jeder einzelne Punkt ist jetzt schwächer als der, als
805 die Ursprungswelle. Also die breitet sich in eine so trichterförmig so aus nach
806 vorne.
- 807 **IA:** Ok. Aber du siehst das immer als Strahl. Das ist ein Strahl, oder?
- 808 **S6:** Ja.
- 809 **IA:** Gut. Na gut. Na bitte. Sehr gut. So jetzt hamma die Beugung abgeschlossen
810 und dann kommen wir zu optischen Gittern. Wir haben da eins mit 80 Linien
811 pro Millimeter. Weißt du was ein optisches Gitter ist? Was das macht? Wozu
812 das gut ist?
- 813 **S6:** Nein.
- 814 **IA:** Willst das mal anschauen? Einfach mal. Also was heißt 80 Linien pro Millimeter?
- 815 **S6:** Das pro Millimeter einfach 80 Linien, einfach 80
- 816 **IA:** Spalten. Das dazwischen sind Spalten.
- 817 **S6:** Ja.
- 818 **IA:** Gut. Also was erwartest wenn ich das mit dem roten Laser wiedermal anleuchte.
819 Was wird da passieren?
- 820 **S6:** Hmm (Pause 8 s). Ich würd sagen es wird verzerrt.
- 821 **IA:** Was wird verzerrt?
- 822 **S6:** Das Licht, das (Pause 5 s)
- 823 **IA:** Ok. Jetzt können wir umblättern wieder.
- 824 **S6:** Also ich hab noch nie also gehört, dass eben, weiß ich's eben absolut gar nicht.
- 825 **IA:** Könnte das was wir vorher gemacht haben helfen?

826 **S6:** Ja defini, ja schon.

827 **IA:** Und zwar?

828 **S6:** Dann arbeite ich halt mit mehr als drei Spalten, so im Vergleich eben mit soviel
829 Spalten eben wie das Licht durchkommt. Ahm . . . Ja. Ist ganz gefinkelt (lacht)
830 Ahm . . . da müsst ich jetzt als drei oder vier, also das Licht das drei oder vier
831 Spalten kommt, könnt's halt dann och, könnt's halt dann noch ein größeres
832 Interferenzmuster bilden oder es bleibt einfach ein gerader Strahl.

833 **IA:** Du musst dich entscheiden.

834 **S6:** Also ich glaub es wird ein, ein gerader Strahl der in der Mitte heller ist und auf
835 den Seiten ein bisschen dünkler.

836 **IA:** Also ok, so wie die Beugung am Schluss quasi a bisserl.

837 **S6:** Ja. Nicht ganz so schwach.

838 **IA:** Oder so wie das

839 **S6:** So wie (blättert) ...

840 **IA:** Das beim offenen Spalt.

841 **S6:** ... ja so ähnlich wie beim offenen nur halt das es halt durchgehend stark sein
842 sollte.

843 **IA:** Ok. Dann schauen wir mal.

844 **S6:** Na guat.

845 **IA:** Schaut ein bisserl anders aus, oder?

846 **S6:** Ja.

847 **IA:** So. Also was siehst du.

848 **S6:** Also ich würd sagen ich seh.

849 **IA:** Wart hier ist jetzt da die Mitte. Ok.

850 **S6:** Ich seh Punkte, viele Punkte.

851 **IA:** Gut. Zeichnest du was du siehst.

852 **S6:** (zeichnet 6 s)

853 **IA:** San die so knapp beieinander?

854 **S6:** Na aufs Ganze.

855 **IA:** Wenn man das als die Breite von der Mappe nehmen.

856 **S6:** Aso na dann nicht.

857 **IA:** Wart da hast an Radierer, schau.

858 **S6:** (zeichnet 9 s)

859 **IA:** Ok. Gut. Warum schaut das so aus?

860 **S6:** Ahm (denkt 20 s) Na ja. Hmm (denkt 7 s) Ahm, keine Ahnung (lacht) um
861 ehrlich zu sein. Ahm . . . vielleicht wird einfach wirklich der Strahl nur aufgeteilt
862 in, in einfach so viel weitere wie es Spalten gibt.

863 **IA:** Ok.

- 864 **S6:** Und es also ah es beugt sich vielleicht nichts deswegen entsteht kein Muster.
- 865 **IA:** Okay.
- 866 **S6:** Oder es ist einfach ein riesiges Muster.
- 867 **IA:** Das Muster war sehr groß. Das muss man sagen. Ok. Jetzt nehmen wir 300
868 Linien pro Millimeter. Was wird sich ändern?
- 869 **S6:** Aahhh. Die Punkte . . entweder es kommen mehr Punkte, oder die Punkte gehen
870 weiter auseinander. Ahhh.
- 871 **IA:** 50:50-Chance würde ich jetzt sagen (lacht) aber hast du keine Idee wie wir das
872 bestimmen könnte?
- 873 **S6:** Na ja ausprobieren (lacht)
- 874 **IA:** Ausprobieren, das tun wir ja dann gleich, aber Regel hast du keine dafür gelernt.
- 875 **S6:** Nein.
- 876 **IA:** Ok. Also?
- 877 **S6:** Ich geh mit mehr Punkten.
- 878 **IA:** Ok. (Pause 10 s) Dann schauen wir mal.
- 879 **S6:** Shit. Falsch geraten (lacht). Ok.
- 880 **IA:** Gut. Und der nächste ist noch weitere draußen, aber es sind noch Punkte da
881 noch mehrere.
- 882 **S6:** Ja.
- 883 **IA:** Ok. Gut. Nächste Frage. Grünes Licht. Wird sich was ändern? Wenn ja warum?
884 Wird sich nichts ändern? Wenn ja, warum nicht?
- 885 **S6:** Uuhhmmm. Ja es wird sich was ändern.
- 886 **IA:** Und warum?
- 887 **S6:** Ja eben weil's einfach eine andere Frequenz hat.
- 888 **IA:** Ok. Und wie wird sich's ändern?
- 889 **S6:** Es wird heller.
- 890 **IA:** Heller?
- 891 **S6:** Ja.
- 892 **IA:** Aber das Muster bleibt gleich? Oder wird sich das ändern und warum und
893 weshalb? Also ich nehm jetzt wieder die 80 Linien weil da sieht man's besser.
- 894 **S6:** Ich glaub das Muster bleibt gleich.
- 895 **IA:** Das Muster bleibt gleich, die Abstände bleiben gleich nur heller wird's.
- 896 **S6:** Ja.
- 897 **IA:** Ok. Dann zeichne das jetzt so hin bitte. Das ist jetzt . . . Gut . . . dann schauen
898 wir mal nach. Der Grüne. Tata. Hat sich was geändert?
- 899 **S6:** Ja.
- 900 **IA:** Und zwar?
- 901 **S6:** Es hat die Streifen auf der Seite.

- 902 **IA:** Gut, und?
- 903 **S6:** Es sind extremst viele kleine Punkte außen rundherum. Ich mein das könnt
904 davon kommen, dass es . wüsste jetzt nicht worum.
- 905 **IA:** Ich hab irgendwas vergessen.
- 906 **S6:** (Pause 7 s) Es ist halt immer eine Linie die sich fast eigentlich immer trifft ...
- 907 **IA:** Ok. Aber du siehst trotzdem noch Punkte.
- 908 **S6:** ... und die durch alle. Ja.
- 909 **IA:** Und welchen Abstand haben die?
- 910 **S6:** Ein bisschen einen kleineren Abstand (Pause 7 s).
- 911 **IA:** Hast du eine Idee warum das jetzt so ist?
- 912 **S6:** Aahhmmm.
- 913 **IA:** So ich schalt da mal ab (Umbaugeräusche) Ich bereit nur schon das nächste vor.
914 Du überleg noch, oder sag einfach was (Umbaugeräusche 15 s)
- 915 **S6:** Ich weiß es einfach nicht.
- 916 **IA:** Ok. (Umbaugeräusche 13 s) Gut das nächste Experiment ist: wir werden eine
917 weiße Lichtquelle verwenden und wollen wissen was passiert wenn ich da diese
918 Lichtquelle durch das Gitter durchschicke.
- 919 **S6:** Gut.
- 920 **IA:** Was erwartest du zu sehen? (Umbaugeräusche 10 s) Irgendwas hats da mit dem.
921 Die falsche Lupe? Also weißes Licht.
- 922 **S6:** Hmm.
- 923 **IA:** Was erwartest du zu sehen?
- 924 **S6:** Ich glaub, also . . . ich glaub, das die Ding, das das Licht in die drei Farben
925 aufgeteilt wird.
- 926 **IA:** Ok. In die drei Farben heißt?
- 927 **S6:** Also in, in, in äh also in die RGB-Farben.
- 928 **IA:** Ok. Magst du das hinzeichnen was du erwartest. Dafür gibt's Buntstifte schau.
- 929 **S6:** (zeichnet 35 s)
- 930 **IA:** Ok. Und wi schaut's in der Mitte aus. (Umbaugeräusche)
- 931 **S6:** So wie's vorher war, sollt es eigentlich in der Mitte genauso stark sein wie außen.
- 932 **IA:** Nochmal was. Entschuldige ich hab dir nicht zugehört, was hast du in der Mitte
933 gesagt?
- 934 **S6:** Also ich hätt gesagt in der Mitte ist genau wie außen.
- 935 **IA:** (Umbaugeräusche) Ist das dreckig da geht doch nix durch. Ich will das fokussieren.
936 Wir müssen mit dem Schirm näher kommen. (Umbaugeräusche) Ja. Jetzt hab
937 ich's. So schaut's einmal aus ohne Gitter.
- 938 **S6:** Also ich würd sagen es teilt sich in den Farbraum, also in den RGB-Farbraum
939 auf.
- 940 **IA:** Ok. Dann schauen wir uns das an. Also ich brauch die Lupe nur zum fokussieren.

- 941 **S6:** Ja.
- 942 **IA:** Ich hoff, dass ist eh klar, oder. Gut. Also. Tata. Ok. So. Heut mag mich das
943 Experiment nicht. So. Ok. Es ist ein bisschen schwach, aber siehst du das, was
944 ist in der Mitte?
- 945 **S6:** Ist das rot? Oder sind das alle?
- 946 **IA:** Ok.
- 947 **S6:** Ich kenn's nicht ganz genau.
- 948 **IA:** So wart einmal.
- 949 **S6:** Schaut aus wie nur Rot.
- 950 **IA:** Ok. Also so a bisserl Rosa oder?
- 951 **S6:** Ja.
- 952 **IA:** Gut und auf der Seite?
- 953 **S6:** Auf der Seite sieht man blau ...
- 954 **IA:** Das ist das was du erwartet hast.
- 955 **S6:** ... grün, gelb, rot.
- 956 **IA:** Uhm.
- 957 **S6:** Also eigentlich sieht man, sieht man alle ...
- 958 **IA:** Und auf der anderen Seite ist's auch, wenn man das Ding weggeben würden.
- 959 **S6:** Ja sieht man eigentlich auch alle Farben.
- 960 **IA:** Ok. Skizzierst du das hin. Warum hast du das überhaupt so erwartet?
- 961 **S6:** Aaahhh.
- 962 **IA:** Also jetzt skizzier einmal und dann erklär mir's.
- 963 **S6:** Welche Reihenfolge war's nochmal?
- 964 **IA:** Soll ma nochmal schauen? Kein Problem.
- 965 **S6:** War's violett, nein blau, violett, ...
- 966 **IA:** Schau.
- 967 **S6:** Ok. Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett.
- 968 **IA:** Ok.
- 969 **S6:** (zeichnet) Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau.
- 970 **IA:** Uhm. Und in der Mitte?
- 971 **S6:** Gelb.
- 972 **IA:** In der Mitte war's gelb?
- 973 **S6:** Ja so gelblich-rosa. (zeichnet)
- 974 **IA:** Auf der anderen Seite vice-versa. Wart, wart, wart, nochmal schauen.
- 975 **S6:** Oder es dreht sich um.
- 976 **IA:** Schau
- 977 **S6:** Ah es dreht sich um.

- 978 **IA:** Warum hast du dir jetzt vorgestellt, dass da ein Regenbogen kommt?
- 979 **S6:** Aahhmm . . . Na weil's in die, na weil's, weil's mit, weil man bei dem eigentlich im
980 Endeffekt . . also bei dem Grünen war's halt so, dass es miteinander interferiert
981 hat und weil da weißes Licht eben aus der Kombination von . von eigentlich
982 allen, also weißes Licht entsteht aus der Kombination von allen Lichtfarben. Also
983 in weiterer Folge von RGB, von RGB-Spektrum, deswegen hab ich mir gedacht
984 das eigentlich nur die drei Farben klommen, nur Regenbogen macht eigentlich
985 auch Sinn weil's eben in alle Farben halt aufgeteilt ist und die dadurch einfach
986 so miteinander, also einfach so aufgespalten werden.
- 987 **IA:** Ah. Du hättest da gedacht, dass da wirklich nur Rot, Gelb und Blau ...
- 988 **S6:** Ja.
- 989 **IA:** ... kommt. Also richtig so richtig nur RGB.
- 990 **S6:** Ja.
- 991 **IA:** Ok. Verstehe. Ahhh. Ja und warum ist in der Mitte das. Also das Rosa wäre in
992 der Mitte Weiß, wenn's eine echte weiße Lichtquelle wäre.
- 993 **S6:** Ach so. Also das sollt weiß sein.
- 994 **IA:** Ja. Kannst du dir jetzt herleiten was das bedeutet?
- 995 **S6:** Na ja, wie, wie, wie beim, beim einzelnen Spalt vorher, dass es in der Mitte,
996 dass es in der Mitte entweder direkt durchkommt, oder dass sich grad alles so in
997 der Mitte trifft, dass es wieder weiß ist.
- 998 **IA:** Uhm.
- 999 **S6:** Also quasi addi, dass sich alle Farben einfach so additiv treffen das es wieder
1000 weiß ist, oder dass es in der Mitte einfach durchkommt ohne es zu verzerren.
- 1001 **IA:** Das weiße kommt direkt durch glaubst du.
- 1002 **S6:** Na entweder, oder. Ich weiß es nicht. Vielleicht kommt's direkt durch, oder ...
- 1003 **IA:** Ok.
- 1004 **S6:** ... es treffen sich alle Farben genau so, dass es wieder Weiß ist.
- 1005 **IA:** Gut. Dann sag ich danke.

6.4 Abstract

6.4.1 English Version

Understanding of wave-optics is an important but difficult task in every curriculum. There is not a lot of literature about problems of pupils in this field. This work shall take a look at difficulties of school-students in the field of wave-optics as support for the development of a quantitative test by Karolina Matejak of the University of Zagreb. After a literature-analysis, four important fields of wave-optics were identified, such as polarisation of light, double-slit-interference, single-slit-diffraction and optical grating. Karolina Matejak has therefore developed a semi-structured demonstration Interview in order to identify these difficulties which was also used by the author of this work for six students in four different classes in Austria.

After the interpretation of the interviews, we can see, that Austrian students have no qualitative understanding of the subject of wave-optics. All problems which were identified in the literature-analysis could be found for pupils in Austria, too. Especially the misunderstanding of quantum mechanical interpretations of wave-phenomena is a big problem.

6.4.2 Deutsche Version

Das Verständnis der Wellenoptik ist ein wichtiger aber schwieriger Bestandteil des Lehrplans an österreichischen Schulen. Es existiert kaum Literatur über die Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern zu diesem Thema, daher wurde eine Schulbuchanalyse durchgeführt und vor allem Literatur zu den Verständnisproblemen von Studentinnen und Studenten herangezogen. Diese Arbeit untersucht die Verständnisprobleme auf dem Gebiet der Wellenoptik von Schülerinnen und Schülern an österreichischen Schulen und liefert damit einen Beitrag zur Entwicklung eines quantitativen Tests von Karolina Matejak an der Universität Zagreb. Es wurden hierfür vier wichtige Gebiete der Wellenoptik - Polarisation, Interferenz, Beugung und optische Gitter - identifiziert. Für die Verständnisprobleme auf diesem Gebiet hat Karolina Matejak ein halbstrukturiertes Demonstrationsinterview entwickelt, welches vom Autor dieser Arbeit verwendet wurde, um sechs Schülerinnen und Schüler aus vier Klassen an österreichischen Schulen zu interviewen.

Nach der qualitativen Analyse dieser Interviews hat sich herausgestellt, dass große Verständnisschwierigkeiten nach dem Wellenoptikunterricht vorhanden sind. Alle in der Literatur für Studentinnen und Studenten gefunden Probleme traten auch bei den Schülerinnen und Schülern auf. Ein besonders großes Problem zeigte sich bei österreichischen Schülerinnen und Schülern durch den an den Wellenoptikunterricht anschließenden Quantenmechanikunterricht. Dies führte oftmals bei den Schülerinnen und Schülern zur Heranziehung von falschen quantenmechanischen Erklärungen für Wellenphänomene.

Literatur

- Ambrose, Bradley S. u. a. (1999). „An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double-slit interference“. In: *American Journal of Physics* 67.2, S. 146–155. URL: <http://dx.doi.org/10.1119/1.19210>.
- Apolin, Martin (2008). *Big Bang: Physik 6 RG: Approbiert für AHS-Oberstufe, Physik, 6. Klasse*. 1. Auflage. Wien: ÖBV. ISBN: 9783209048660.
- (2018). *Schülerbuch: Physik 7*. 1. Auflage. Wien: ÖBV. ISBN: 978-3-209-08589-4.
- BMB (10.09.2017). *AHS Lehrplan Physik*. Bundesministerium für Bildung. URL: https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_10_11862.pdf?61ebyx (besucht am 10.09.2017).
- Hammer, Karl, Hans Morass und Erich Raab (1977). *Lehrbuch der Physik*. Schulbuch-Nr. 6492. 8. verbesserte und erweiterte Auflage. Wien: R. Oldenbourg.
- Jaros, Albert, Alfred Nussbaumer und Peter Nussbaumer (2012). *Physik compact: Basiswissen 6 RG*. 1. Auflage. Wien: ÖBV. ISBN: 978-3-209-07212-2.
- Kircher, Ernst, Raimund Girwidz und Peter Häußler (2010). *Physikdidaktik: Theorie und Praxis*. 2. Aufl. Springer-Lehrbuch. Berlin: Springer. ISBN: 978-3-642-01601-1.
- Klein, Miles V. und Thomas E. Furtak (1988). *Optik*. ger. Springer-Lehrbuch. Berlin und Heidelberg: Springer. 514 S. ISBN: 3-540-18911-4.
- Kuypers, Friedhelm (2012). *Physik für Ingenieure und Naturwissenschaftler: Band 2: Elektrizität, Optik Und Wellen*. 3., überarbeitete und erweiterte. Weinheim: Wiley-VCH. ISBN: 9783527411443.
- Mayring, Philipp (2008). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. 10., neu ausgestattete. Beltz Pädagogik. Weinheim: Beltz. ISBN: 9783407255013.
- Mešic, Vanes u. a. (2016). „Comparing different approaches to visualizing light waves: An experimental study on teaching wave optics“. In: *Physical Review Physics Education Research* 12, S. 1–18.
- Nolting, Wolfgang (2013). *Grundkurs Theoretische Physik 3. Elektrodynamik*. ger. 10. Aufl. 2013. Springer-Lehrbuch. Berlin: Springer Spektrum. 677 S. ISBN: 978-3-642-37905-5.

- Schecker, Horst u. a. (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-662-57270-2.
- Sexl, Roman u. a. (2012). *Physik 7: Schulbuch: Approbiert für AHS-Oberstufe, Physik, 7. Klasse*. 1. Aufl. Wien: ÖBV. ISBN: 9783209072030.
- Wagner, Paul E., Georg P. Reischl und Gerhard Steiner (2012). *Einführung in die Physik*. ger. 2., neu bearbeitete Auflage. Wien: facultas.wuv. 1518 S. ISBN: 9783708908243.
- Walther, Thomas und Herbert Walther (2010). *Was ist Licht? Von der klassischen Optik zur Quantenoptik*. ger. Orig.-Ausg., 3., aktualisierte Aufl. Bd. 2122. Beck'sche Reihe C. H. Beck Wissen. Walther, Herbert (VerfasserIn). München: Beck. 4 S. ISBN: 978 3 406 44722 8.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Das rechtshändige, rechtwinkelige Koordinatensystem $\vec{E}_0$, $\vec{B}_0$ und $\vec{k}$. (Klein und Furtak 1988: S. 38)	12
1.2	Gangunterschied bei einem einfachen Spalt. Quelle: (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 435)	15
1.3	Beugung und Interferenz am Doppelspalt. Quelle: (Wagner, Reischl und Steiner 2012: S. 440)	16
1.4	Zwei Wellen gleicher Frequenz in kohärenter Phasenbeziehung.	18
1.5	Überlagerung zweier Wellen gleicher Frequenz mit einem Gangunterschied von einer Wellenlänge ($\Delta s = \lambda$).	19
1.6	Überlagerung zweier Wellen gleicher Frequenz mit einem Gangunterschied von einer halben Wellenlänge ($\Delta s = \frac{\lambda}{2}$).	19
1.7	Überlagerung zweier Wellen gleicher Frequenz mit einem beliebigen Gangunterschied Δs	19
1.8	Wellenverlauf beim Doppelspaltexperiment. Der Laser erzeugt eine Primärwelle. Durch die zwei Spalten werden zwei Sekundärwellen erzeugt, welche kohärent sind. Durch die unterschiedlichen Weglängen entsteht ein Gangunterschied und daher erscheint am Schirm ein Interferenzmuster. Die blauen Striche deuten die Ausbreitungsrichtung der Interferenzmaxima an.	20
1.9	In dem rechtwinkligen Dreieck ist der Gangunterschied Δs die Gegenkathete zum Winkel θ . Mit der Hypotenuse d folgt daher $\Delta s = d \sin(\theta)$	20
1.10	In dem rechtwinkligen Dreieck über den ganzen Spalt ist der Gangunterschied $2\Delta s$ zwischen den beiden Randstrahlen die Gegenkathete zum Winkel θ . Mit der Hypotenuse $2\frac{b}{2}$ folgt daher $2\Delta s = b \sin(\theta)$	21
2.1	Einige Studierende kamen zu dem Schluss, dass im Punkt A immer konstruktive Interferenz vorliegt, unabhängig vom Abstand der Quellen von einander.	26
2.2	Erklärung der Beugung im Schulbuch (Apolin 2008: S. 65).	28
2.3	Erklärung der Beugung im Schulbuch (Apolin 2018: S. 54).	29

3.1	Bei Frage 1b vorgelegtes Bild.	33
3.2	Die Abbildungen auf dem Schirm beim Doppelspaltversuch mit 0,25 mm Spaltabstand (links) und 1 mm Spaltabstand (rechts)	34
3.3	Vergrößerung der Abbildung des ersten Beugungsmaximums auf dem Schirm beim Doppelspaltversuch mit 0,25 mm Spaltabstand.	34
3.4	Skizze für die Berechnung der Interferenzminima.	35
3.5	Zur Frage 2i.	35
3.6	Zur Frage 2j.	36
3.7	Die Abbildungen auf dem Schirm beim Beugungsexperiment mit Spaltbreite 0,3 mm.	37
3.8	Die Abbildungen auf dem Schirm beim Beugungsexperiment mit Spaltbreite kleiner als die Wellenlänge.	37
3.9	Die Abbildungen auf dem Schirm mit einem optischen Gitter von 80 Linien pro Millimeter.	38
3.10	Die Abbildungen auf dem Schirm mit weißem Licht durch ein optisches Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.	38
4.1	Erwartung der Schülerinnen und Schüler beim Doppelspaltexperiment mit Spaltabstand 0,25 mm.	41
4.2	Beobachtung der Schülerinnen und Schüler beim Doppelspaltexperiment mit Spaltabstand 0,25 mm.	42
4.3	Skizzen zur Erklärung der Schülerinnen und Schüler zur Entstehung von Maxima und Minima beim Doppelspaltexperiment.	44
4.4	Erwartung des Schülers 3 beim Doppelspaltexperiment mit grünem Laser.	45
4.5	Erwartung der Schülerinnen und Schüler beim Doppelspaltexperiment mit Spaltabstand 1 mm.	46
4.6	Skizze von Schüler 6 zu den Fragen 2i und 2j.	49
4.7	Skizzen der Schülerinnen und Schüler zur Frage 2k.	51
4.8	Skizze der Schülerin 5 zur Frage 2k.	52
4.9	Erwartung der Schülerinnen und Schüler beim Einzelspaltexperiment mit Spaltbreite 2,5 mm.	54
4.10	Beobachtung der Schülerinnen und Schüler beim Einzelspaltexperiment mit Spaltbreite 2,5 mm.	55
4.11	Erwartung der Schülerinnen und Schüler beim Einzelspaltexperiment mit Spaltbreite 0,3 mm.	56
4.12	Beobachtung der Schülerinnen und Schüler beim Einzelspaltexperiment mit Spaltbreite 0,3 mm.	57
4.13	Skizze des Schülers 1 zur Frage 3e.	57
4.14	Skizze des Schülers 3 zur Frage 3e.	58
4.15	Skizze des Schülers 4 zur Frage 3e.	59
4.16	Skizze der Schülerin 5 zur Frage 3e.	59

4.17 Skizze des Schülers 6 zur Frage 3e.	60
4.18 Erwartung der Schülerinnen und Schüler beim Einzelspaltex- periment mit Spaltbreite kleiner 0,3 mm.	61
4.19 Beobachtung der Schülerinnen und Schüler beim Einzelspalt- experiment mit Spaltbreite kleiner 0,3 mm.	62
4.20 Skizzen des Schülers 3 zu den Fragen 3h (links) und 3i (rechts).	62
4.21 Skizzen der Schülerin 2 zu den Fragen 3h (links) und 3i (rechts).	63
4.22 Skizze zur Erklärung des Schülers 1 zu Frage 3h.	64
4.23 Skizze des Schülers 4 zur Erklärung zu Frage 3h.	65
4.24 Skizze des Schülers 6 zur Erklärung zu Frage 3h.	66
4.25 Erwartungen der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit dem optischen Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.	68
4.26 Beobachtungen der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit dem optischen Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.	69
4.27 Erwartungen der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit dem optischen Gitter mit 300 Linien pro Millimeter.	70
4.28 Beobachtungen der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit dem optischen Gitter mit 300 Linien pro Millimeter.	71
4.29 Erwartung der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit grünem Laser und dem optischen Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.	72
4.30 Beobachtung der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit grünem Laser und dem optischen Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.	73
4.31 Erwartung der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit weißem Licht und dem optischen Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.	73
4.32 Beobachtung der Schülerinnen und Schüler beim Experiment mit grünem Laser und dem optischen Gitter mit 80 Linien pro Millimeter.	74