

Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsexamensprüfung
für das Lehramt an Gymnasien im Fach Physik,
eingereicht der Hessischen Lehrkräfteakademie
– Prüfungsstelle Frankfurt –

Thema: Konzeption von Info-Postern zur Frankfurter
Beschleunigerhalle

Verfasserin: Viktoria Tezlow

Gutachter: Prof. Dr. Thomas Wilhelm

Fach: Physik

Abgabedatum: 19.11.2021

Name	Viktoria Tezlow
Studiengang	Lehramt für Gymnasien (L3): Mathematik und Physik

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	
1. Einleitung	1
2. Übersicht der rechten Hallenseite	2
2.1 Grundlagen	2
2.1.1 Ionenquellen und Laserstrahlen	3
2.1.2 Übersicht der Experimente	3
3. Physikalische Grundlagen der rechten Hallenseite	5
3.1 Astrophysik (Röntgenteleskope)	5
3.2 Materialforschung	6
3.3 Atomphysik (COLTRIMS)	7
3.4 Strukturuntersuchung von Helium-Verbindungen	9
3.5 Test von Strahlführungselementen	10
3.6 Frankfurter Speicherring	11
4. Physikalische Grundlagen der linken Hallenseite	13
4.1 Ionenquelle	13
4.2 Radio-Frequenz-Quadrupol (RFQ)	13
4.3 Supraleitender Beschleuniger	16
4.4 Kugeldetektor	18
5. Konzeption des Posters zur rechten Hallenseite	20
5.1 Konzeptionsidee	20
5.2 Konzeption des Posters	20
5.2.1 Verwendetes Computerprogramm	20
5.2.2 Layout	21
5.2.3 Überschrift	22
5.2.4 Fotografie der Halle	22
5.2.5 Bildbearbeitung	22
5.2.6 Platzierung des Bildes und Gestaltung der Sprechblasen	27
5.2.7 Didaktische Überlegungen zum Text	29
6. Konzeption des Posters zur linken Hallenseite	34
6.1 Konzeptionsidee	34
6.2 Konzeption des Posters	34

6.2.1 Layout	34
6.2.2 Überschrift.....	35
6.2.3 Bilder.....	35
6.2.4 Didaktische Überlegungen zum Text.....	36
7. Bewertung des Posters zur rechten Hallenseite durch Schüler*innen	43
7.1 Planung des Interviews & didaktische Vorüberlegungen	43
7.2 Entwicklung der Leitfragen.....	44
7.3 Durchführung	44
7.4 Auswertung der Interviews	45
7.4.1 Auswertung Interview 1	45
7.4.2 Auswertung Interview 2	48
8. Überarbeitung des Posters zur rechten Hallenseite	54
9. Bewertung des Posters zur linken Hallenseite durch Schüler*innen	58
9.1 Planung des Interviews & didaktische Vorüberlegungen	58
9.2 Entwicklung des Leitfadens	58
9.3 Durchführung	58
9.4 Auswertung der Interviews	59
9.4.1 Auswertung Interview 1	59
9.4.2 Auswertung Interview 2	62
10. Überarbeitung des Posters zur linken Hallenseite.....	68
11. Fazit.....	72
Danksagung.....	74
Literaturverzeichnis.....	75
Abbildungsverzeichnis	77
Anhang	79
Anhang 1: Poster vor Interviews.....	79
Anhang 1.1: Poster (rechte Hallenseite).....	79
Anhang 1.2: Poster (linke Hallenseite)	80
Anhang 2: Interview (rechte Hallenseite)	81
Anhang 2.1: Interview 1.....	81
Anhang 2.2: Interview 2.....	86

Anhang 3: Interview (linke Hallenseite)	92
Anhang 3.1: Interview 1.....	92
Anhang 3.2: Interview 2.....	96
Anhang 4: Poster nach Interviews.....	101
Anhang 4.1: Poster (rechte Hallenseite).....	101
Anhang 4.2: Poster (linke Hallenseite)	102
Eigenständigkeitserklärung	103

Abkürzungen

Abkürzungen	Bedeutung
CERN	Conseil européen pour la recherche nucléaire
COLTRIMS	Cold Target Recoil Ion Momentum Spectroscopy
EZR-Ionenquelle	Elektronzyklotronresonanzionenquelle
FLSR	Frankfurter-Low-Energy-Storage-Ring
GIMP	GNU Image Manipulation Program
GSI	Gesellschaft für Schwerionenforschung
IAP	Institut für Angewandte Physik
IKF	Institut für Kernphysik
RFQ	Radio-Frequenz-Quadrupol

1. Einleitung

So manch einer war schon im Café Physik auf dem Riedberger Campus der Goethe-Universität Frankfurt und hat sich dort gefragt, was die Physiker*innen hinter den bodenlangen Fenstern machen. Hinter ihnen befinden sich in einer riesigen Forschungshalle viele aufwändige Geräte, lange Rohre, kiloweise Aluminiumfolien und einige Computer. Manchmal sehen Besucher*innen des Café Physik auch Physiker*innen neben den großen technischen Anlagen, aber kaum einer weiß, was sie dort genau machen.

Die Forschungshalle wird von den Physiker*innen in zwei Teile unterteilt. Einmal in die rechte Hallenseite, die Besucher*innen vom Café Physik aus anschauen können und einmal in die linke Hallenseite, die nicht einsehbar ist, da große Kühlsysteme hinter den Fenstern stehen. In der rechten Hallenseite wird an verschiedenen Experimenten mit beschleunigten Teilchen geforscht und in der linken Hallenseite werden die Geräte für die Forschung, z.B. die Beschleuniger, gebaut.

Tausende von Schüler*innen im Jahr besuchen das Café Physik im Rahmen des Schülerlabors und wissen nicht, was in der Beschleunigerhalle passiert. Als Orientierungshilfe für interessierte Schüler*innen, Studierende und Außenstehende werden zwei DIN A0-Poster zur gesamten Forschungshalle erstellt. Diese Poster sollen einen Einblick in die physikalische Forschung der Goethe-Universität geben und soweit elementarisiert werden, dass sie für Schüler*innen ab der E-Phase verständlich sind. Beim Erstellen der Poster werden die physikalischen und chemischen Voraussetzungen der Schüler*innen laut Kerncurriculum berücksichtigt. Die Entwicklung der Poster und die didaktischen Gedanken werden in dieser Examensarbeit beschrieben.

Nach dem ersten Entwurf der Poster und der fachlichen Rückmeldung durch die Physiker*innen, werden die Poster probeweise gedruckt und anschließend von Schüler*innen der E-Phase mithilfe von Interviews bewertet. Die durchgeführten Interviews sollen als Rückmeldung für den ersten Entwurf der Poster dienen, um sie danach zu überarbeiten.

Am Ende wird der Entwicklungsprozess der finalen Version der Poster beschrieben und anschließend werden die Poster in Druck gegeben und aufgehängt.

2.1.1 Ionenquellen und Laserstrahlen

Zuerst werden für die Experimente Teilchen oder Laserstrahlen benötigt, die hinter den Betonwänden erzeugt werden. In der Halle gibt es dafür drei unterschiedliche Quellen, die in Abbildung 1 durch blaue Kästen gekennzeichnet werden.

Die erste Teilchenquelle ist der **van-de-Graaff-Beschleuniger**, der neben der Erzeugung von Ionen mit hoher Energie und niedriger positiver Ladung, auch noch Protonen auf hohe Geschwindigkeit beschleunigen kann. Mit beeindruckenden $2,5 \text{ MeV}$ werden die Protonen in die Röhren auf bis zu $6.080.000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ beschleunigt. Auf diese Größenordnung der Geschwindigkeit werden die Schüler*innen durch einen Vergleich zu einem Überschallflugzeug auf dem Poster aufmerksam gemacht.

Die nächste Teilchenquelle ist die **Elektronzyklotronresonanzionenquelle** (EZR-Ionenquelle). Im Gegensatz zum van-de-Graaff-Beschleuniger kann die EZR-Ionenquelle Ionen mit sehr hoher Ladung (z.B. Ar^{8+}) und niedriger Energie erzeugen. Die EZR-Ionenquelle kann Ionen mit einer Energie bis zu 30 keV erzeugen, also deutlich geringere Energien, als der van-de-Graaff-Beschleuniger.

Bei der Wahl der Ionenquelle hängt es also immer davon ab, welche Art von Ionen die Physiker*innen in Bezug auf die mögliche Energie und Ladung für die Experimente benötigen.

Die dritte Quelle ist keine Ionenquelle, sondern eine **Quelle für Laserstrahlen**. Diese befindet sich im Laserlabor 00.503.

Ein weiteres Laserlabor befindet sich in Raum 00.505, welches mit einem Experiment (schwarzer Kasten) in der Halle verbunden ist. Dieses Experiment wird nicht näher erläutert, da auf dem Poster in dieser Ecke nicht genug Platz ist und das Experiment in der Halle meistens verdeckt ist.

2.1.2 Übersicht der Experimente

Die Protonen aus dem van-de-Graaff-Beschleuniger werden mithilfe von Magneten und Röhren in die jeweiligen Experimente zur **Astrophysik**, zur **Materialforschung** oder zur **Atomphysik** gelenkt.

Die Laserstrahlen aus dem Laserlabor 00.503 werden über Röhren und Spiegel in das Experiment zur **Strukturuntersuchung** von Helium-Verbindungen gelenkt.

Die Ionen aus der EZR-Ionenquelle werden bei Bedarf mit dem **Radio-Frequenz-Quadrupol** (RFQ) noch weiter beschleunigt, um dann zum Experiment für das **Testen von Strahlführungselementen** zu gelangen. Der RFQ ist leider vom Café Physik schwerer zu sehen, da er unten ganz vorne steht, sodass er nicht auf das Bild für das Poster zur rechten Hallenseite gepasst hat. Dafür erscheint der RFQ auf dem Poster für die linke Hallenseite, der weiter bei den physikalischen Grundlagen für die linke Hallenseite erklärt wird. Ein weiteres Experiment ist der **Frankfurter-Low-Energy-Storage-Ring** (FLSR), der die Ionen aus der EZR-Ionenquelle verwendet.

3. Physikalische Grundlagen der rechten Hallenseite

Die physikalischen Grundlagen basieren auf Gesprächen mit Herrn Dr. Lothar Schmidt (Institut für Kernphysik) und Herrn Dr. Oliver Meusel (Institut für Angewandte Physik). An manchen Stellen werden die Experimente oberflächlicher erklärt, an manchen Stellen vertiefter mit Bezug auf Literatur. Deswegen variiert der Schwierigkeitsgrad zwischen den Experimenten. Bei vertieftem Interesse an den Experimenten können sich die Lesenden an die jeweiligen Institute wenden.

3.1 Astrophysik (Röntgenteleskope)

Bei diesem Experiment ist für Astrophysiker*innen von Interesse, wie an satellitengestützten Röntgenteleskopen kosmische Teilchenstrahlung reflektiert wird. Ein exemplarisches Röntgenteleskop, das sogenannte XMM-Newton, ist in Abb. 2 zu sehen.



Abbildung 2: Röntgenteleskop XMM-Newton
Quelle:

https://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-5163/8674_read-19140/8674_page-2/gallery-1/216_read-3/ [05.10.21]

Diese kosmische Teilchenstrahlung ist eine natürliche Strahlung aus dem Weltraum und besteht aus energiereichen atomaren Teilchen, vorwiegend aus Protonen (vgl. Schwenner 2021). Außerdem trifft man im Weltraum auf Röntgenstrahlung, die z.B. von Schwarzen Löchern oder auch Sternen erzeugt wird. Solche Röntgenteleskope messen also die aus dem Weltraum entstandene Röntgenstrahlung und ihre Reflexion im Teleskop.

Befinden sich die Röntgenteleskope im Weltraum, können Astrophysiker*innen messen, aus welchen Richtungen die kosmische Teilchenstrahlung herkommt. Also ist unter anderem ihr Ziel zu untersuchen, wo im Universum die Quellen der kosmischen Teilchenstrahlung liegen. Anstelle der kosmischen Teilchenstrahlung wird in der rechten Hallenseite der Ionenstrahl des van-de-Graaff-Beschleunigers benutzt. Bei der Optik des Teleskops gibt es aber ein Problem für die Astrophysiker*innen. Wenn sie im 90° Winkel auf eine Spiegeloberfläche schießen, dringen die Ionen in die Spiegeloberfläche ein. Wenn die Ionen unter einem sehr kleinen Winkel auf die Spiegeloberfläche treffen, kommt es zur Reflexion der Ionen. Schon bei einem Winkel von größer als 3° werden sie nicht mehr reflektiert und durchdringen die Spiegeloberfläche, was zu vermeiden ist. Die Theorie ist den Astrophysiker*innen bekannt, aber sie wollen mit diesem Experiment praktisch sehen, was genau passiert und unter welchen Bedingungen die simulierte Teilchenstrahlung an dem Röntgenteleskop reflektiert wird.

3.2 Materialforschung

Mit diesem Experiment soll geprüft werden, wie schnell und wie weit Wasserstoff in Festkörpern diffundiert. Wasserstoff in Metallen kann zu Versprödungen des Metalls und anschließend zu möglichen Rissen führen. Somit untersuchen die Physiker*innen den Alterungsprozess von speziellen Legierungen, indem sie messen, wie weit der Wasserstoff in den Festkörper gelangt ist. Bei diesem Vorgehen tasten sich die Physiker*innen in die Tiefe der Probe mithilfe von Kernreaktionen vor und können damit eine tiefenaufgelöste Materialanalyse durchführen. Hierbei handelt es sich um ein komplexes physikalisches Vorgehen, welches im Folgenden vereinfacht dargestellt wird.

Statt Wasserstoff benutzen die Physiker*innen als Probe Deuterium, welches im Vergleich zu Wasserstoff zusätzlich ein Neutron enthält. Der Vorteil von Deuterium ist, dass bei diesem Stoff Kernreaktionen leichter stattfinden können. Für die Materialanalyse schießen die Physiker*innen Helium-Isotope aus dem van-de-Graaff-Beschleuniger mit unterschiedlich hohen Geschwindigkeiten auf das zu untersuchende Material. Wenn die Isotope auf das Deuterium treffen, kommt es durch Stöße der Isotope zu einer gleichmäßigen Abbremsung, sodass sie irgendwann auf die richtige Geschwindigkeit kommen, bei der eine Kernreaktion mit Deuterium möglich ist. Bei einer Reaktion zerfällt das Deuterium und es entsteht charakteristische γ -Strahlung, die detektiert wird. Wenn solche γ -Strahlung detektiert wird, wissen die Physiker*innen, dass eine Kernreaktion stattgefunden hat und dass Deuterium in einer bestimmten Tiefe im Material gefunden wurde. Im Prinzip werden die Tiefen des Materials Schritt für Schritt durch unterschiedliche Einschussenergien untersucht und im Endeffekt Tiefenprofile des Materials erstellt. In Abbildung 3 befindet sich ein Ausschnitt von diesem Experiment.

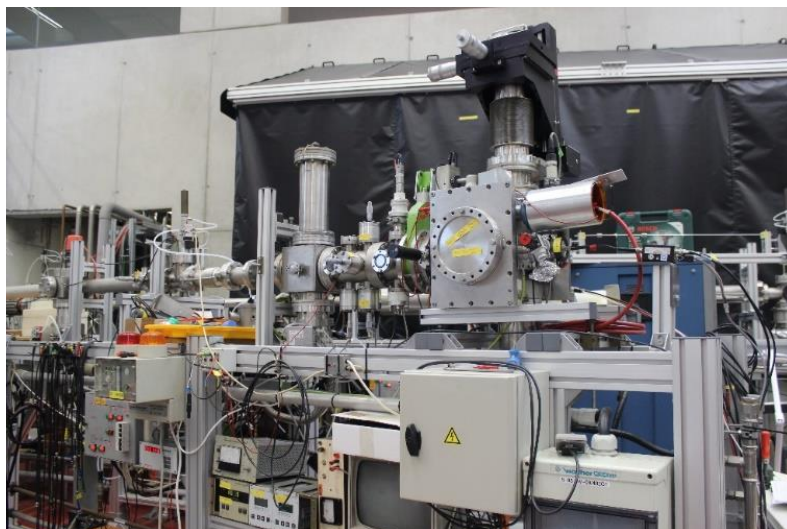


Abbildung 3: Ausschnitt des Experiments zur Materialforschung

3.3 Atomphysik (COLTRIMS)

An diesem Atomphysik Experiment forschen Herr Prof. Dr. Dörner und seine Arbeitsgruppe. Die wichtigste Apparatur ist das Reaktionsmikroskop, das sogenannte **COLTRIMS** (**C**old **T**arget **R**ecoil **I**on **M**omentum **S**pectroscopy). Dieses wurde von den Frankfurter Physiker*innen generationsweise gebaut und weiterentwickelt. Mit diesem Spektrometer untersuchen die Physiker*innen den Aufbau von Molekülen und wie eine chemische Bindung mit den jeweiligen Bestandteilen eines Moleküls entsteht. Da sich Elektronen nach den Gesetzen der Quantenmechanik immer nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit an einem bestimmten Ort aufhalten, wollen Physiker*innen außerdem herausfinden, ob bei einer Ionisation eines Moleküls das Elektron auf einer Seite des Moleküls früher als auf der anderen Seite herausgelöst wird.

Um die Funktionsweise des COLTRIMS besser zu verstehen, folgt nun ein passendes Zitat von Herrn Prof Dr. Dörner:

„Mit unserem Reaktionsmikroskop schauen wir auf indirekte Weise hin. Wir zersplittern zunächst das Molekül mit Röntgenstrahlung und setzen es dann wieder zusammen. Stellen Sie sich vor, eine Leuchtrakete explodiert und die einzelnen leuchtenden Kügelchen regnen entsprechend ihrer Anordnung in der Rakete herunter. Sammeln Sie nun die Brocken aus ihrem Vorgarten auf und untersuchen die Einschlaglöcher, so können Sie errechnen wie die Rakete aussah – beziehungsweise das Molekül.“ (Dörner, R. 2016).

In Abbildung 4 sind das COLTRIMS und die charakteristischen Helmholtzspulen zu sehen.

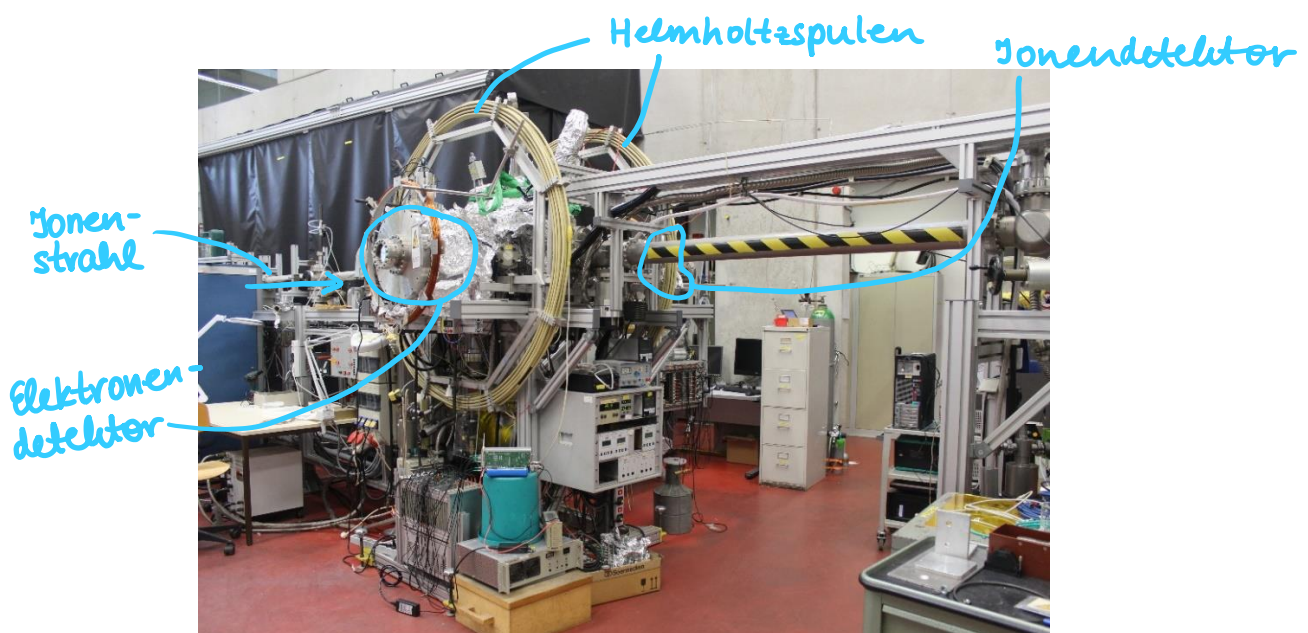


Abbildung 4: COLTRIMS in der Beschleunigerhalle

Von links gelangt der Ionenstrahl aus dem van-de-Graaff-Beschleuniger in das Spektrometer hinein. In Abbildung 5 trifft dieser Ionenstrahl (von unten links kommend) dann auf das zu untersuchende Molekül im Gasstrahl (von unten nach oben) und ionisiert es (vgl. Dörner, R. & Moshhammer, R. 2015, S. 61).

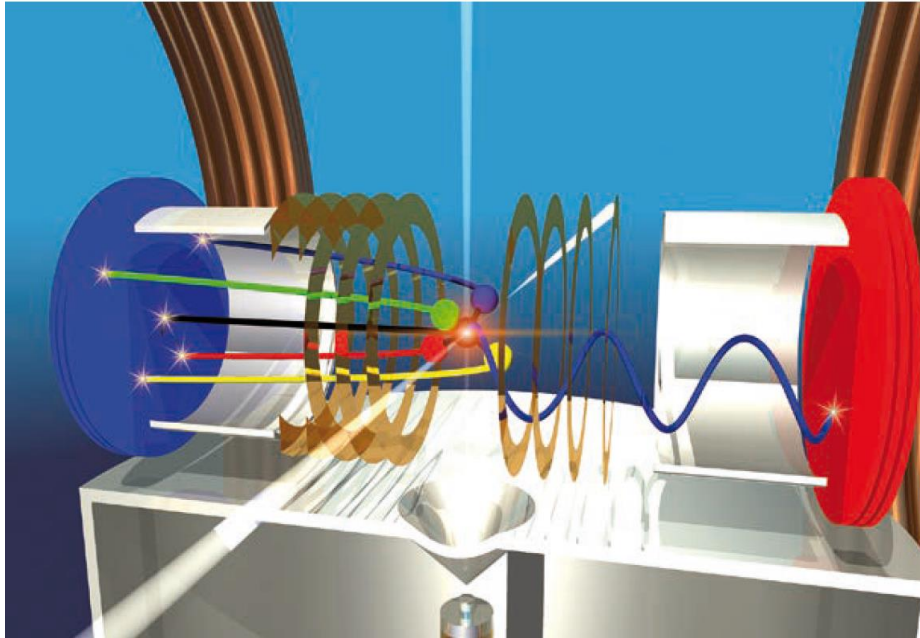


Abbildung 5: Ionisierung des Gasstrahls (von unten nach oben) und anschließende Detektion der Bruchstücke (Ionenfragmente & Elektronen)

Quelle: Dörner, R. & Moshhammer, R. (2015). Das ganze Bild aus Bruchstücken. Physik Journal 14, Nr. 8/9

Bei der Ionisierung werden die Moleküle im Gasstrahl in ihre Bruchstücke zersplittert, also in Elektronen und dadurch resultierende Ionen-Fragmente. Durch das angelegte elektrische Feld wandern die Ionen zum blauen Detektor und werden dort nachgewiesen. Die Helmholtzspulen zwingen die Elektronen auf Spiralbahnen und sie werden durch das elektrische Feld zum roten Detektor beschleunigt. Laut Herr Dr. Lothar Schmidt werden die Elektronen durch die Helmholtzspulen auf Spiralbahnen geführt, damit alle Elektronen den Detektor erreichen. Dies würden die Physiker*innen nicht erreichen, wenn nur elektrische Felder herrschen. Im Endeffekt messen sie die Flugzeiten und die jeweiligen Auftrefforte der Bruchstücke, um damit die kinetische Energie und die Richtung zu erhalten, mit der die jeweiligen Bruchstücke erzeugt wurden (vgl. ebd.). Somit lässt sich der Molekülaufbau vollständig rekonstruieren.

3.4 Strukturuntersuchung von Helium-Verbindungen

In Abbildung 6 befindet sich die Apparatur zur Strukturbestimmung von Helium-Dimeren und Helium-Trimeren. Links im Bild befindet sich ein weiteres COLTRIMS. Helium-Dimere sind Moleküle, die aus zwei Heliumatomen bestehen. Helium-Trimere sind dementsprechend Moleküle, die aus drei Heliumatomen bestehen. Diese Helium-Verbindungen sind komplex gebunden und deren Struktur nicht immer eindeutig, sodass die Untersuchung der Struktur mithilfe eines COLTRIMS erfolgt.

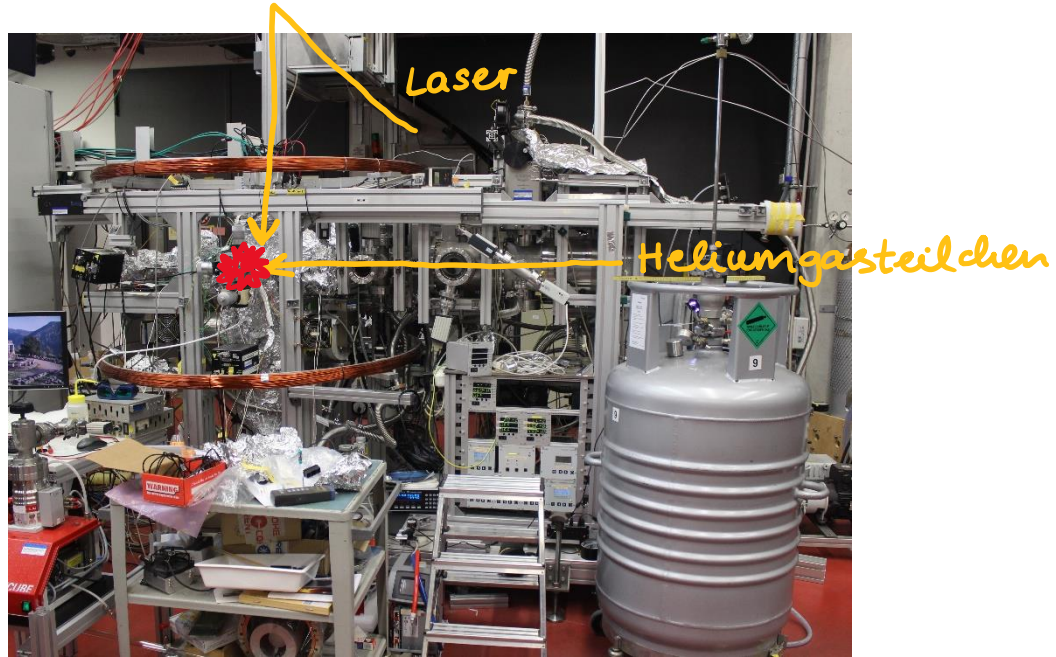


Abbildung 6: Apparatur zur Strukturbestimmung von Helium-Dimeren und Helium-Trimeren mit dem COLTRIMS

Der Laser ist hier das Werkzeug, um die Helium-Verbindungen im COLTRIMS zu ionisieren. Nach dem Prinzip des COLTRIMS werden die Helium-Ionen und deren Elektronen detektiert und durch die Flugzeitmessung und den Auftrefforten der Bruchstücke werden Rückschlüsse auf die Struktur der Helium-Verbindungen gezogen.

3.5 Test von Strahlführungselementen

In diesem Experiment werden Strahlführungselemente (Plasmalinsen) getestet, die die Ionenstrahlen aus der EZR-Quelle fokussieren.

Große Forschungseinrichtungen wie CERN in der Nähe von Genf und die GSI in Darmstadt benötigen Beschleuniger, die die Ionenstrahlen fokussieren, um damit ihre Experimente durchführen zu können. Sie lassen diese Ionenstrahlen mit Probenmaterial kollidieren, um die Wechselwirkungen studieren können. Wenn die Ionenstrahlen unzureichend fokussiert werden würden, dann würden die unterschiedlichen Teilchenstrahlen aneinander vorbeifliegen, statt miteinander zu reagieren.

Um einen Ionenstrahl zu fokussieren, benötigen die Physiker*innen magnetische oder elektrische Kräfte, die transversal auf den Ionenstrahl wirken. Dafür benutzen sie Elektronenwolken, in denen die Elektronen frei beweglich sind. Wenn sie nun ganz viele Elektronenwolken in einem Raum einsperren, dann addieren sich ihre Eigenfelder, sodass die Physiker*innen die Kraft aus den Elektronenwolken benutzen, um den Ionenstrahl zu fokussieren. Das Gerät, welches die Elektronen in einem Raum einsperrt, heißt Plasmalinse (siehe Abb. 7). Diese Fokussierung findet statt, da durch das Wechselwirken des Ionenstrahls mit den Elektronenwolken ein elektrisches Feld entsteht, welches der gegenseitigen Abstoßung der Ionen im Strahl entgegenwirkt.

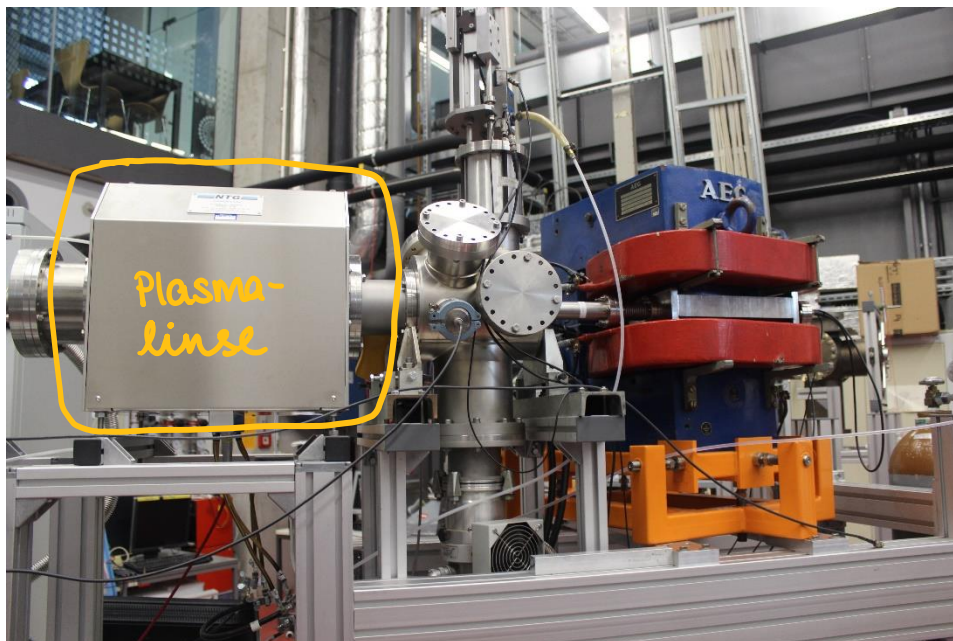


Abbildung 7: Ausschnitt des Versuchs "Test von Strahlführungselementen"

3.6 Frankfurter Speicherring

Der **FLSR** (Frankfurter-Low-Energy-Storage-Ring) ist ein Speicherring, der niederenergetische Molekül-Ionen beim Durchfliegen des Rings untersucht, wie sich Moleküle bewegen und welche Aufbruchsenergie ein Molekül beim Zerfall hat.

Beim FLSR werden die Ionen aus der EZR-Ionenquelle mit einer hohen Geschwindigkeit in den Ring geschossen und treffen dann auf den Gasstrahl, der an der gelb eingezeichneten Stelle des FLSR von oben nach unten verläuft (siehe Abb.8).

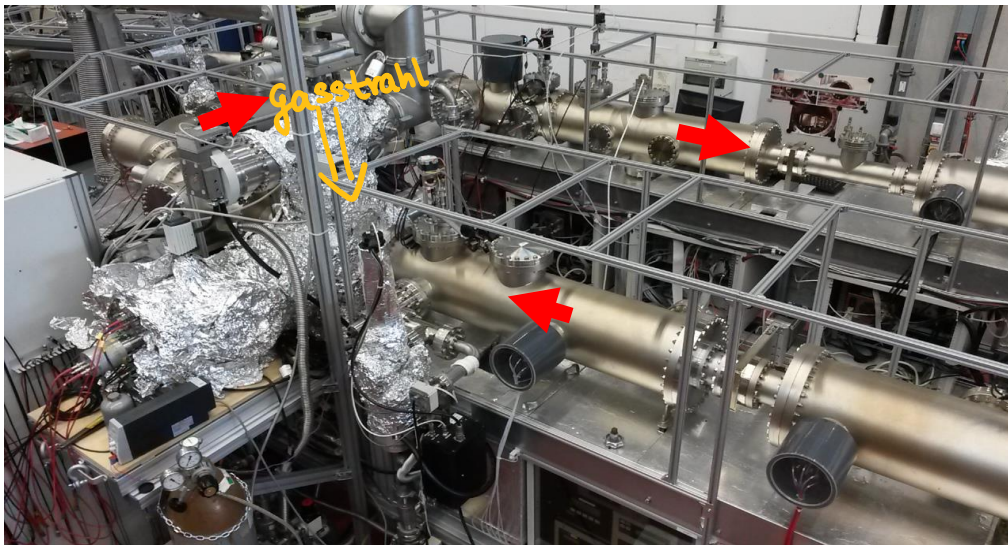


Abbildung 8: Ausschnitt des FLSR

Wenn die Moleküle auf den Gasstrahl treffen, dann können unterschiedliche Wechselwirkungen passieren. Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit kann sich das Molekül ein Elektron aus dem Gasstrahl einfangen. Dabei wird ein positiv geladenes Molekül neutral und fliegt geradeaus weiter, bleibt also nicht mehr in der Ringstruktur erhalten. Mit einer noch kleineren Wahrscheinlichkeit zerfällt das Molekül durch den Zusammenprall mit dem Gasstrahl in z.B. zwei Fragmente, deren zeitlicher und räumlicher Abstand mit einem Detektor gemessen wird. Dadurch können die Physiker*innen die Aufbruchsenergie vom Molekül messen.

Die Physiker*innen könnten statt des Gasstrahls einen Festkörper in den FLSR positionieren. Dabei würden die Moleküle gegen den Festkörper prallen und alle Ionen auf einen Schlag verlieren, da sie vom Festkörper aufgenommen werden. Nutzen sie stattdessen einen Gasstrahl, findet die Wechselwirkung nur bei ganz wenigen Ionen statt. Die anderen Ionen verweilen weiterhin im Ring und reagieren beim nächsten oder übernächsten Mal beim Passieren des Gasstrahls. In einem Speicherring können Physiker*innen solche Wechselwirkungen und

Bewegungen der Moleküle besser erforschen, da sie nicht alle Ionen auf einmal z.B. durch einen Festkörper verlieren.

4. Physikalische Grundlagen der linken Hallenseite

4.1 Ionenquelle

Dies ist eine 200mA Ionenquelle, die eine Trillion positiv geladene Wasserstoffteilchen pro Sekunde erzeugen kann.

Zuerst treten durch Glühemission aus dem Wolfram-Filament (Glühkathode) Elektronen aus, welche dann durch das angelegte elektrische Feld zwischen dem Wolfram-Filament und der Anode zur Anode beschleunigt werden. Diese beschleunigten Elektronen ionisieren während ihres Flugs die neutralen Wasserstoffmoleküle, entreißen also dem Wasserstoff seine Elektronen, sodass positiv geladene Wasserstoffteilchen entstehen. Der Fachbegriff dieses Prozesses lautet Elektronenstoßionisation. Um die neutralen Wasserstoffmoleküle ionisieren zu können, müssen die stoßenden Elektronen mindestens die Ionisierungsenergie von Wasserstoff aufbringen.

In Abbildung 9 ist eine entwickelte Ionenquelle des IAP zu sehen.

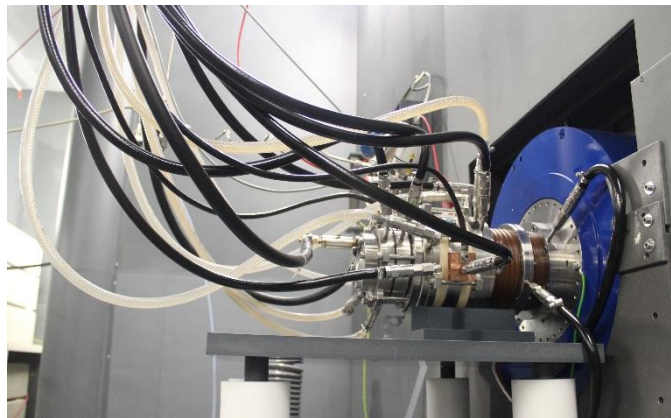


Abbildung 9: Ionenquelle

4.2 Radio-Frequenz-Quadrupol (RFQ)

Die Aufgabe eines Radio-Frequenz-Quadrupols (RFQ) ist die Beschleunigung von Ionen, damit sie für unterschiedliche Kollisionen mit Proben die benötigte Energie besitzen und somit eine Reaktion stattfindet. Das Besondere dabei ist, dass der kompakte RFQ den Ionenstrahl gleichzeitig beschleunigen, fokussieren und in einzelne Ionenpakete formen kann.

Im Inneren des RFQ befinden sich vier annähernd sinusförmige Elektroden in einer sogenannten Quadrupolstruktur (vgl. Vossberg 2011, S. 16), welche in Abbildung 10 zu sehen ist. Es sind immer zwei gegenüberliegende Pole gleichpolig ausgerichtet, die jedoch ständig umgepolt werden.

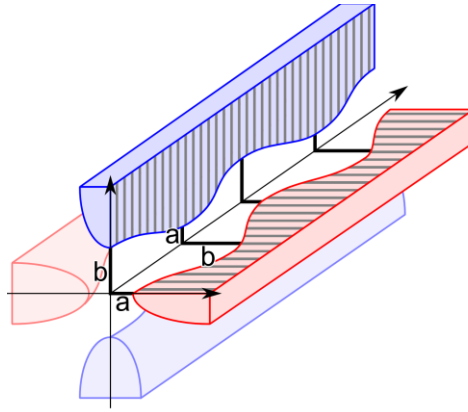


Abbildung 10: Sinusförmige Elektroden im RFQ

Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/RFQ_accelerator_schematic.svg [15.10.2021]

Für die Beschleunigung der Ionen wird ein longitudinales Feld in Flugrichtung benötigt, deshalb wurden spezielle sinusförmige Elektroden entwickelt. Bei glatten Elektroden würden die Ionen einfach nach oben oder unten und nicht längs durch den RFQ beschleunigt werden. Durch die sinusförmigen Elektroden wirkt eine longitudinale Kraft längs des RFQ, sodass die Ionen beschleunigt werden. Da sich die Geschwindigkeit der Ionen immer weiter erhöht, werden die Abstände der einzelnen Berge und Täler der Elektroden immer größer, damit es nicht zu einer Abbremsung der Ionen kommt.

Zur Strahlfokussierung benötigen die Physiker*innen transversale Felder, also Felder senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Wenn z.B. ein positiv geladenes Teilchen durch den RFQ fliegt, dann würde es durch die Anoden defokussiert werden, weil es durch die negativen Pole auseinandergezogen wird (siehe Abb. 11). Durch die Kathoden wird das positiv geladene Teilchen in senkrechter Richtung fokussiert, da es von den Kathoden zusammengezogen wird.

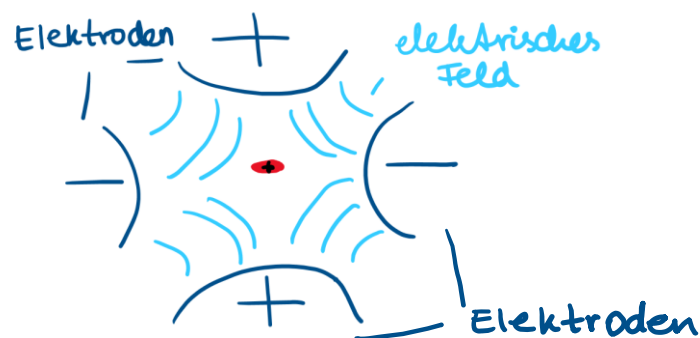


Abbildung 11: In waagerechter Richtung wird das positiv geladene Teilchen defokussiert und in senkrechter Richtung fokussiert.

Durch die angelegte Hochfrequenz werden die Elektroden umgepolt und es folgt die nächste Fokussierung bzw. Defokussierung. Nun wird das positiv geladene Teilchen in waagerechter Richtung fokussiert und in senkrechter Richtung defokussiert. Somit wird das Ion entlang des RFQ immer weiter fokussiert.

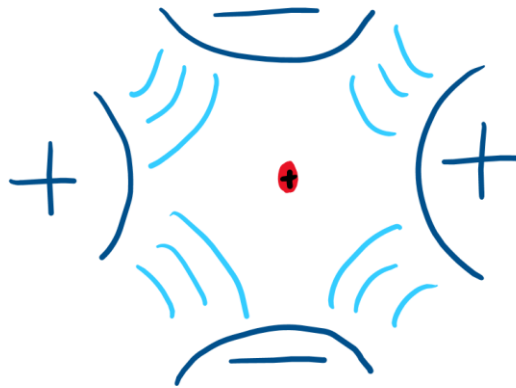


Abbildung 12: In waagerechter Richtung wird das positiv geladene Teilchen fokussiert und in senkrechter Richtung defokussiert.

Außerdem bilden sich Ionenpakete durch die sinusförmigen Elektroden, da die elektrische Feldstärke entlang der Flugrichtung ständig zu- und abnimmt. Dadurch entstehen Bereiche, wo die Ionen beschleunigt bzw. etwas gebremst werden und somit rücken die Ionen mehr zusammen, sodass Ionenpakete zustande kommen.

Abbildung 13 zeigt einen offenen RFQ und oben links die Seitenansicht der Elektroden.



Abbildung 13: Geöffneter RFQ

Quelle: <https://www.ntg.de/produkte/teilchen-beschleuniger/rfq/hochleistungs-cw-rfqs/> [15.10.2021]

4.3 Supraleitender Beschleuniger

Bei diesem supraleitenden Beschleuniger handelt es sich um einen Driftröhrenbeschleuniger, der durch supraleitendes Material die Ionen sehr stark beschleunigen kann.

Für die Erklärung der Beschleunigungsprozesse im herkömmlichen Driftröhrenbeschleuniger werden einzelne Bildausschnitte einer Animation von LEIFiPhysik verwendet (vgl. LEIFiPhysik 2021).

Bei einem Driftröhrenbeschleuniger wird Wechselspannung angelegt, damit die einzelnen Driftröhren ständig umgepolt werden. Außerdem ist in Abbildung 14 links vor dem Beschleuniger eine Teilchenquelle zu sehen.

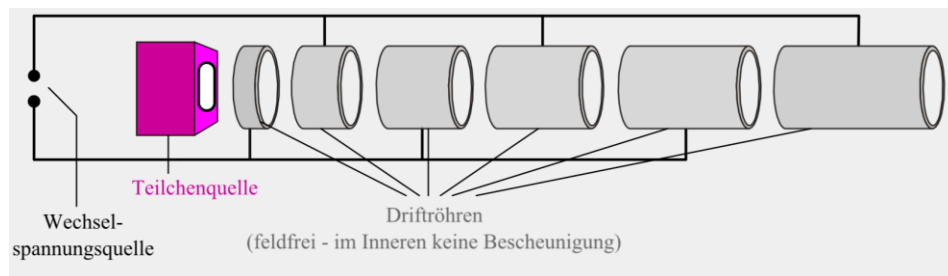


Abbildung 14: Aufbau eines Driftröhrenbeschleunigers

Zwischen den Röhren werden die Ionen beschleunigt und innerhalb der Röhren ist es feldfrei, sodass dort keine Beschleunigung stattfindet (siehe Abb. 15.)

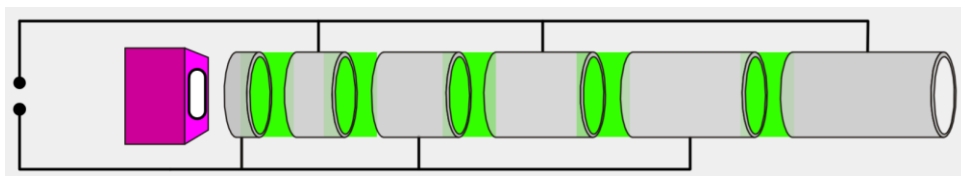


Abbildung 15: Beschleunigung der Teilchen in den grünen Bereichen zwischen den Driftröhren

Das Proton wird nach Austritt der positiv geladenen Driftröhre von der negativ geladenen Driftröhre angezogen und somit beschleunigt (siehe Abb. 16).

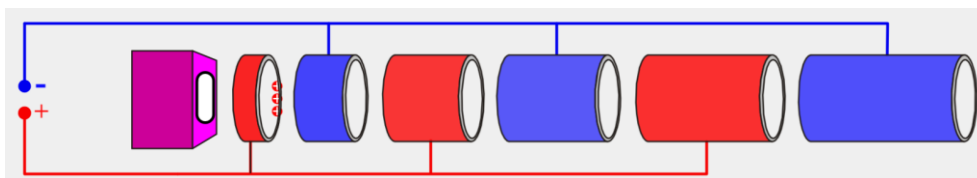


Abbildung 16: Das Proton wird durch die negativ geladene Driftröhre angezogen.

Danach werden die Driftröhren umgepolt, sodass das Proton nach Passieren der negativ geladenen Driftröhre in Abb. 16 wieder durch die neugepolte negativ geladene Driftröhre beschleunigt wird (siehe Abb. 17).

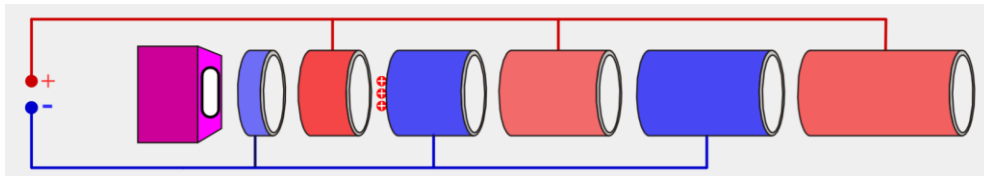


Abbildung 17: Das Proton wird nach der Umpolung durch die negativ geladene Driftröhre weiterhin beschleunigt.

Die Driftröhren werden mit zunehmender Geschwindigkeit der Ionen immer länger, damit die Aufenthaltsdauer der Ionen in den Driftröhren immer gleich bleibt. Die Wechselspannung hat eine feste Frequenz, sodass zwischen dem Umpolen eine gleiche Zeitspanne verstreicht. Unter der Annahme, dass die Röhren gleich lang bleiben und die Ionen immer schneller werden, würden z.B. Protonen bei einer festen Wechselspannungsfrequenz irgendwann zwischen zwei Driftröhren eine positiv geladene Driftröhre in Flugrichtung vorfinden, was zur Abbremsung führen würde.

In Abbildung 18 befindet sich ein Ausschnitt aus einem echten Driftröhrenbeschleuniger.



Abbildung 18: Ausschnitt eines Driftröhrenbeschleunigers

Im Vergleich zu einem herkömmlichen Driftröhrenbeschleuniger wird der im IAP gebaute Driftröhrenbeschleuniger aus dem supraleitendem Material Niob hergestellt. Das Besondere hierbei ist, dass die eingeführte Energie in den Beschleuniger instantan in die Beschleunigung der Ionen vollständig verlustfrei umgesetzt wird. Dafür benötigen die Physiker*innen im Vergleich zum RFQ oder herkömmlichen Driftröhrenbeschleuniger wenig Leistung. Durch diese effiziente Energieübersetzung können die Ionen auf bis zu $5.400.000 \frac{km}{h}$ beschleunigt werden. Als Material wird Niob verwendet, weil es bei einer Temperatur von $-271^{\circ}C$ den elektrischen Strom verlustfrei leitet. Um die starke Kühlung zu erreichen, wird

flüssiges Helium verwendet, welches sich oberhalb des supraleitenden Driftröhrenbeschleunigers befindet (siehe Abb. 19).



Abbildung 19: Supraleitender Beschleuniger (unteres silbernes Gehäuse) mit Helium-Kühlung (weißer Zylinder oben)

4.4 Kugeldetektor

Als Letztes wird auf dem Poster der Kugeldetektor vom IAP erwähnt. Hierbei geht es um ein Experiment, welches das Ziel hat, Neutroneneinfangquerschnitte zu messen und dadurch unter anderem verschiedene Prozesse in den Sternen zu untersuchen.

Für dieses Experiment werden Neutronen benötigt, die durch das Zusammenstoßen von positiv geladenen Wasserstoffionen mit Lithium entstehen, wodurch Lithium in kleinere Bruchstücke und in mehrere Neutronen zerschmettert wird. Diese Neutronen fliegen dann in den Kugeldetektor hinein und treffen auf unterschiedliche Proben, z.B. Gold oder Zirkon. Diese Proben werden benutzt, um die Prozesse in der Sonne zu untersuchen. Wenn ein Neutron mit z.B. dem Goldatomkern reagiert, wird es vom Goldatomkern eingefangen, was in der Physik als Nukleosynthese bezeichnet wird. Dabei gibt der Goldatomkern die gewonnene

Bindungsenergie als spezifische γ -Strahlung ab. Anhand des Strahlungsspektrums können die Physiker*innen sehen, was für ein Element entstanden ist. Diese γ -Strahlung wird von 42 speziellen Kristallen auf der Oberfläche des Kugeldetektors gemessen, sodass die Physiker*innen wissen, ob eine Reaktion stattgefunden hat oder nicht. Es werden so viele Kristalle verwendet, damit möglichst viel Fläche zur Detektion der γ -Strahlung abgedeckt ist. Also geht es bei diesem Experiment im Endeffekt um die Messung von Neutroneneinfangquerschnitten, was ein Maß für die Wahrscheinlichkeit angibt, dass ein Atomkern ein Neutron absorbiert und somit γ -Strahlung abgibt. Diese Neutroneneinfänge werden in der Astrophysik als s-Prozess für einen langsamen Neutroneneinfang und r-Prozess für einen schnellen Neutroneneinfang bezeichnet.

In Abbildung 20 befindet sich der Kugeldetektor mit den Kristalldetektoren.

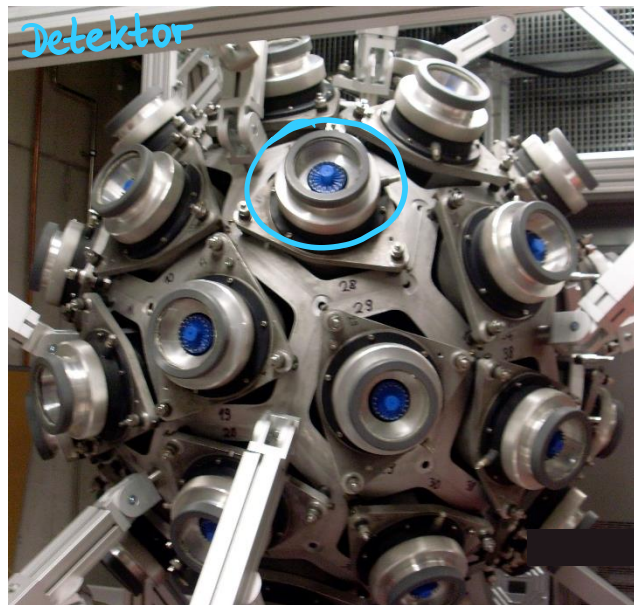


Abbildung 20: Kugeldetektor

5. Konzeption des Posters zur rechten Hallenseite

5.1 Konzeptionsidee

Bei dem Poster zur rechten Hallenseite wird ein Bild von der rechten Hallenseite mittig auf dem Poster positioniert, auf dem die einzelnen sichtbaren Experimente umrandet und mit Sprechblasen weiter erläutert werden. Das Bild der rechten Hallenseite auf dem Poster hat den Vorteil, dass die Schüler*innen beim Betrachten der Halle einen direkten Vergleich auf dem Poster haben. Somit können sie, wie bei einem Blick von einer Aussichtsplattform, die einzelnen Experimente finden und sich dazu informieren.

Allgemein sollte das Poster auf den ersten Blick die Aufmerksamkeit der Schüler*innen gewinnen, z.B. durch verschiedene Farben, auffallende Formen oder einem Bild (vgl. Böhringer et al. 2007, S. 164). Bei diesem Poster sind es die verschiedenen Farben und die auffallenden zackigen Sprechblasen, die die Quellen der Ionen bzw. den Laser beschreiben. Auf den zweiten Blick sollte das Poster Informationen liefern, die ansprechend und präzise formuliert sein sollten (vgl. ebd.). In Kapitel 5.2.7 wird auf den Text weiter eingegangen. Des Weiteren ist dieses Poster ein sogenanntes „Stand-alone-Poster“, welches sich selbst präsentiert und somit auch ohne weitere Hilfe selbsterklärend sein muss (vgl. ebd., S. 169). Hierbei gilt der Ausspruch „weniger ist [oft] mehr“, sodass ich mich auf das Wichtigste beschränke und die Schüler*innen mit dem physikalischen Fachwissen nicht überfordert werden (vgl. ebd.).

5.2 Konzeption des Posters

5.2.1 Verwendetes Computerprogramm

Für die Erstellung des Posters wird das Präsentationsprogramm „PowerPoint“ von Microsoft verwendet. Ein Grund dafür ist, dass die meisten Menschen Microsoft Office Produkte besitzen und erste Erfahrungen damit bereits in der Schule gemacht haben könnten. Das Programm ist relativ intuitiv und mit etwas Geduld, Kreativität und Recherche können Posterdesigner*innen damit gut arbeiten. Vorteile von PowerPoint sind, dass verschiedene Sprechblasen und weitere grafische Formen eingefügt und bearbeitet werden können. Hierbei können die gewünschten Farben einfach ausgewählt und verwendet werden. Als Alternative gibt es noch das professionelle Layout-Programm „Adobe InDesign“, welches etwas teurer und nicht so ganz intuitiv wie PowerPoint ist.

5.2.2 Layout

Für das Layout des Posters wird das DIN A0-Querformat ausgewählt. Dafür wird in der Werkzeugleiste auf **Entwurf** und dann auf **Foliengröße** geklickt, um die benutzerdefinierte Foliengröße einzustellen. DIN A0 entspricht einer Größe des Posters von **118,9 cm x 84,1 cm**, die in PowerPoint einzugeben ist (siehe Abb. 21).

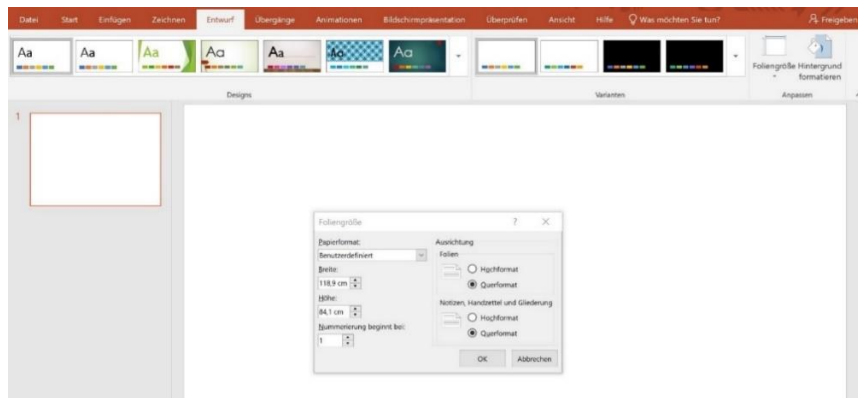


Abbildung 21: Einstellung des DIN A0-Formats

Danach werden das IAP Logo und das IKF Logo, also die beiden forschenden Institute in der Beschleunigerhalle, auf das Poster jeweils in die oberen Ecken eingefügt. Anschließend wird ein blauer Abschlussrand im Poster eingefügt und unten der Name der Autorin und das Institut für Didaktik der Physik erwähnt. Für den Text dient eine serifenlose Schrift, nämlich Calibri (vgl. Christe & Domes 2020, S. 42). Das bedeutet, dass die Schrift keine querliegenden Anfangs- oder Endstriche bei Buchstaben hat, die im Endeffekt „technischer und nüchterner als Serifenschriften“ wirkt (ebd., S. 43). Diese Schriftart hat den Vorteil, dass zentrale Textelemente schneller erfasst werden (vgl. ebd.).

Um den Hintergrund etwas lebendiger zu machen, wird er mit einem blauen Farbverlauf gefüllt, was sich unter **Entwurf** → **Hintergrund formatieren** bearbeiten lässt (siehe Abb. 22).



Abbildung 22: Formatierung des Hintergrunds

5.2.3 Überschrift

Als Überschrift für das Poster wird der Begriff „*Beschleunigerhalle*“ gewählt, da die Teilchen für fast jedes Experiment in der Halle mithilfe von Beschleunigern beschleunigt werden. Die Schriftgröße der Überschrift beträgt 142, damit sie hervorsticht und von zwei bis drei Metern Entfernung im Café Physik gelesen werden kann. Unter der Überschrift wird die Beschleunigerhalle mit folgendem Satz beschrieben: „*In dieser Halle führen Physiker*innen der Goethe-Universität Experimente mit beschleunigten Teilchen durch.*“ Dieser Satz wird ergänzend hinzugefügt, damit die Schüler*innen einen ersten Eindruck über das Vorgehen in der Halle erhalten.

5.2.4 Fotografie der Halle

Eins der wichtigsten Elemente auf dem Poster ist das Bild der Beschleunigerhalle aus Sicht des Café Physik. Vor dem Fotografieren ist die Planung wichtig, wie und mit welchen Materialien die Beschleunigerhalle fotografiert werden soll. Zum Aufnehmen des Bildes wird eine Kamera mit einem Stativ als Grundausstattung verwendet, um Verwacklungen möglichst zu vermeiden. Außerdem sollte beim Fotografieren darauf geachtet werden, wie viel Licht zur Verfügung steht und dass keine Reflexionen an der Fensterscheibe zu sehen sind. Letzteres ist ein Problem im Café Physik, da der Raum sich nicht vollständig abdunkeln lässt. Um die Reflexionen an der Fensterscheibe beim Fotografieren zu verhindern, wird ein schwarzer blickdichter Trichter aus Pappe gebastelt und dieser dann um das Objektiv der Kamera aufgesetzt. Damit befinden sich fast keine Reflexionen der Kamera und der Hand an der Fensterscheibe, aber es gibt trotzdem noch vereinzelt Reflexionen von Gegenständen aus dem Café an der Fensterscheibe. Nach langem Überlegen löst Herr Dr. Schmidt das Problem, indem er eine schwarze große Folie aus dem Laserlabor über mich hängt und somit einen dunklen blickdichten Bereich um mich schafft. Danach wird die Beschleunigerhalle fotografiert, wobei das unterste Experiment und der RFQ vorne aus dem Café Physik aufgrund der Brennweite der Kamera nicht zu sehen sind. Der RFQ ist dafür mit seinem Innenleben auf dem Poster zur linken Hallenseite zu sehen.

5.2.5 Bildbearbeitung

Nun wird das ausgesuchte Bild bearbeitet. Die Idee ist, das Bild schwarz-weiß zu bearbeiten und die Experimente wieder farblich hervorzuheben. Somit liegt ein Fokus auf den Experimenten, da es sonst durch die vielen Geräte und Farben sehr unübersichtlich werden kann.

Für die Bildbearbeitung wird das kostenlose Grafikprogramm „GIMP“ benutzt. Dieses Programm bietet viele Bildbearbeitungsoptionen, unter anderem das Entfärben des Bildes,

sodass es schwarz-weiß wird und anschließend die relevanten Experimente färbt. Dafür gibt es unterschiedliche Methoden. Im Folgenden wird die Variante vorgestellt, die gut reproduzierbar ist.

Damit die silbernen Rohre und die verschiedenen Geräte etwas stärker zur Geltung kommen, wird die Bildfarbe der Originalbildes leicht bearbeitet.

Dafür muss in der oberen Leiste **Farben** und anschließend **Farbton-Buntheit** ausgewählt werden (siehe Abb. 23).

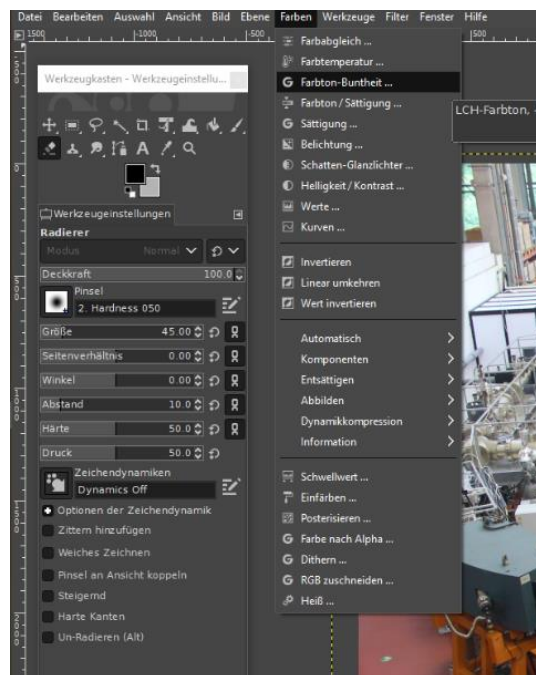


Abbildung 23: Anleitung Bildbearbeitung – Farbton-Buntheit

Danach ist die **Farbtonsättigung** auf 8.00 und die **Helligkeit** auf 0.5 zu erhöhen, um die Experimente später etwas stärker hervorzuheben (siehe Abb. 24).

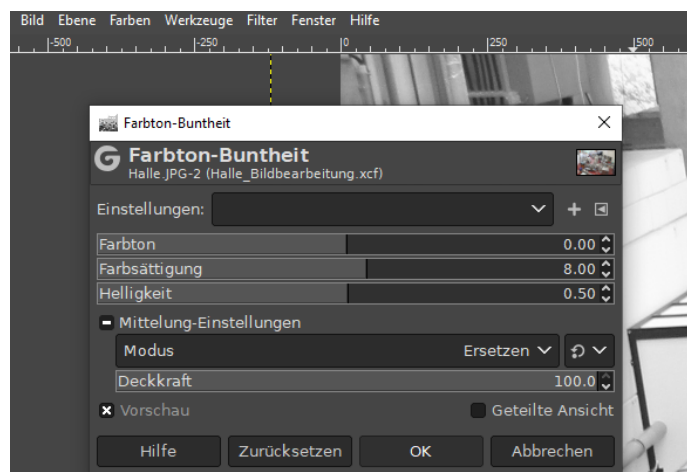


Abbildung 24: Anleitung Bildbearbeitung – Farbsättigung und Helligkeit

Als Nächstes wird das Bild schwarz-weiß entfärbt, wofür zuerst eine neue Ebene benötigt wird. Mit einem Rechtsklick auf das Bild in der Leiste „Ebenen“ muss dann **Ebene duplizieren** ausgewählt werden (siehe Abb. 25).

Nun wird die neu erstellte Ebene schwarz-weiß entfärbt, indem in der Werkzeugleiste auf **Farben** und dann auf **Farbton-Buntheit** geklickt wird (siehe Abb. 26).

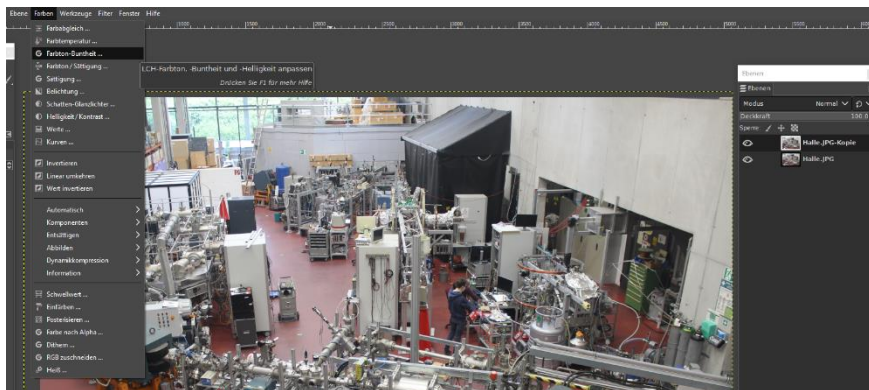


Abbildung 26: Entfärben der neuen Ebene (I)

Danach erscheint das Farbton-Buntheit Fenster, wobei der **Farbton** und die **Farbtönsättigung** mit der Maus durch Ziehen des Balkens nach links runterregelt werden kann (siehe Abb. 27).

Somit ist die neue Ebene des Bildes schwarz-weiß entfärbt.

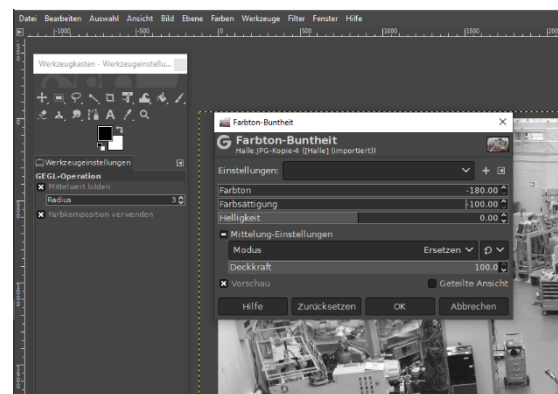


Abbildung 27: Entfärben der neuen Ebene (II)

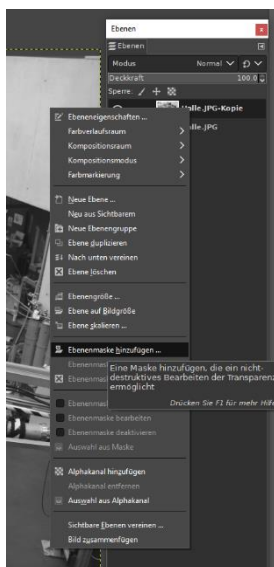


Abbildung 28:
Ebenenmaske hinzufügen

Um eine Ebenenmaske zu erstellen, wird mit einem Rechtsklick auf die schwarz-weiß Ebene und

anschließend auf **Ebenenmaske hinzufügen** geklickt (siehe Abb. 28). Die Funktion der Ebenenmaske ist die Erhaltung der Pixel-Informationen im Bild. Dabei werden die Pixel-Informationen „versteckt“, da das Bild retuschiert wird, aber sie bleiben im Hintergrund für mögliche Korrekturen erhalten.

Anschließend wird die Ebenenmaske mit **weiß (volle Deckkraft)** initialisiert und **hinzugefügt** (siehe Abb. 29).

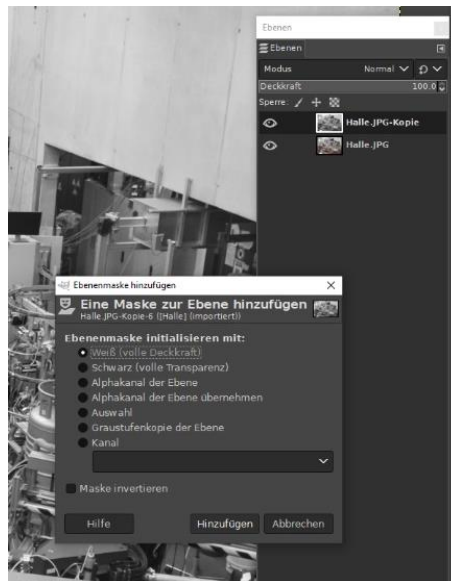


Abbildung 29: Ebenenmaske mit weiß (volle Deckkraft) initialisieren

Nun wird der **Radierer** im Werkzeugkasten benötigt.

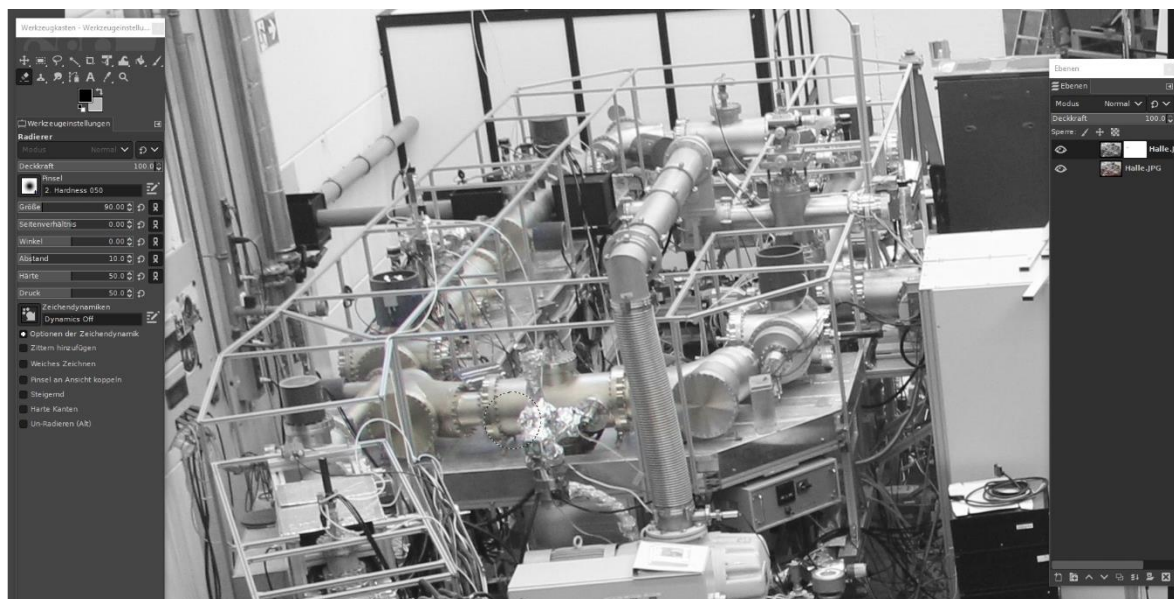


Abbildung 30: Färben der schwarz-weißen Stellen

Mit der gedrückten Maus wird über die einzelnen Experimente gefahren, die wieder gefärbt werden sollen. Dadurch erscheint wieder das Originalbild, wie in Abb. 30 bei den Rohren des FLSR zu sehen ist. Bei der Bearbeitung sollte es zu Variationen der Pinselgröße kommen, sodass kleine Abschnitte gut erreicht und nicht übermalt werden. Ein Tipp zur Bearbeitung: Wird das Entfärben kleinschrittig durchgeführt, ist der Aufwand geringer, falls einmal eine

Stelle übermalt wird. Denn dann ist dieser Schritt schnell und leicht mit STRG+Z rückgängig gemacht und es muss nicht wieder von vorne mit der Bearbeitung begonnen werden.

Nun werden die Experimente durch klare Umrisse stärker hervorgehoben, damit das Poster übersichtlicher wird. Mithilfe eines Tablets und eines Stiftes können in Power-Point per Hand die Umrisse der Experimente in drei unterschiedlichen Farben gezeichnet werden. Für die EZR-Ionenquelle wird eine dunkelgrüne Farbe für die Experimente mit den niederenergetischen Ionen verwendet, da es gut zum Hintergrund und als Kontrast zu den anderen beiden Farben passt. Für die Experimente mit den hochenergetischen Ionen aus dem van-de-Graaff-Beschleuniger wird eine rot-orangene Farbe benutzt. Die Farbe soll eine mögliche Assoziation von „hoher Energie“ bewirken, wobei eine rote Farbe zu auffällig und intensiv gewesen wäre. Für das Experiment mit den Laserstrahlen wird eine gelbe Farbe gewählt, da es als Kontrast zu den beiden anderen Farben am besten passt. Somit wird mit den drei unterschiedlichen Farben gezeigt, dass es sich jeweils um unterschiedliche Quellen handelt, die nicht einsehbar sind, da sie sich hinter den Wänden befinden (siehe Abb. 31).

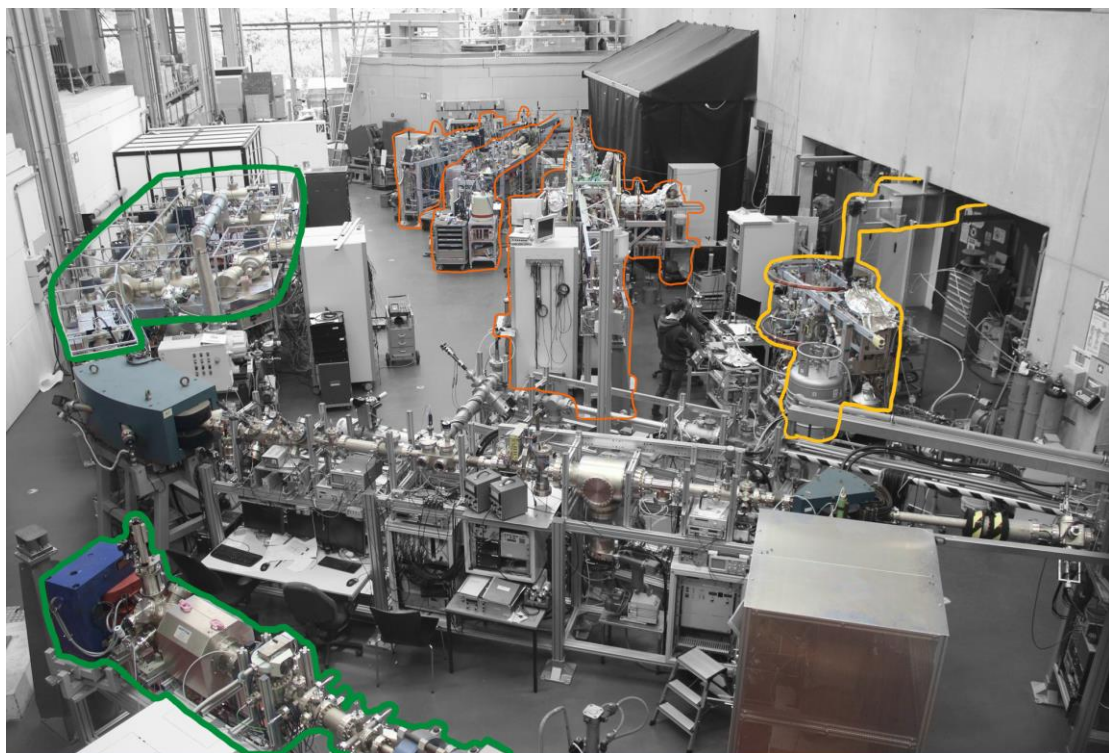


Abbildung 31: Zeichnen der farbigen Umrisse der Experimente

Zur Verdeutlichung der Wege der Ionen bzw. Laserstrahlen werden Pfeile in die Rohre eingefügt. Für die EZR-Ionenquelle werden hellgrüne Pfeile, für die Laserstrahlen hellgelbe Pfeile und für die Ionen aus dem van-de-Graaff-Beschleuniger orangene Pfeile verwendet (siehe Abb. 32). Unten im Bild haben die Rohre von der EZR-Ionenquelle zum 8. Experiment nicht mehr in das Bild gepasst. Symbolisch zeigen deshalb die hellgrünen Pfeile den Weg

zwischen der EZR-Ionenquelle und der Einschussstelle im Experiment. Die Pfeile erhalten eine 9-prozentige Transparenz, um den Aufbau nicht komplett mit den Pfeilen zu verdecken.

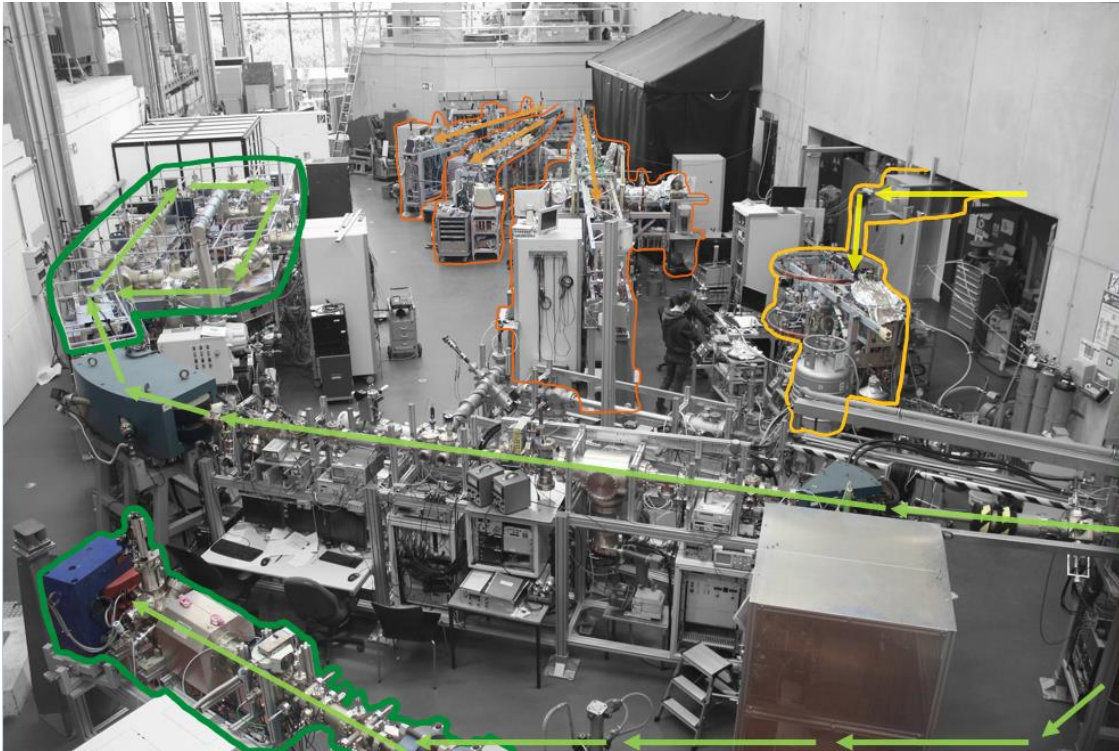


Abbildung 32: Einfügen der farbigen Pfeile für die Wege der Ionen bzw. der Laserstrahlen

5.2.6 Platzierung des Bildes und Gestaltung der Sprechblasen

Das bearbeitete Bild wird unten mittig auf dem Poster positioniert, da im oberen Bereich des Bildes mehr Experimente, als im unteren Teil, beschrieben werden (siehe Abb. 33).

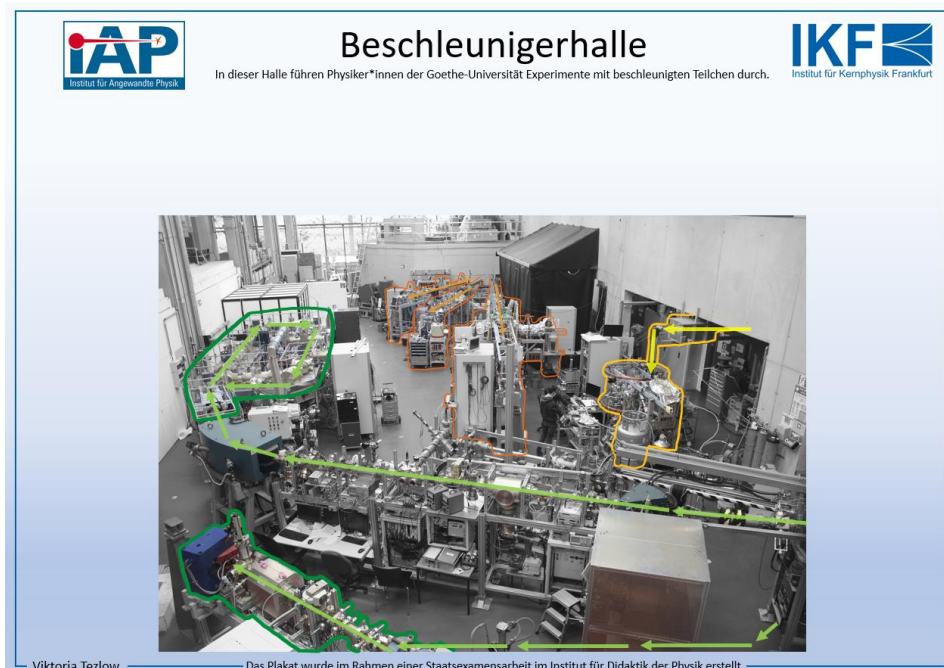


Abbildung 33: Position des bearbeiteten Bildes auf dem Poster

Zum Beschreiben der Experimente werden Sprechblasen verwendet, die mit einem Strich auf die Experimente zeigen. Speziell für die Ionenquellen und Laserstrahlen werden Sprechblasen mit Zacken ausgewählt, damit der Ursprung der Ionen und des Lasers symbolisch visualisiert wird (siehe Abb. 34). Die Farben der einzelnen Sprechblasen richten sich nach den jeweiligen Farben der Teilchenpfeile. Bei diesem Poster sind eine Reihenfolge und eine klare Blickführung zum Lesen der Sprechblasen wichtig, damit die Sprechblasen nicht durcheinander gelesen werden (vgl. Böhringer et al. 2007, S. 165). Es ist sinnvoll, wenn zuerst die Quelle der Ionen bzw. der Laserstrahlen gelesen wird und dann erst die dazugehörigen Experimente. Das soll vorbeugen, dass die Schüler*innen z.B. mit dem oberen Stern anfangen und dann die Sprechblase unten links lesen, welche nicht zusammenhängen. Dafür werden Nummerierungen in Farben der Sprechblasen hinzugefügt, sodass die Schüler*innen bei dem van-de-Graaff-Beschleuniger mit dem Lesen anfangen, danach das linke obere Experiment und dann im Uhrzeigersinn die Texte des Posters lesen.

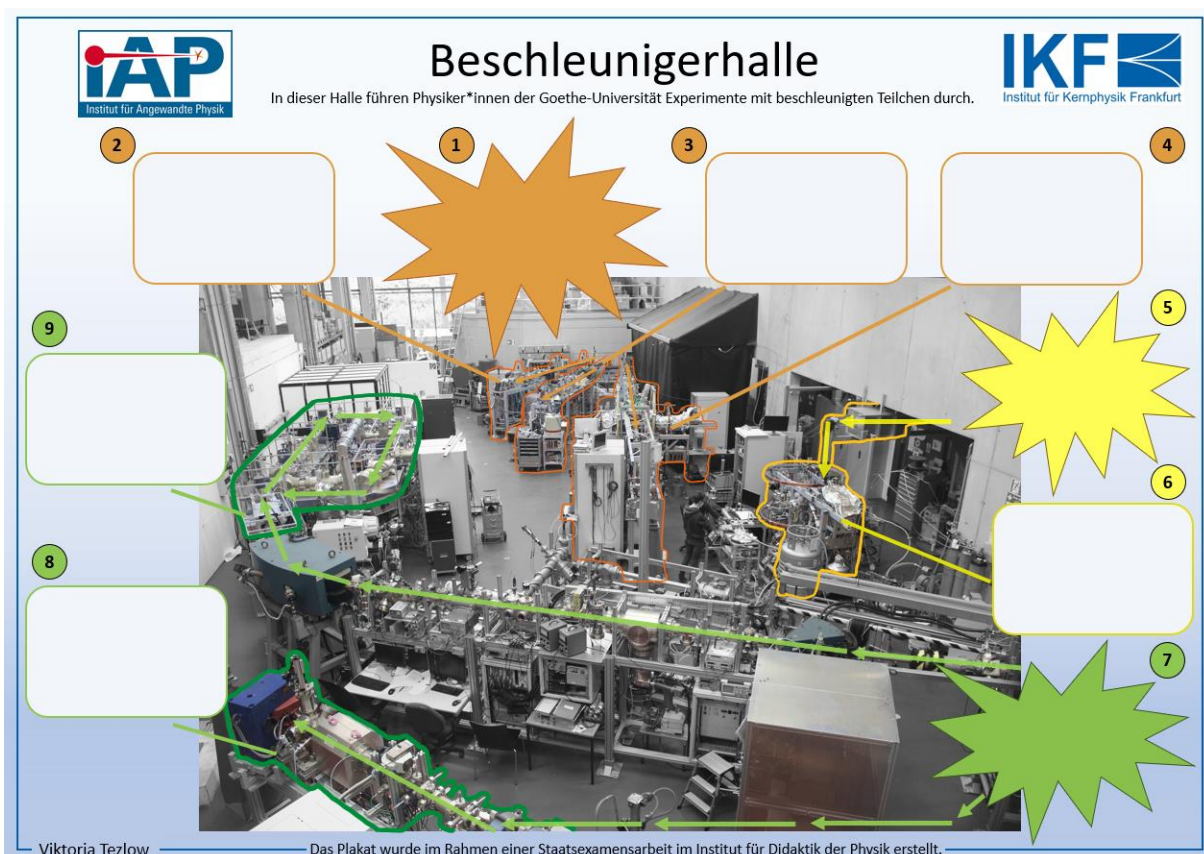


Abbildung 34: Hinzufügen der Sprechblasen und Ziffern

5.2.7 Didaktische Überlegungen zum Text

Die Schriftgröße des Textes in den Sprechblasen variiert zwischen 27-40, je nach verfügbarem Platz in der Sprechblase, sodass der Text in DIN A0-Format gut lesbar ist.

Sprechblase 1 (Van-de-Graaff-Beschleuniger):

Text in Sprechblase 1: *Hinter der Wand werden positiv geladene Teilchen produziert, die so stark beschleunigt werden, dass sie mit der 36.000-fachen Geschwindigkeit des Überschallflugzeuges „Concorde“ in die Rohre fliegen.*

Hier ist der Aspekt der Produktion von positiv geladenen Teilchen und die anschließende Beschleunigung der Ionen innerhalb des van-de-Graaff-Beschleunigers wichtig. Damit sich Schüler*innen die Dimension der maximalen Geschwindigkeit des Beschleunigers vorstellen können, ist ein Vergleich zur Geschwindigkeit des Überschallflugzeuges „Concorde“ interessant.

Die folgende Berechnung zeigt die Geschwindigkeit der beschleunigten Protonen. Der van-de-Graaff-Beschleuniger kann Protonen mit bis zu 2,5 MeV beschleunigen. Bei einer nicht relativistischen Betrachtung haben die Protonen bei einer Energie von 25 keV und m_{Proton} für die Masse des Protons folgende Geschwindigkeit v_{Proton} :

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m_p \cdot v_{Proton}^2 \quad (1)$$

$$e \cdot E = \frac{1}{2} \cdot m_p \cdot v_{Proton}^2 \quad (2)$$

$$e \cdot 2,5 \cdot 10^6 eV = \frac{1}{2} \cdot m_{Proton} \cdot v_{Proton}^2 \quad (3)$$

$$v_{Proton} = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot 2,5 \cdot 10^6 eV}{m_{Proton}}} = 21.884.736 \frac{m}{s} \approx 2,19 \cdot 10^7 \frac{m}{s} \quad (4)$$

Die Concorde flog mit einer Reisegeschwindigkeit von $v_{Concorde} = 2180 \frac{km}{h} \approx 606 \frac{m}{s}$ (vgl. Flugzeug-Lexikon 2021).

Damit ergibt sich folgende Rechnung, um herauszufinden, mit welcher Geschwindigkeit die Protonen aus dem van-de-Graaff-Beschleuniger im Vergleich zur Concorde in die Experimente fliegen:

$$\frac{v_{Proton}}{v_{Concorde}} = \frac{2,19 \cdot 10^7 \frac{m}{s}}{606 \frac{m}{s}} = 36.139 \approx 36.000 \quad (5)$$

Also fliegen die Protonen aus dem van-de-Graaff-Beschleuniger mit der 36.000-fachen Geschwindigkeit der Concorde in die Experimente.

Diese Zahl soll die erstaunliche Größenordnung der Geschwindigkeit der Protonen verdeutlichen und damit direkt das Interesse bei den Schüler*innen wecken. Außerdem soll der Text hierbei durch den Vergleich zur Concorde für die Schüler*innen ansprechend sein, sodass sie das Poster weiterlesen (vgl. Böhringer et al. 2007, S. 164).

Sprechblase 2 (Astrophysik):

Text in Sprechblase 2: *Physiker*innen erforschen, woher im Universum die kosmische Strahlung kommt und wie sie an Teleskopen reflektiert wird. Anstelle der kosmischen Strahlung wird hier die Teilchenstrahlung des Beschleunigers verwendet.*

Bei dieser Sprechblase soll deutlich gemacht werden, dass es sich um Experimente in der Astrophysik handelt. Kosmische Strahlung und/oder Teleskope kennen die Schüler*innen vielleicht schon aus dem Alltag oder aus Dokumentationen. In der Schule sollten die Schüler*innen bis zur 10. Klasse die Entstehung und Wirkung von Strahlung im Inhaltsfeld „Physik in der Verantwortung“ behandelt haben (vgl. HKM Physik Sek I 2011, S. 27). Speziell Teleskope könnten Schüler*innen aus Planetarien bekannt sein. Hierbei ist wichtig, dass statt der kosmischen Strahlung die Teilchenstrahlung des Beschleunigers verwendet wird, wobei ein Bezug zur 1. Sprechblase, der Teilchenquelle, hergestellt wird.

Sprechblase 3 (Materialforschung):

Text in Sprechblase 3: *Wasserstoff in Metallen kann zu Versprödungen des Metalls und somit zu möglichen Rissen führen. Um den Alterungsprozess zu rekonstruieren, soll ermittelt werden, wie weit der Wasserstoff in das Metall gelangt.*

In der dritten Sprechblase geht es um Materialforschung. Dabei wird die Tatsache, dass Wasserstoff in Metallen zu Versprödungen und somit zu möglichen Rissen führt, kurz beschrieben. Diesen Prozess wollen die Physiker*innen unter Laborbedingungen rekonstruieren. Wasserstoff als chemisches Element in der 1. Hauptgruppe wird in der 10. Klasse bei der Thematik „Periodensystem der Elemente“ gelehrt (vgl. HKM Chemie Sek I 2011, S. 32). Somit sollten die Schüler*innen verstehen, um was es bei diesem Experiment geht.

Sprechblase 4 (Atomphysik):

Text in Sprechblase 4: *Hier untersuchen Physiker*innen, wie sich Elektronen in Atomen und Molekülen bewegen und wie eine chemische Bindung entsteht. Diese Kenntnis ist notwendig, um den Aufbau von Materie zu verstehen.*

Das gesamte COLTRIMS-Prinzip zu erklären, wäre von dem verfügbaren Platz nicht möglich gewesen, ohne inhaltliche Abzüge zu machen. Somit wird ein Fokus auf die Funktion von COLTRIMS gelegt, also die Untersuchung der Bewegung von Elektronen in Atomen und Molekülen. Außerdem wollen die Physiker*innen herausfinden, wie die chemischen Verbindungen entstehen, indem sie die zu untersuchenden Elemente vorher zerteilen. Schüler*innen sollten in der 10. Klasse das Bohrsche Atommodell unter dem Thema „Aufbau von Stoffen und chemische Bindung“ (vgl. HKM Chemie Sek I 2011, S. 33) kennengelernt haben, also eine gewisse Vorstellung zu Bewegungen von Elektronen in Atomen und Molekülen haben. Unter diesem Punkt sollten sie auch verschiedene chemische Bindungen kennengelernt haben. Mit diesen Voraussetzungen können sich die Schüler*innen auch etwas unter dem Aufbau von Materie vorstellen, da diese aus Atomkernen und Elektronen besteht.

Sprechblase 5 (Laser):

Text in Sprechblase 5: *Hinter der Wand werden Laserstrahlen erzeugt, die über Röhren und Spiegel in die Apparatur gelangen.*

Schüler*innen könnten Lasergeräte aus dem Alltag und/oder dem Optikunterricht bei experimentellen Untersuchungen des Verhaltens von Licht an Grenzflächen kennen (vgl. HKM Physik Sek I 2011, S. 30). Im Optikunterricht werden manchmal Laserstrahlen verwendet, die an einem Spiegel reflektiert werden. Somit sollten Schüler*innen wissen, dass Laserstrahlen über Spiegel umgelenkt werden können und nach dem Bild auf dem Poster über Röhren in die Apparatur gelangen.

Sprechblase 6 (Laser):

Text in Sprechblase 6: *Mithilfe des Laserstrahls und dessen Welleneigenschaften werden Helium-Verbindungen auf ihre Struktur untersucht. Der Laser zerteilt das Helium in seine einzelnen Bestandteile, um den Molekülaufbau zu rekonstruieren.*

Im Text werden die Welleneigenschaften erwähnt, damit die Schüler*innen wissen, dass die Laserstrahlen als Welle angenommen werden und aufgrund dessen Helium-Verbindungen auf ihre Struktur untersucht werden können. Zu den Helium-Verbindungen sollten Schüler*innen

durch die Kenntnis der chemischen Bindungen auch wissen, dass Atome eine unterschiedliche Anzahl an Elektronen haben können, also dementsprechend ionisiert sind (vgl. HKM Chemie Sek I 2011, S. 33).

In diesem Experiment befindet sich auch ein COLTRIMS. Das Prinzip zu dem COLTRIMS wird im zweiten Satz angedeutet. Dabei wird mit dem Laser das zu untersuchende Material beschossen und dadurch in seine einzelnen Bestandteile zerteilt. Hierbei wird es bei dem Zerteilen des Heliums belassen, um den Molekülaufbau zu rekonstruieren, damit auch das Prinzip des COLTRIMS kurz beschrieben wird.

Sprechblase 7 (Ionenquelle):

Text in Sprechblase 7: *Rechts hinter der Wand werden geladene Teilchen produziert, die dann über Röhren zu den Experimenten 8 und 9 transportiert werden, wobei sie zum Experiment 8 bei Bedarf noch weiter beschleunigt werden können.*

Hier wird konkreter darauf eingegangen, dass die Ionenquelle nicht zu sehen ist und sie sich rechts hinter der Betonwand befindet. Außerdem wird der Hinweis gegeben, dass bei Bedarf zum Experiment 8 die Teilchen weiter beschleunigt werden können. Dabei wird der RFQ nicht explizit genannt, weil er nicht auf dem Poster zu sehen ist, aber trotzdem wird das Prinzip der möglichen Beschleunigung erwähnt.

Sprechblase 8 (Test von Strahlführungselementen):

Text in Sprechblase 8: *In diesem Experiment werden Strahloptiken getestet, die die Teilchenstrahlen aus der Ionenquelle (grün) fokussieren.*

Aus der Schule sollten die Schüler*innen Linsen zum Fokussieren von Licht kennen, da sie es in der 10. Klasse behandeln (vgl. HKM Physik Sek I 2011, S. 30). In diesem Experiment handelt es sich aber nicht um herkömmliche Linsen, sondern um Elektronenwolken, die die Teilchenstrahlen fokussieren. Deshalb wird der Begriff „Strahloptiken“ anstelle von Elektronenwolken benutzt. Der Begriff soll verdeutlichen, dass es optische Geräte sind, die im Endeffekt die Teilchenstrahlen aus der Ionenquelle fokussieren.

Sprechblase 9 (Frankfurter Speicherring):

Text in Sprechblase 9: *Um die Bewegung von Molekülen über einen längeren Zeitraum untersuchen zu können, durchlaufen die Teilchen den Ring mit einer hohen Geschwindigkeit mehrere tausend Mal.*

Hier wird der Fokus auf den Aspekt des Speicherns der Moleküle im Ring gelegt. Dabei wird nicht erwähnt, wie und in welche Richtungen sich Moleküle in einer Verbindung bewegen

können, da dies zu schwierig für Schüler*innen wäre. Daher wird in der Sprechblase nur die Untersuchung der Bewegung von Molekülen genannt. Der Aspekt des Speicherns wird im Nebensatz beschrieben und soll noch ein wenig den Eindruck hinterlassen, dass die Teilchen den Ring mehrere tausend Mal durchlaufen.

Das gesamte Poster zur rechten Hallenseite ist im Anhang 1.1 zu finden.

6. Konzeption des Posters zur linken Hallenseite

6.1 Konzeptionsidee

Für das Poster zur linken Hallenseite wird ein anderes Konzept verwendet. Das Problem an dieser Stelle ist, dass die Forschung aus dem Aufenthaltsraum links vom Café Physik nicht zu sehen ist. Hinter den bodenlangen Fensterscheiben befinden sich nur große Metallgehäuse und Rohre, die für die Kühlung von Apparaturen zuständig sind. Für das Poster werden die vier wichtigsten Beschleunigertechnologien beschrieben, die in diesem Teil der Halle vom IAP gebaut werden. Um das Interesse der Schüler*innen zu wecken und einen Zusammenhang zwischen den einzelnen Geräten herstellen zu können, wird auf dem Poster ein exemplarischer Weg vom Ursprung der Ionen, über die Beschleuniger, bis zu einem Experiment beschrieben.

Bei diesem Poster handelt es sich auch um ein „Stand-alone-Poster“ und es beinhaltet wieder die wesentlichen didaktischen Merkmale der Konzeptionsidee wie auch bei der rechten Hallenseite (siehe Kapitel 5.1).

6.2 Konzeption des Posters

6.2.1 Layout

Für das Poster wird wieder das Querformat DIN A0 gewählt. Die Hintergrundfarbe mit dem blau-weißen Farbverlauf und der äußere blaue Rand werden auch beibehalten, damit die Schüler*innen die Zusammengehörigkeit der Poster erkennen und das Layout konsistent bleibt. Auf dem Poster oben rechts befindet sich statt dem IKF Logo das Goethe-Universität Logo, da das IKF nicht an der Entwicklung der Beschleunigertechnologien beteiligt ist. Außerdem wird wieder der Name der Autorin unten links eingefügt und unten mittig das Institut für Didaktik der Physik erwähnt (siehe Abb. 35).

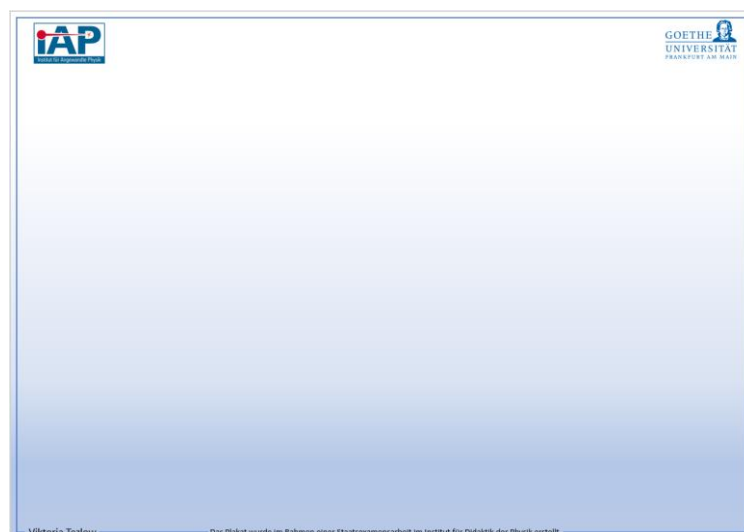


Abbildung 35: Layout der linken Hallenseite

6.2.2 Überschrift

Zuerst sollte die Überschrift „Bau der Technik“ heißen, aber das hätte nicht zu dem Konzept vom IAP gepasst, da sie sich in dieser Hallenseite auf Beschleuniger und dazugehörige Experimente konzentrieren. Deshalb lautet die neue Überschrift „Entwicklung neuer Beschleunigertechnologien“, die oben auf dem Poster platziert wird, damit das Forschungsgebiet des IAP stärker zur Geltung kommt. Die Schriftgröße der Überschrift beträgt 107. Also etwas kleiner, als beim vorherigen Poster, aber auf diesem Poster wird unterhalb der Überschrift noch etwas Platz gebraucht.

Ein kurzer Text unter der Überschrift beschreibt die Entwicklung und den Bau von Teilchenbeschleunigern und Detektoren durch die Physiker*innen. Außerdem sollte durch den Nebensatz eine Verbindung zur rechten Hallenseite geschaffen werden, weil manche Geräte in der rechten Hallenseite bei den Experimenten Verwendung finden (siehe Abb. 36). Der letzte Satz beschreibt die Grundidee des Posters, also einen exemplarischen Weg der Teilchen durch einen Beschleuniger.



Abbildung 36: Gestaltung der Überschrift

6.2.3 Bilder

Danach werden vier Bilder erst einmal mittig auf dem Poster positioniert. Bei den Geräten fängt es links mit der Ionenquelle an, rechts folgen über den RFQ der supraleitende Beschleuniger und zum Schluss das Experiment zum Kugeldetektor. Damit wird ein Weg der Ionen von der Ionenquelle bis hin zum Experiment beschrieben. Oberhalb und unterhalb der Bilder ist genug Platz, um Informationen bezüglich der Bauteile in Textform hinzuzufügen. Um die Bilder gedanklich miteinander zu verbinden, werden gelbe Rohre und Pfeile zwischen den einzelnen Geräten eingefügt. Diese sollen die echten Rohre als Verbindung der Geräte symbolisieren. Natürlich ist das hier stark vereinfacht und nur symbolisch gemeint.

Die Ionenquelle erzeugt positiv geladene Wasserstoffteilchen. Diese Ionen werden vor dem ersten Rohr aus der Ionenquelle und anschließend in den weiteren Rohren und Pfeilen platziert, damit die Schüler*innen beim ersten Anblick des Posters sehen, dass es sich um Wasserstoffionen handelt, die sich von der Ionenquelle bis zum Experiment bewegen (siehe Abb. 37).



Abbildung 37: Hinzufügen der Bilder und Erzeugung einer Verbindung der einzelnen Geräte

6.2.4 Didaktische Überlegungen zum Text

Die Schriftgröße des Textes in den Sprechblasen variiert zwischen 26-37, je nach verfügbarem Platz in der Sprechblase, sodass der Text in DIN A0-Format gut lesbar ist.

Oberhalb der Bilder wird ein Pfeil mit Text von links nach rechts eingefügt, der die „Reise“ der Teilchen von der Ionenquelle zum Experiment in einfachen Worten beschreibt. Dieses grafische Element soll den Schüler*innen auf den ersten Blick die „intendierte Reihenfolge anzeigen“ (Christe & Domes 2020, S. 27). Der Pfeil ist mit einem Farbverlauf von blau zu rot gefüllt, welcher die Energie der Teilchen darstellt. Die Farbe blau soll niedrige Energie, also eine kleine Teilchengeschwindigkeit, symbolisieren. Danach geht die Farbe in ein Rosa über, also eine höhere Energie und somit auch eine höhere Teilchengeschwindigkeit. Zum Schluss folgt die rote Farbe, also ein Symbol für hohe Energie und dementsprechend eine hohe Teilchengeschwindigkeit. Außerdem sticht die rote Farbe beim Betrachten des Posters heraus und fördert die Aufmerksamkeit (vgl. ebd., S. 34).

Ganz links im Pfeil über der Ionenquelle steht: „Auf der Reise zum Experiment starten wir bei der Quelle der Teilchen.“ Dies soll die Schüler*innen ansprechen und motivieren, das Poster weiterzulesen. Es wird bewusst das Wort „Teilchen“ statt „Ionen“ im Pfeil verwendet, damit die Schüler*innen beim Lesen des gesamten Pfeiles den Text auch ohne große Vorkenntnisse zu Ionen verstehen. Unterhalb dieses Satzes wird die Teilchengeschwindigkeit von $0 \frac{km}{h}$ geschrieben, sodass die Schüler*innen im Verlauf des Pfeiles eine Vorstellung bzw. Größenordnung von der enormen Beschleunigung der Teilchen erhalten. Weiter in Richtung

des Pfeiles über dem RFQ steht: „Anschließend wird das Teilchen mit dem RFQ beschleunigt“. Die beeindruckende Beschleunigung des RFQ bis zu $2,9 \cdot 10^6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ wird unter dem Text aufgezeigt. Als nächstes wird verdeutlicht, dass die Teilchen noch weiter mit dem supraleitenden Beschleuniger beschleunigt werden, um höhere Teilchengeschwindigkeiten zu erreichen. Nach dem supraleitenden Beschleuniger haben die Teilchen eine Geschwindigkeit von $5,4 \cdot 10^6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Zum Schluss erwartet die Schüler*innen das Ziel der „Reise“ der Teilchen, das Experiment (siehe Abb. 38).

Damit die Schüler*innen beim Lesen des Posters einen möglichen Leitfaden haben und die dazugehörigen Bilder finden, werden Ziffern in gelben Kreisen hinzugefügt (vgl. ebd., S. 27).

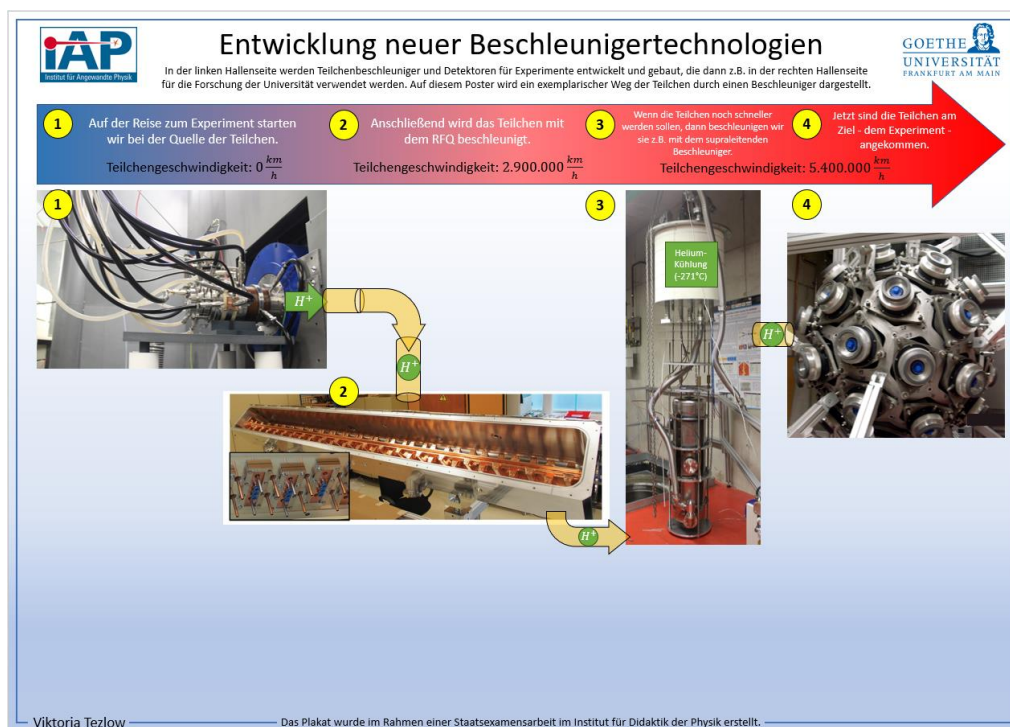


Abbildung 38: Hinzufügung des großen Pfeiles, um die Reise der Teilchen zu beschreiben

Es folgt die Beschreibung der einzelnen Geräte.

Sprechblase zum ersten Bild (Ionenquelle):

Text: Der Ursprung der Teilchen liegt in der Ionenquelle, die eine Trillionen positiv geladene Teilchen pro Sekunde erzeugen kann.

In der Ionenquelle befindet sich eine negativ geladene Elektrode, die beim Heizen Elektronen freisetzt. Diese Elektronen stoßen dann auf neutrale Wasserstoffmoleküle und entreißen ihnen Elektronen. Dadurch entsteht ein positiv geladenes Wasserstoffteilchen, ein sogenanntes Ion.

Der Gedanke bei der Ionenquelle ist, dass die Schüler*innen mit der Produktion der erheblichen Größenordnung „Trillionen“ an positiv geladenen Teilchen pro Sekunde fasziniert werden und Interesse entwickeln weiterzulesen. Die Ergänzung der positiven Ladung der Teilchen ist für die Funktionsweise dieser Ionenquelle von Relevanz. Um die Funktionsweise so einfach wie möglich zu beschreiben, wird mit der negativ geladenen Elektrode angefangen, die beim Heizen Elektronen freisetzt. Hierbei wird extra nicht der Begriff der „Kathode“ verwendet, damit die Verwechslungsgefahr zwischen den Begriffen „Kathode“, „Kationen“, „Anode“ und „Anionen“ in Bezug auf ihre Ladung vorgebeugt wird. Die Begriffe Ionen und Elektroden werden bereits in der 9. bzw. 10. Jahrgangsstufe im Chemieunterricht beim Teilchenmodell eingeführt, dennoch könnten die Schüler*innen noch nicht viel Übung mit den Begriffen oder diese bereits vergessen haben (vgl. HKM Chemie Sek I 2011, S. 33). Daran anknüpfend ist es wichtig zu erwähnen, dass beim Heizen einer negativ geladenen Elektrode Elektronen freigesetzt werden. Das könnten die Schüler*innen noch nicht unbedingt wissen, aber das Prinzip sollte zum Verständnis erwähnt werden. Danach wird beschrieben, dass diese Elektronen auf neutrale Wasserstoffmoleküle treffen und ihnen Elektronen entreißen. Die Begründung, wieso Wasserstoffmolekülen Elektronen entrissen werden, folgt erst in der Q3 bei Behandlung der Quantenphysik, sodass es hier bei der Beschreibung des Prozesses belassen wird (vgl. HKM Physik Sek II 2016, S. 40). Danach wird das positiv geladene Wasserstoffteilchen als Resultat des Prozesses erwähnt und als Ion bezeichnet, sodass eine Verbindung zum Begriff der Ionenquelle hergestellt wird.

Sprechblase zum zweiten Bild (RFQ):

Text: Dies ist ein Beschleuniger, der die Teilchen auf gerader Strecke beschleunigt.

Die vier wellenförmigen Elektroden beschleunigen die Teilchen, fokussieren den Teilchenstrahl und formen einzelne Teilchenpakete. Das Besondere dabei ist, dass diese drei Prozesse gleichzeitig in einem recht kompakten Bau stattfinden.

*Physiker*innen beschleunigen die Teilchen, damit sie für verschiedene Reaktionen mit den Proben die benötigte Energie besitzen.*

Zuerst ist es wichtig, dass den Schüler*innen beschrieben wird, dass die Teilchen in dem RFQ auf gerader Strecke beschleunigt werden. Diese Methode stellt eine Abgrenzung zu anderen Beschleunigern dar, wie z.B. dem Zyklotron, wo die Teilchen im Kreis beschleunigt werden. Außerdem wird hier der Begriff der Teilchen verwendet und nicht der Ionen, um den Text so intuitiv wie möglich zu formulieren. Vielleicht überfliegt jemand das Poster beim Lesen und schaut sich nur das für ihn Interessanteste an und liest nicht den Text zur Ionenquelle, sodass

er das Prinzip des RFQ beim Lesen auch ohne Kenntnis der Ionen versteht. In den Interviews mit den Schüler*innen wird sich zeigen, ob dies sinnvoll ist oder die Ionen weiter verwendet werden können.

Das Charakteristische des RFQ sind die vier sinusförmigen Elektroden, die im Text erwähnt werden. Im Bild des RFQ sind diese Elektroden kaum zu sehen, deshalb wird die Skizze vom RFQ mit den vier sinusförmigen Elektroden unten links ergänzt und ein Teilchenstrahl eingefügt (siehe Abb. 39). Diese Form ermöglicht es, dass die Beschleunigung der Teilchen, die Fokussierung des Teilchenstrahls sowie das Formen der einzelnen Teilchenpakete zeitgleich stattfinden. Hier wird nicht weiter auf die elektrischen Kräfte eingegangen, da es keinen Sinn ergibt eine komplexe physikalische Begründung anzureißen, ohne sie weiter auszuführen. Also wird beim Text ein Fokus auf die Beschreibung der Funktion des RFQ gelegt.

Nach Aussage von Herrn Dr. Meusel eignet sich dieser Beschleuniger ausgezeichnet dazu, dass alle drei Prozesse gleichzeitig in einem sehr kompakten Bau stattfinden. Im Vergleich zu anderen Beschleunigern in derselben Energiegrößenordnung sind diese größer und können nicht alle drei Prozesse in einem Gehäuse ausführen, was auf dem Poster erwähnt ist.

Als Fazit zum RFQ wird verdeutlicht, dass Physiker*innen die Teilchen beschleunigen, damit sie am Ende für verschiedene Reaktionen mit den Proben die benötigte Energie besitzen. Dies wird noch ergänzt, damit die Schüler*innen die Idee der Teilchenbeschleuniger verstehen. Außerdem ist es wichtig, dass die Schüler*innen verstehen, dass diese Teilchen mit Proben im Experiment kollidieren und die gewünschte Kollisionsenergie mit dem RFQ eingestellt werden kann.

Dieser RFQ befindet sich in der rechten Hallenseite, der vom Café Physik aus vorne rechts in der Halle steht. Diese Information wird in eine grüne Wolke auf das Poster eingefügt, um eine Verbindung zur Forschung in der rechten Hallenseite herzustellen und damit die Schüler*innen das Gehäuse des RFQ in der Realität sehen können.

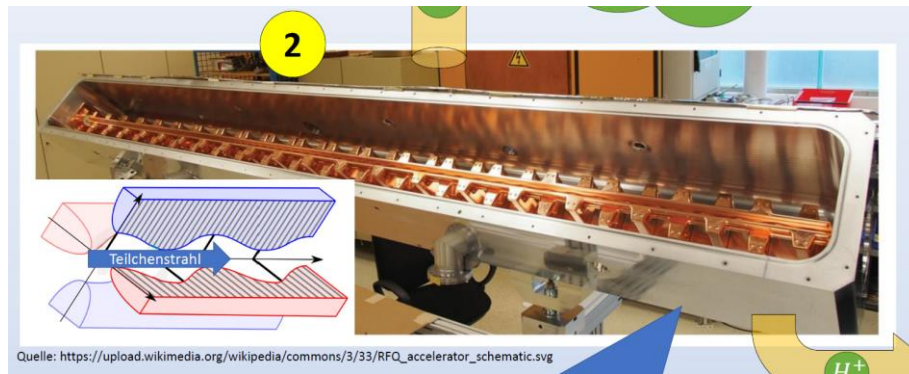


Abbildung 39: Skizze der vier wellenförmigen Elektroden unten links vom RFQ

Sprechblase zum dritten Bild (Supraleitender Beschleuniger):

Text: *In diesem Beschleunigermodul aus einem speziellen Metall können die Teilchen mit wenig Energieeinsatz sehr hohe Teilchengeschwindigkeiten erreichen. Dafür ist eine starke Kühlung auf -271°C notwendig, um die gesamte Energie verlustfrei auf die Teilchen zu übertragen. Außerdem können Physiker*innen mit diesem Modul mehr Teilchen beschleunigen, sodass sie eine erhöhte Kollisionsrate der beschleunigten Teilchen erzielen.*

Dies sind gute Voraussetzungen, um neue Entdeckungen in der Teilchenphysik zu ermöglichen und gleichzeitig Energie beim Beschleunigungsprozess zu sparen.

Der supraleitende Beschleuniger besteht aus dem speziellen Metall „Niob“, das die Eigenschaft besitzt, die Teilchen mit wenig Energieeinsatz sehr stark zu beschleunigen. Das Metall „Niob“ wird nicht im Text erwähnt, da wahrscheinlich die meisten Schüler*innen dieses chemische Element nicht kennen und die Bezeichnung nicht notwendig ist, um das Konzept des Beschleunigers zu verstehen. Daher wird es bei dem „speziellen Metall“ belassen. Der Begriff der Supraleitung kommt zur Verwendung, um den supraleitenden Beschleuniger vom RFQ abzugrenzen. Außerdem wird den Schüler*innen in der E-Phase damit bereits einen Einblick in diese Thematik gewährt, da das Thema „Supraleitung“ in der Q4 im Leistungskurs qualitativ vorkommen kann (vgl. HKM Physik Sek II 2016, S. 44).

Im oberen Pfeil steht bereits, dass für Teilchen, die noch schneller beschleunigt werden sollen, der supraleitende Beschleuniger zum Einsatz kommt. Der Text beschreibt, dass mit wenig Energie diese sehr hohen Teilchengeschwindigkeiten erreicht werden können. Dies soll einen Eindruck bei den Schüler*innen hinterlassen, auch in Bezug auf die vergleichsweise niedrige benötigte Energie. Der wichtige Aspekt bei der Supraleitung ist die starke Kühlung auf -271°C , die der Text erwähnt, um die gesamte hinzugeführte Energie verlustfrei auf die Teilchen zu übertragen. Die Helium-Kühlung als Wort wird in einem grünen Kasten oben im Bild eingefügt,

damit die Schüler*innen wissen, dass der obere Teil nur die Kühlung ist. Das Kühlmittel „Helium“ kommt zur Erwähnung, da die Schüler*innen sicherlich davon schon gehört haben, vielleicht in Bezug auf Helium-Luftballons oder in flüssigem Zustand als sehr kaltes Element.

Das Besondere ist, dass mit diesem Beschleuniger mehr Teilchen sehr hohe Geschwindigkeiten erreichen, sodass mehr beschleunigte Teilchen mit Proben kollidieren können, falls die beschleunigte Teilchenanzahl aus dem RFQ und die stattgefundenen Kollisionen nicht ausreichen.

Als Fazit zum supraleitenden Beschleuniger wird dargestellt, dass diese Eigenschaften gute Voraussetzungen sind, um neue Entdeckungen speziell in der Teilchenphysik zu ermöglichen und dabei noch Energie beim Beschleunigen zu sparen. Hierbei wird auf den Aspekt der effizienten Beschleunigung eingegangen, da die Energie komplett verlustfrei auf die Teilchen übergeht und damit natürlich auch weniger Energie benötigt wird, um die gleiche Anzahl an Teilchen zu beschleunigen. Im Endeffekt wird hier ein kleines Zeichen in Richtung Energiesparen und effizientes Forschen gesetzt. Dies ist in der Forschung natürlich auch immer mit Kostenminimierung verbunden.

Sprechblase zum vierten Bild (Kugeldetektor):

*Text: Mit dieser Kugel wird von den Astrophysiker*innen untersucht, wie lange das Universum existiert, woher die schweren Elemente (z.B. die Sonne) herkommen und wie Prozesse in den Sternen ablaufen.*

Beim Experiment werden die nun beschleunigten Wasserstoffteilchen aus der Ionenquelle auf einen Lithium-Atomkern geschossen, welcher dann Neutronen freisetzt. Diese Neutronen treffen dann auf unterschiedliche Proben (z.B. Gold) und können von deren Atomkern eingefangen werden. Ob dieser Prozess stattgefunden hat, wird mit 42 speziellen Kristallen, die zu einem Kugeldetektor zusammengefügt sind, gemessen.

*Astrophysiker*innen können damit die in der Sonne stattfindenden Prozesse messen, ohne jemals in der Nähe der Sonne gewesen zu sein.*

Zur Motivation der Schüler*innen wird direkt am Anfang ein Alltagsbezug hergestellt, in dem die Hauptideen des Kugeldetektors dargestellt werden. Dazu zählen unter anderem die Erforschung der Existenz des Universums, der schweren Elemente und der Ablauf der Prozesse in den Sternen (siehe r- & s-Prozesse in Kapitel 4.4). Danach folgen die Beschreibung und Elementarisierung des Experiments. Ein wichtiger Aspekt ist, dass die beschleunigten Wasserstoffteilchen auf einen Lithium-Atomkern geschossen werden, der dann Neutronen freisetzt. Lithium, das chemische Element aus der 1. Hauptgruppe, sollten die Schüler*innen

bereits aus dem Chemieunterricht in der 9. Klasse kennen (vgl. HKM 2011 Chemie Sek I, S. 32). Auf den Prozess zur Erzeugung der benötigten Neutronen wird hier nicht weiter eingegangen, da dies über die Thematik zum Kugeldetektor und dem Wissen der Schüler*innen aus der Schule hinausgeht. Anschließend kommt es zu einer Elementarisierung beim Prozess des Neutroneneinfanges bei der Nukleosynthese. Dazu wird deutlich gemacht, dass die entstandenen Neutronen auf unterschiedliche Proben (z.B. Gold) treffen und der Atomkern der Probe diese Neutronen einfangen kann. Das Wichtigste bei diesem Prozess ist, herauszufinden, ob die Reaktion stattgefunden hat oder auch nicht. Daher wird im Text darauf eingegangen, dass dies mit 42 speziellen Kristallen, die zu einem Kugeldetektor zusammengefügt sind, gemessen wird.

Zuletzt wird das Ziel des Experiments vergegenwärtigt. Es sollen die Prozesse in der Sonne untersucht werden. Diese Experimente und Messungen können stattfinden, ohne jemals in der Nähe der Sonne gewesen zu sein, was eindrucksvoll wirken kann.

Das gesamte Poster zur linken Hallenseite kann im Anhang 1.2 betrachtet werden.

7. Bewertung des Posters zur rechten Hallenseite durch Schüler*innen

7.1 Planung des Interviews & didaktische Vorüberlegungen

Für die Interviews werden die Poster vom universitären Druckzentrum im DIN A0-Format gedruckt, damit die Schüler*innen beim Bewerten des Posters keine Probleme beim Lesen haben, da die Schrift der Sprechblasen auf Computerbildschirmen sehr klein ist. Darüber hinaus ist es für die Schüler*innen schöner, wenn sie das Poster in Original bewerten, statt auf einen Bildschirm zu schauen. Außerdem können beim Poster im gedruckten Format bei Bedarf Farben und andere Details ausgebessert werden, da der Kontrast der Farben meistens erst nach dem Drucken der Poster deutlich wird.

Bei der Interviewplanung muss sich der Interviewende zuerst Gedanken machen, welche Art von Interview er mit den Schüler*innen führen möchte. Es gibt viele verschiedene Interviewformate, die für unterschiedliche Erhebungen geeignet sind. Hier wird ein semi-strukturelles Interview ausgewählt (vgl. Aufenanger 1991, S. 38). Bei diesem Interview dienen Fragen als Leitfaden, um eine Struktur zu gewährleisten. Trotzdem ist es dem Interviewenden aber auch gestattet, von den Leitfragen abzuweichen und das Gespräch offener zu gestalten, um die benötigten Informationen für die Reflexion zu erhalten. Aus diesem Grund handelt es sich um ein semi-strukturelles Interview (vgl. ebd., S. 39).

Es wird das leitfadengestützte Interview gewählt, da der Interviewende damit eine gewisse Struktur hat und die Schüler*innen einen gewissen roten Faden zur Bewertung der Poster haben. Da die Schüler*innen nicht jeden Tag Poster bewerten und diese Situation auch für sie ungewohnt sein kann, helfen spezifische Fragen den Schüler*innen gezielt Verbesserungsvorschläge zu formulieren. Außerdem sollten sich die Interviewenden nicht komplett auf den Leitfaden fixieren und somit auch das Interview an geeigneten Stellen offen gestalten, falls sie bei Antworten der Schüler*innen nachfragen wollen.

Das Ziel der Interviews ist es, herauszufinden, ob und wo die Schüler*innen Verständnisprobleme beim Lesen der Poster haben. Außerdem ist es wichtig, wie die Poster wahrgenommen werden und welche Verbesserungsvorschläge die Schüler*innen haben. Dies geht in die Richtung von sogenannten „Akzeptanzbefragungen“, weil die Poster von den Schüler*innen auf Akzeptanz und ihr Verständnis geprüft werden (vgl. Hopf, M. & Wilhelm, T. 2011, S. 38).

Die Interviews werden gefilmt, da es relevant ist, wo die Schüler*innen auf die Poster zeigen, falls sie Anmerkungen haben. In einer reinen Audioaufnahme würde der Auswertende nicht

mehr wissen, welche Stelle gemeint ist oder welche Farbe sie nicht passend finden. Die Schüler*innen werden von hinten mit dem Einverständnis der Eltern gefilmt. Die Aufnahmen werden nach Transkription der Interviews gelöscht.

7.2 Entwicklung der Leitfragen

Es folgen die Leitfragen zur Gestaltung und zum Inhalt des Posters.

Gestaltung des Posters:

- 1.) Wie ansprechend findet ihr das Poster?
- 2.) Wie gut lesbar war das Poster? Schriftgröße/Farben/Kontrast/Bilder?
- 3.) Wie strukturiert ist das Poster aufgebaut? Ist die Strukturierung sinnvoll?
- 4.) Ist euch klar, welche bunten Striche, was bedeuten?
- 5.) Sprechblase 9: Ist der Ring klar erkennbar?

Weitere Anmerkungen zur Gestaltung des Posters?

Weitere Verbesserungsvorschläge zur Gestaltung des Posters?

Inhalt des Posters:

- 1.) Welcher Inhalt ist euch im Gedächtnis geblieben?
- 2.) Wie verständlich ist der Inhalt der einzelnen Sprechblasen?
- 3.) Sprechblase 1&5&7: Versteht ihr welche Wand mit „Hinter der Wand“ gemeint ist?
- 4.) Sprechblase 8: Was stellt ihr euch unter Strahloptiken vor?
- 5.) Ist euch klar geworden, um was es in der Beschleunigerhalle geht?

Weitere Anmerkungen zum Inhalt des Posters?

Weitere Verbesserungsvorschläge zum Inhalt des Posters?

7.3 Durchführung

Die Interviews werden am Burggymnasium in Friedberg in einer E-Phase durchgeführt. Es werden zwei Gruppen à drei Schüler*innen befragt, da Schüler*innen in Gruppen vielleicht etwas offener sind und so mit mehr Aussagen zu rechnen ist. Außerdem ist die Wahrscheinlichkeit größer, wenn einmal eine Person im Interview keine Antwort geben will, dass dann die anderen beiden Schüler*innen eine Idee oder einen Denkanstoß haben.

Vor den Interviews müssen die Einverständniserklärungen von den Eltern eingeholt werden, da die Schüler*innen noch nicht volljährig sind.

7.4 Auswertung der Interviews

Beim Auswerten gibt es wieder viele verschiedene Methoden für Interviews. Da weder bestimmte Schülervorstellungen noch quantitative Erhebungen im Vordergrund der Befragung stehen, werden die Interviews persönlich in einer internen Evaluation ausgewertet. Hierbei geht es im Endeffekt darum, ob die Poster verständlich sind und welche Verbesserungsvorschläge die Schüler*innen geben.

Dafür werden die Interviews, die in vollständiger Länge im Anhang 2 zu finden sind, zuerst transkribiert. Bei der Auswertung wird sich auf die relevantesten Stellen bezogen und diese analysiert. Dabei steht „I“ für die Interviewerin und die Schülerinnen werden mit „Sw1“, „Sw2“, „Sw3“, „Sw4“, „Sw5“ und „Sw6“ bezeichnet.

7.4.1 Auswertung Interview 1

- 1 *I: Wie seid ihr vorangegangen? Also was habt ihr euch als Erstes angeguckt? Was ist euch als*
- 2 *Erstes aufgefallen?*
- 3 *Sw3: Ich bin nach den Nummerierungen gegangen.*
- 4 *I: Okay, also alle?*
- 5 *Sw1: Also am Anfang wollte ich nach dem Uhrzeigersinn gehen, aber dann habe ich gemerkt,*
- 6 *dass die 2 hier war (zeigt auf 2. Sprechblase). Aber dann bin ich auch nach den Nummern*
- 7 *gegangen.*
- 8 *I: Findet ihr diese Strukturierung sinnvoll? Oder hättet ihr euch gewünscht, dass ich es nicht*
- 9 *nummeriert hätte?*
- 10 *Sw3: Also ich finde es besser so..*
- 11 *I: Also, dass du einen Leitfaden hast?*
- 12 *Sw3: Jaa, genau. Also, dass ich nicht bei der Maschine (zeigt auf Sprechblase 2) und dann zur*
- 13 *anderen Maschine gehe (zeigt auf Sprechblase 4).*

Durch das Feedback der Schüler*innen ist klar geworden, dass die Nummerierungen auf dem Poster sinnvoll sind. Nicht nur, damit die Schüler*innen z.B. nicht unten links anfangen zu lesen und dann oben rechts weiterlesen, sondern auch, damit sie zuerst die Sprechblase zum van-de-Graaff-Beschleuniger und dann die dazugehörigen Experimente lesen. Dem Problem, dass die erste Sprechblase mittig steht, die zweite Sprechblase gegen den Uhrzeigersinn geht und anschließend die weiteren Sprechblasen im Uhrzeigersinn zu lesen sind, sollte mit der

Nummerierung vorbeugt werden, damit die Schüler*innen einen Leitfaden haben. Die erste Sprechblase mit der zweiten Sprechblase zu tauschen ergibt keinen Sinn, weil immer von den zackigen Sprechblasen aus die Teilchenpfeile in die Experimente hineingehen. Falls die beiden Sprechblasen getauscht werden, müssten aus dem Experiment „Astrophysik“ die Teilchenpfeile in Richtung der Experimente gehen, was irreführender wäre.

14 *I: Okay. Und versteht ihr welche Wand hier hinter der Wand gemeint ist? (Zeigt auf*
15 *Sprechblase 1.)*

16 *Sw3: Also entweder die da so schwarz angedunkelt ist.. (Zeigt auf schwarzen Umhang rechts*
17 *neben Sprechblase 1.) Mmh..*

18 *I: Und was meint ihr? (Schaut zu Sw1 & Sw2.)*

19 *Sw2: Also ich denke es ist die da hinter halt. (Zeigt auf weiße Betonwand unter Sprechblase 1.)*

20 *I: Okay, es ist die hier (zeigt auf Betonwand unter Sprechblase 1). Das ist gut, dass du auf den*
21 *schwarzen Umhang gezeigt hast (schaut zu Sw3). Also muss ich das noch verbessern. Bei den*
22 *anderen Sprechblasen mit "Hinter der Wand" weiß man wahrscheinlich auch nicht, welche*
23 *Wand gemeint ist.*

24 *Sw1: Genau.*

In Zeile 16f. wird deutlich, dass Sw3 nicht genau verstanden hat, hinter welcher Wand sich der van-de-Graaff-Beschleuniger befindet. Dieses Problem bezieht sich zudem auch noch auf die Sprechblasen 5 und 7, bei denen auch nicht deutlich ist, von welcher Wand gesprochen wird. In diesem Interview gehen wir nicht weiter auf Verbesserungsvorschläge ein, aber im zweiten Interview gibt es eine Idee von einer Schülerin, die dann im Kapitelabschnitt 7.4.2 ausgewertet wird.

25 *I: Okay. Andere Frage: Könnt ihr euch vorstellen, was Strahloptiken sind? Also intuitiv.. Es*
26 *gibt kein richtig oder falsch.*

27 *Sw1: Also das ist jetzt wirklich weit hergeholt. Vielleicht irgendwelche Strahlen, wegen Optik*
28 *und so. Hätte ich jetzt gedacht.. Aber das war auch die Nummer, die ich jetzt nicht verstanden*
29 *habe, von allen.*

30 *I: Also nicht verstanden, was Strahloptiken sind?*

31 *Sw1: Ja, genau.*

32 *I: Okay, wenn ich sage.. In diesem Experiment werden Aufbauten getestet, die die*
33 *Teilchenstrahlen aus der Ionenquelle fokussieren. Macht das mehr Sinn für euch?*

34 *Sw1: Dann verstehe ich es immer noch nicht.*

35 *I: Okay, also das sind halt solche Geräte, die den Teilchenstrahl fokussieren. Also sozusagen..*
36 *Die Teilchen sind gestreut und dann werden sie fokussiert. Das sind Strahloptiken, wie z.B.*
37 *Linse aus der Schule und die heißen hier Plasmalinsen.*

38 *Sw1: Ahhhh.*

39 *I: Und das sind halt Strahloptiken, da sie den Strahl fokussieren. Habt ihr da einen besseren*
40 *Vorschlag?*

41 *Sw3: Vielleicht könnte man das mit einem Sternchen weiter erklären.*

42 *I: Okay oder vielleicht sogar einen anderen Begriff für Strahloptiken verwenden?*

43 *Sw3: Mmh.. ja, zum Beispiel.*

44 *I: In diesem Experiment werden Bauteile getestet, die die Teilchenstrahlen fokussieren?*

45 *Sw3 & Sw1: (nicken.)*

In Zeile 27ff. spricht Sw1 von Strahlen in Bezug auf Strahloptiken und meint, dass sie nicht genau verstanden habe, was Strahloptiken seien. Nachdem das Wort „Strahloptiken“ mit „Aufbauten“ ersetzt wird, versteht sie es immer noch nicht. In Zeile 41 hat Sw3 den Vorschlag, dass Strahloptiken vielleicht mit einem Sternchen an einer anderen Stelle genauer erläutert werden könnte. An sich handelt es sich dabei um eine gute Idee, um den Begriff „Strahloptiken“ weiter zu erklären. Da aber mit dem Begriff „Strahloptiken“ versucht wird, den Begriff „Plasmalinse“ zu beschreiben, würde es mehr Sinn ergeben, einen anderen einfacheren Begriff zu verwenden. In Zeile 44 benutzt die Interviewerin spontan den Begriff „Bauteile“, der im Nachhinein nicht optimal ist. Ein Bauteil ist nämlich ein einzelnes Teil aus einem kompletten technischen Gerät, welches nur eine Funktion zum Gesamten leistet. Im Endeffekt wird der Begriff „Gerät“ ausgewählt, da es als allgemeiner Begriff das gesamte technische Gerät „Plasmalinse“ ersetzt.

46 *I: Alles klar. Ja, habt ihr noch weitere Anmerkungen zum Inhalt oder der Gestaltung?*
47 *Verbesserungsvorschläge?*

48 Sw3: Ich weiß nicht, aber da ist ein anderer Orange-Ton.. (Zeigt auf den Umriss von
49 Experiment 3 und auf den Strich von Sprechblase 3 zum Experiment.) Also dann doch diesen
50 Strich von der Sprechblase in einer anderen Farbe machen und die Farbe vom Umriss auch
51 anders machen.

52 I: Ah okay, also die Farbe der Striche der Sprechblasen, der Pfeile und Umrisse nochmal
53 anpassen. Also damit sie sich nicht überlappen?

54 Sw3: Ja, genau.

55 I: Okay.

In dem obigen Abschnitt wird deutlich, dass Sw3 mit den ganzen Farben zu den Umrissen der Experimente und den Sprechblasen überfordert scheint. Dies ist durchaus verständlich, da sich die einzelnen Farben überlappen. Hierfür ist ein nachvollziehbares Design- und Farbkonzept notwendig, welches in Kapitel 8 weiter ausgeführt wird.

56 Sw1: Sie haben hier ja verschiedene Farben verwendet. Also für die 7, 8, 9 die gleiche und
57 dann für die 5, 6. Hat das eine Bedeutung?

58 I: Ja, es hat eine Bedeutung. Experimente 2, 3, und 4 kommen ja aus der Teilchenquelle (zeigt
59 auf Sprechblase 1). Die kommen ja aus dem Laserstrahl (zeigt auf Sprechblase 5).

60 Sw1: Ahhh.. Okay. Das ist logisch.

Sw1 bemerkt, dass die unterschiedlichen Farben pro Quelle eine Bedeutung haben, aber sie versteht den Sinn dahinter noch nicht ganz. Hier ist es wichtig, jede Quelle und ihre Experimente sinnlich zu trennen, auch in Bezug auf die fortlaufende Nummerierung im Uhrzeigersinn, da sich die Schüler*innen stark danach richten.

7.4.2 Auswertung Interview 2

1 I: Okay. Findet ihr die Strukturierung sinnvoll? Dass ich da so Nummerierungen hinzugefügt
2 habe? Oder hättet ihr es ohne besser gefunden?

3 Sw4: Äh.. Ich habe noch eine Frage. Hat es einen Sinn, dass es von da nach da geht? (Zeigt
4 von Sprechblase 1 zu 5, 6 und 7.) Also weil oben ist Beschleuniger, dann Laser und Ionenquelle.
5 Hat es irgendwie ein Zusammenspiel? Dass es vom Beschleuniger irgendwas mit dem Laser zu
6 tun hat?

7 I: Nein, das ist alles unabhängig. Die Experimente und Quellen sind alle unabhängig
8 voneinander.

9 Sw6: Also vielleicht.. Das gehört ja nicht alles zu einem System, oder?

10 I: Genau.

11 Sw6: Vielleicht hätte man es so machen können, dass man nicht so 1 bis 9, sondern so die
12 einzelnen Projekte nummeriert. Das Orangene 1, 2, 3, 4.. Und das Gelbe 1.1, 1.2. ...

13 I: Oder ich mache so.. Hier 1, 2, 3, 4 als arabische Zahlen (zeigt auf Sprechblasen 1, 2, 3, 4)
14 und dann hier als römische Zahlen (zeigt auf Sprechblase 5, 6).

15 Sw6: Also genau.. So auseinander. Dass es nicht ein komplettes Projekt ist, sondern immer
16 verschiedene.

17 I: Gute Idee, danke! Da denke ich nochmal drüber nach.

In den Zeilen 3-6 denkt Sw4, dass die Quellen und Experimente vielleicht ein Zusammenspiel bilden. Dieser Gedanke entsteht aufgrund der fortlaufenden Nummerierung der einzelnen Sprechblasen. Sw6 kommt dann auf die Idee, die einzelnen Experimente durch eine unterschiedliche Nummerierungsart zu separieren. Diese Idee würde auch vorbeugen, dass Schüler*innen wie am Ende im Interview 1, nicht verstehen, wieso drei unterschiedliche Farben für die Sprechblasen verwendet werden. Eine neue Nummerierung könnte also eine gedankliche und somit sinnliche Trennung der Experimente zur Folge haben.

18 I: [...] Genau, aber stört euch das, dass sozusagen die Pfeile fast dieselbe Farbe haben, wie
19 dieser Strich zur Sprechblase hin? (Zeigt auf Pfeile aus van-de-Graaff-Beschleuniger und
20 Strich von Sprechblase 2 zum Experiment.)

21 Sw5: Ahh.. Das ist ein bisschen tricky. Weil ich dachte nämlich eigentlich, dass der hier einfach
22 so gespalten wird und dass der hier in alle drei Richtungen geht, also dass es so
23 zusammenhängt. (Zeigt auf den Strich von Sprechblase 3 zum Experiment, der "gespalten wird"
24 und dann in alle drei Experimente hineingeht ihrer Meinung nach.)

25 Sw4: Ja, das dachte ich auch..

26 I: Also du meinst, dass es von hier aus in alle drei Experimente geht? (Zeigt von Sprechblase 3
27 über die Teilchenpfeile zu allen drei Experimenten.)

28 Alle Sw: Ja.. Genau..

29 I: Okay, sehr aufschlussreich für mich. Das war sehr hilfreich.

In Zeile 21-24 denkt Sw5, dass die Teilchen aus dem 3. Experiment in alle drei Rohre hineinfliegen. Sw4 bestätigt die Vermutung anschließend. Auf dem Poster ist der Strich ein wenig irreführend positioniert, sodass hier der Strich von der Sprechblase von der Form deutlich getrennt werden muss und in diesem Fall etwas anders positioniert werden sollte.

30 *I: Versteht ihr hier, welche Wand gemeint ist? (Zeigt auf Sprechblase 1.) Hinter der Wand*
31 *werden positiv geladene Teilchen produziert.*

32 *Sw5: Ich dachte hinter dieser schwarzen.*

33 *Sw6: Hätte ich jetzt auch gedacht..*

34 *I: Also hier? (Zeigt auf schwarze Verkleidung unter Sprechblase 3.) Und du auch? (Schaut zu*
35 *Sw4.)*

36 *Sw4: Ich dachte hinter der Großen da. (Zeigt auf graue Betonwand unter Sprechblase 1.)*

37 *I: Ah, okay. Genau, es ist die Wand.*

38 *Alle Sw: Ahh.. Okay.*

39 *I: Ja, das muss ich dann bisschen deutlicher hervorheben. Vielleicht.. Hinter der grauen Wand?*

40 *Sw6: Ja.. Oder vielleicht mit einem Pfeil..*

41 *Sw5: Ne, das mit den Pfeilen wäre zu unübersichtlich wieder..*

42 *I: Also zu viele Pfeile, oder?*

43 *Sw5: Ja, genau..*

44 *I: Oder ich unterstreiche das "Hinter der Wand" mit einer anderen Farbe und mache dann*
45 *einen Pfeil zur Wand von dort aus hin.*

46 *Sw6: Ja.*

47 *I: Muss ich mal gucken.. Ja, weil ich habe hier ja auch noch "Hinter der Wand". (Zeigt auf*
48 *Sprechblase 5 und 7.)*

49 *Sw4: Ja, stimmt.. Welche Wand ist da gemeint?*

50 *I: Das ist hier die Wand. (Zeigt auf graue Wand links von Sprechblase 5.)*

51 *Sw4: Ja, also ich glaube mit den Pfeilen wäre das zu unübersichtlich, weil da gibt es ja auch*
52 *schon drei Pfeile. (Zeigt auf Pfeile aus van-de-Graaff-Beschleuniger.)*

53 *I: Was würdest du dann z.B. vorschlagen?*

54 *Sw4: Puh..*

55 *Sw6: Also vielleicht könnte man.. Sie haben ja schon gesagt, dass man es in einer anderen*
56 *Farbe unterstreichen könnte. Und dann könnte man es genauso, wie bei den Geräten, so mit*
57 *den Umrissen machen..*

58 *I: Ja, genau, das war gerade auch meine Idee, als du es gesagt hast. Ich umrande das einfach*
59 *so. (Fährt den Umriss der grauen Betonwand unter Sprechblase 1 ab.) Hier, hier, durchziehen.*
60 *Und unterstreiche das "Hinter der Wand".*

61 *Sw6: Ja, ja. Genau.*

62 *Sw5: Vielleicht aber nicht so in einer ganz so knalligen Farbe, wie die anderen. Sondern mehr*
63 *so in die Richtung, die im Hintergrund stehen. Weil dann ist so viel umrandet und dann muss*
64 *man erstmal suchen, weil so viel ins Auge springt.*

65 *I: Welche Farbe würde euch gerade so einfallen?*

66 *Sw5: Ähm.. Ich weiß nicht.. Mir ist gerade so ein.. Wie so ein schwächeres rosa oder sowas.*
67 *Was halt nicht so knallig ist. Und ähm, ja..*

68 *I: Okay, und hier dann auch eine andere Farbe für den Umriss? (Zeigt auf Laserquelle.)*

69 *Sw5: Ne, eher so dieselbe Farbnuance ist. Aber auch so sehr schwach. Also für jede Wand dann*
70 *in derselben Farbnuance, aber leicht verschieden.*

71 *I: Auch eine gute Idee. Zu viele Farben sind auch nicht gut..*

72 *Alle Sw: Nee..*

73 *Sw5: Also dass man sich nur um einen Farbton verändert pro Wand, aber sonst einheitlich*
74 *bleibt. Aber auch so ganz schwache Farbe, also nicht die volle Druckkraft hat.*

75 *I: Genau, so bisschen transparent wie die Pfeile.*

76 *Sw5: Jaa, genau.*

Sw5 und Sw6 denken, dass sich der van-de-Graaff-Beschleuniger hinter der schwarzen Verkleidung unterhalb von der dritten Sprechblase befindet. Da es auch Sw3 aus Interview 1 so ergeht, wird aus beiden Interviews klar, dass die Bezeichnung „Hinter der Wand“ zu unpräzise ist. In Zeile 40 hat Sw6 die Idee, dass auf dem Poster mit einem Pfeil auf die Wand gedeutet

wird. Aus Sicht von Sw5 führt dies aber zu Unübersichtlichkeit. Nach anschließender Umsetzung der Idee mit den Pfeilen, wurde das Poster zu unübersichtlich und es haben sich die Teilchenpfeile und Striche von den Sprechblasen mit dem neuen Pfeil zur Wand vermischt. In Zeile 55ff. kommt Sw6 dann auf eine weitere Idee, den Teil „Hinter der Wand“ in der Sprechblase mit einer Farbe zu unterstreichen und dann den Umriss der dazugehörigen Wand wie bei den Experimenten nachzuzeichnen. Sw5 meint in Zeile 62ff., dass die Farbe nicht so knallig sein dürfe, also eher im Hintergrund stehen solle, z.B. ein schwächeres rosa wie in Zeile 66f. beschrieben. Außerdem biete es sich an, im selben Farbton zu bleiben und nur die Nuancen von Wand zu Wand zu verändern. Diese Idee ist sehr gut, da sonst zu viele Farben auf dem Poster sind und es zu unübersichtlich wird.

77 *I: Okay, super. Dann ist euch klar, was hier in der 8. Sprechblase unter Strahloptiken gemeint*
78 *ist? In diesem Experiment werden Strahloptiken getestet, die die Teilchenstrahlen aus der*
79 *Ionenquelle fokussieren.*

80 *Sw6: Also.. Wie der Strahl.. Ich weiß es nicht so genau..*

81 *I: Sag ruhig, es gibt kein richtig oder falsch.*

82 *Sw5: Also vielleicht Strahlen aus verschiedenen Bereichen.*

83 *I: Also ihr denkt, dass es eher so die Strahlen sind?*

84 *Sw5: Ah, ne, ich glaube das sind Geräte, was Strahlen produziert? Die werden dann getestet?*

85 *I: Okay, hast du noch eine Idee? (Guckt zu Sw4.)*

86 *Sw4: Ich hätte jetzt gesagt, wenn man das so liest, dass sie die Teilchenstrahlen aus der*
87 *Ionenquelle fokussieren. Vielleicht, dass es so wie ein Zoom ist.*

88 *I: Ah, du meinst wie so ein Objektiv?*

89 *Sw4: Ja, oder, ich weiß nicht.. Nie gehört.*

90 *I: Okay, also es geht so leicht in die Richtung von dir. (Schaut zu Sw4.) Strahloptiken sind*
91 *einfach so Geräte, die.. Also Teilchenstrahlen sind gestreut und diese Geräte fokussieren dann*
92 *die Strahlen, ähnlich wie eine Linse. Also sollte ich stattdessen etwas anderes schreiben? Z.B.*
93 *der Begriff Aufbauten getestet, die die Teilchenstrahlen fokussieren, zu schreiben.*

94 *Sw5: Ja, also Strahloptiken ist nicht so verständlich, hört sich eher wie ein Fachbegriff an.*

95 *I: Okay, dann gucke ich da nochmal.*

Im obigen Abschnitt wird deutlich, dass Sw5 zuerst „Strahloptiken“ mit den „Strahlen“ in Verbindung setzt und beim Nachfragen sagt, dass es Geräte seien, die Strahlen produzieren. Sw4 gibt stattdessen in Zeile 87 an, dass es so wie ein Zoom sei. Danach verwirft sie wieder ihre Idee und sagt, dass sie sowas noch nie gehört habe. In Zeile 94 sagt Sw5, dass der Begriff „Strahloptiken“ nicht verständlich sei und es sich eher wie ein Fachbegriff anhöre. Hier wird mir wieder klar, dass der Begriff zu schwer ist und die Schüler*innen wenig damit anfangen können, wie in Interview 1. Aus diesem Grund wird „Strahloptiken“ zu „Geräte“ verändert.

8. Überarbeitung des Posters zur rechten Hallenseite

Nach dem Druck sind Herrn Prof. Dr. Wilhelm noch ein paar Sachen aufgefallen, die im Folgenden verbessert werden.

In der Sprechblase 7, bei der es um die EZR-Ionenquelle geht, wird statt

„[...] wobei sie **zum** Experiment **8** bei Bedarf noch weiter beschleunigt werden können.“ folgendes geschrieben:

„[...] wobei sie **für das** Experiment **B** bei Bedarf noch weiter beschleunigt werden können.“

Außerdem wird der Satz ganz unten auf dem Poster von

„Das **Plakat** wurde im Rahmen einer Staatsexamensarbeit **im** Institut für Didaktik der Physik erstellt.“

zu folgendem verbessert:

„Das **Poster** wurde im Rahmen einer Staatsexamensarbeit **am** Institut für Didaktik der Physik erstellt.“

Nun folgen die Verbesserungsvorschläge von den Schüler*innen und meine Anpassungen nach der Auswertung der Interviews.

Zuerst wird in der Sprechblase zu den Strahloptiken der Begriff „Strahloptiken“ durch „Geräte“ ersetzt, damit es für die Schüler*innen verständlicher wird und keine weiteren „physikalischen Fachbegriffe“ verwendet werden (siehe Abb. 40).

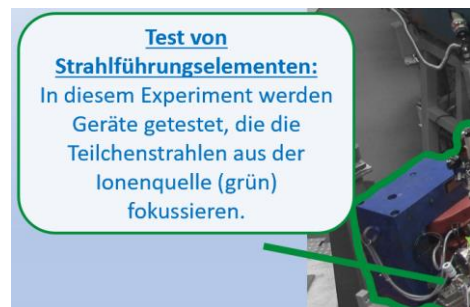


Abbildung 40: Der Begriff "Strahloptiken" wird durch den Begriff "Geräte" ersetzt.

Anschließend folgt die sinnliche Trennung der einzelnen Quellen und ihrer Experimente durch drei unterschiedliche Nummerierungsarten. Dafür werden bei den oberen vier Sprechblasen die arabischen Ziffern 1, 2, 3, und 4 eingesetzt. Der Laser und das dazugehörige Experiment erhalten römische Ziffern I und II. Bei der EZR-Ionenquelle und den beiden Experimenten wird die Aufzählung A, B und C benutzt (siehe Abb. 41). Nun können die Schüler*innen theoretisch erst bei der EZR-Ionenquelle anfangen, danach die dazugehörigen Experimente lesen und anschließend mit einer weiteren Quelle fortfahren. Das soll die Unabhängigkeit der einzelnen Quellen und Experimente darstellen.

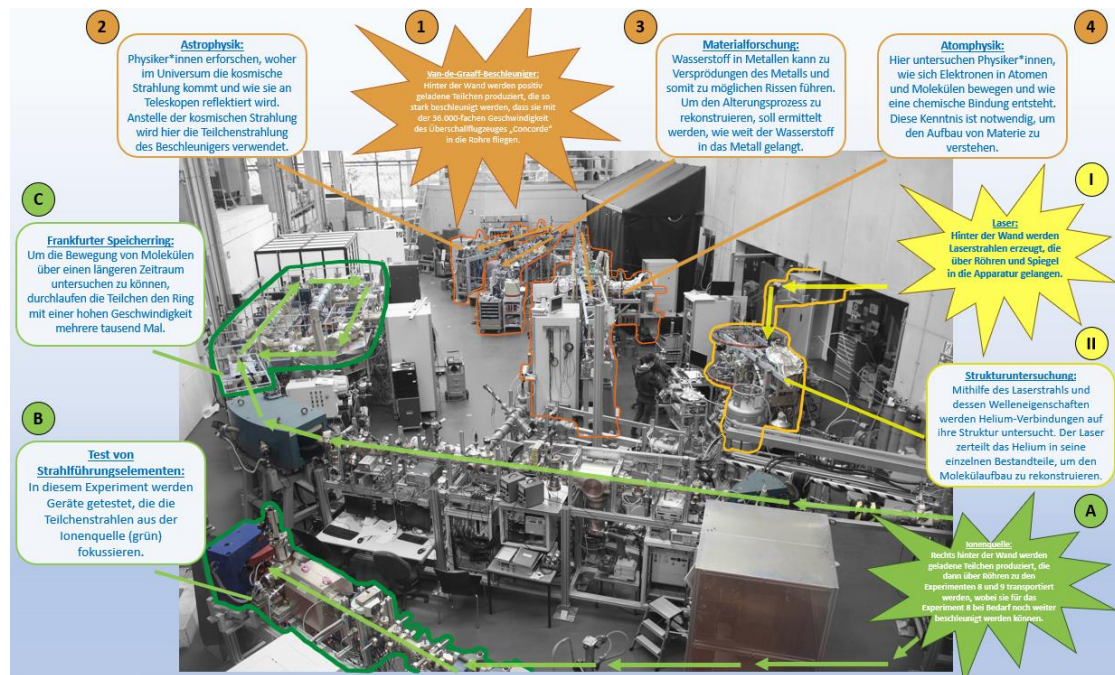


Abbildung 41: Änderung der Nummerierung

Weiterhin werden die Sprechblasen und die dazugehörigen Striche zu den Experimenten angepasst. Statt den Strichen, die nicht wirklich genau von den Sprechblasen zu den Experimenten führen, werden Striche benutzt, die am Anfang und Ende eine Kugel haben (siehe Abb. 42). Damit sehen die Schüler*innen besser, wo der Strich anfängt und wohin er genau zeigt. Des Weiteren werden die Kugel und der Strich mit einer schwarzen Farbe umrandet, damit sie sich von den Pfeilen abheben. Der Strich von der dritten Sprechblase zum Experiment endet unten im Experiment, damit es nicht so aussieht, als würde sich dieser Strich oben zu allen drei Experimenten „aufspalten“. Außerdem wird die orangene Farbe ein wenig heller gewählt.

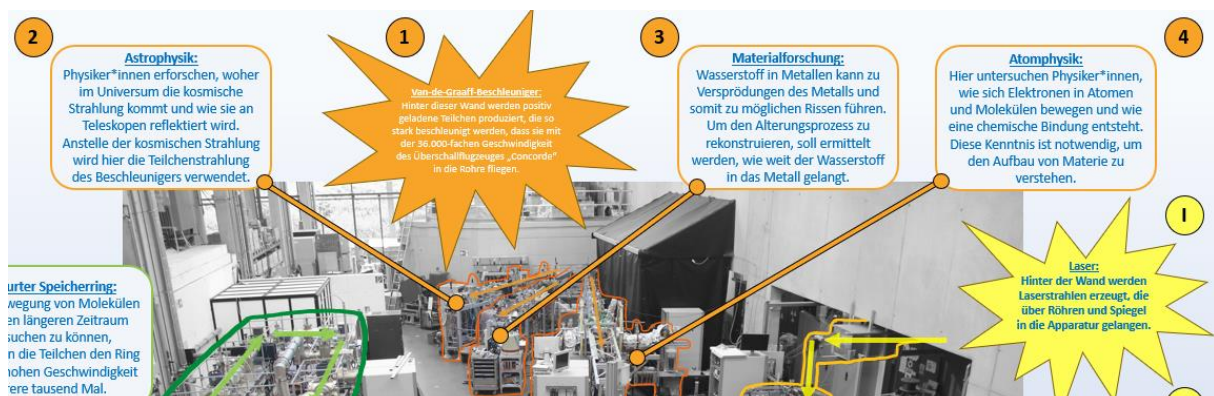


Abbildung 42: Optimierung der Sprechblasen und der dazugehörigen Striche

Damit die Überlappung der Sprechblasenstriche mit den Teilchenpfeilen so gering wie möglich ausfällt, werden alle Teilchenpfeile gestrichelt dargestellt (siehe Abb. 43). Somit unterscheiden

sich die durchgezogenen Striche von den Sprechblasen zu den Teilchenpfeilen. Außerdem werden die Teilchenpakete besser symbolisiert, weil durch die Abstände der Striche ein dynamischer Aspekt hinzukommt.

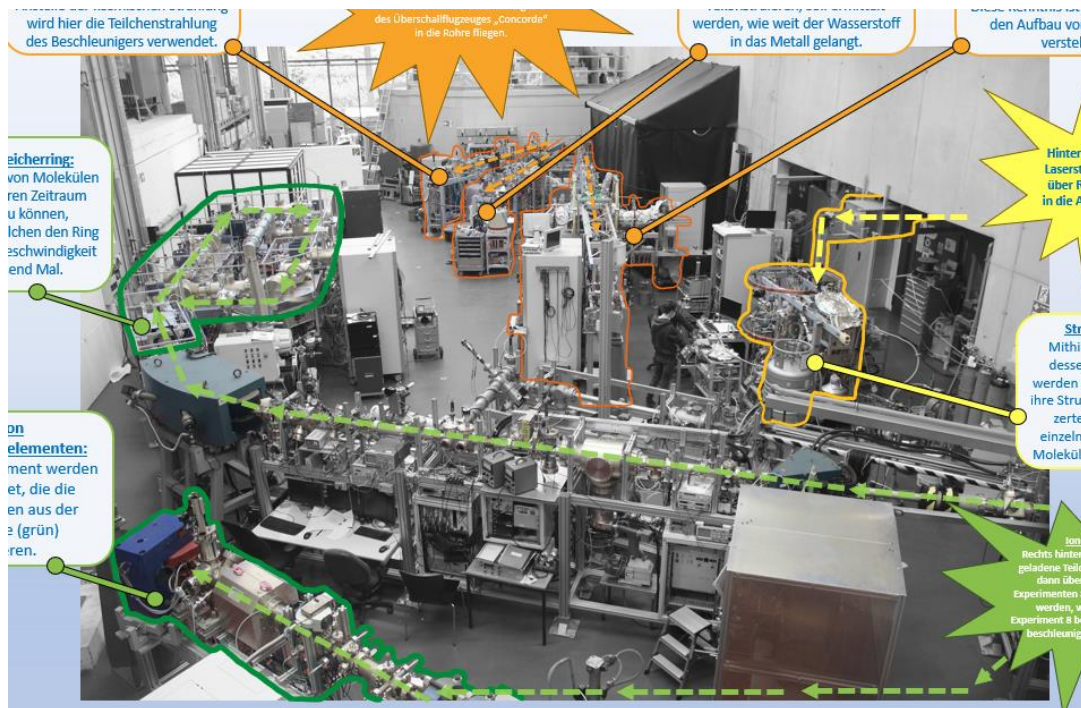


Abbildung 43: Die Teilchenpfeile werden zu gestrichelten Pfeilen verändert.

Nun wird das Problem mit der unklaren Beschreibung „Hinter der Wand“ gelöst. Hierfür erhält die Wand des van-de-Graaff-Beschleunigers eine rosa Umrandung. In der Sprechblase wird der Text von „Hinter der Wand“ zu „Hinter dieser Wand“ geändert und die drei Worte im selben Farbton wie die Umrandung der Wand unterstrichen (siehe Abb. 44).

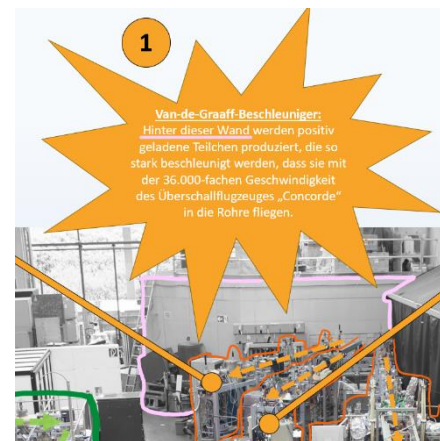


Abbildung 44: Umriss der Wand vom van-de-Graaff-Beschleuniger nachgezeichnet



Abbildung 45: Umriss der Wand des Laserlabors nachgezeichnet

Außerdem wird die Wand vom Laserlabor in einem dunkleren rosa, als die Wand vom van-de-Graaff-Beschleuniger, nachgezeichnet (siehe Abb. 45). Die drei Worte „Hinter dieser Wand“ werden ebenfalls in der dazugehörigen Farbe unterstrichen.

Die Wand des Raumes der EZR-Ionenquelle ist auf dem Bild nicht zu sehen. Deshalb kann dort auch keine Wand nachgezeichnet werden. Der Text „Rechts hinter der Wand [...]“ wird nun mit „Im Raum rechts vom Laser [...]“ ersetzt (siehe Abb. 46). Damit sollte klar sein, dass rechts neben dem rosa nachgezeichneten Laserlabor, sich die EZR-Ionenquelle befindet.



Abbildung 46: Änderung des Textes zur EZR-Ionenquelle

Das fertige Poster befindet sich im Anhang 4.1, welches aufgrund des DIN A4-Formats schlecht zu lesen ist. Falls Interesse am Poster in DIN A0-Format besteht, kann das gedruckte Poster im Café Physik betrachtet werden.

Das fertige Poster wird im universitärem Druckzentrum auf mattem laminiertem Papier gedruckt. Damit das Poster seine Farbe lange behält und nicht durch UV-Strahlung des Lichts verblasst, wird eine lichtechte Farbe von dem Drucker HP Z5600 verwendet.

In Abbildung 47 ist die Position des Posters im Café Physik zu sehen.



Abbildung 47: Position des Posters im Café Physik

9. Bewertung des Posters zur linken Hallenseite durch Schüler*innen

9.1 Planung des Interviews & didaktische Vorüberlegungen

Das Poster zur linken Hallenseite wird wie das Poster zur rechten Hallenseite im DIN A0-Querformat gedruckt und sollte auch von Schüler*innen mithilfe eines Interviews bewertet werden. Bei diesem leitfadengestützten Interview handelt es sich um dieselbe Interviewmethodik und denselben didaktischen Überlegungen wie bei dem Poster zuvor.

9.2 Entwicklung des Leitfadens

Es folgen die Leitfragen zur Gestaltung und zum Inhalt des Posters.

Gestaltung:

- 1.) Wie ansprechend findet ihr das Poster?
- 2.) Wie gut lesbar war das Poster? Schriftgröße/Farben/Kontrast/Bilder?
- 3.) Wie strukturiert ist das Poster aufgebaut? Ist die Strukturierung sinnvoll?
- 4.) Wie interpretiert ihr den Farbverlauf des großen Pfeils?
- 5.) Fällt das orangene Rohr mit dem H^+ -Teilchen auf und was bedeutet es?

Weitere Anmerkungen zur Gestaltung des Posters?

Weitere Verbesserungsvorschläge zur Gestaltung des Posters?

Inhalt:

- 1.) Welche Inhalte sind euch im Gedächtnis geblieben?
- 2.) Wie verständlich ist der Inhalt der einzelnen Sprechblasen?
- 3.) Sprechblase 1: Habt ihr den Begriff der Ionen bereits vor dem Lesen des Posters gehört?
- 4.) Sprechblase 3: Habt ihr schon einmal was von Supraleitung gehört?
- 5.) Ist euch klar geworden, um was es in der linken Hallenseite geht?

Weitere Anmerkungen zum Inhalt des Posters?

Weitere Verbesserungsvorschläge zum Inhalt des Posters?

9.3 Durchführung

Die Interviews zur linken Hallenseite werden nach den beiden Interviews zur rechten Hallenseite ebenfalls am Burggymnasium durchgeführt. Dieses Mal finden zwei Gruppeninterviews à zwei Schüler*innen statt, da nur noch vier Schüler*innen mit einer Einverständniserklärung teilnehmen können, die bei den anderen Interviews noch nicht teilgenommen haben.

9.4 Auswertung der Interviews

9.4.1 Auswertung Interview 1

Bei der Transkription steht das „I“ für die Interviewerin, „Sm1“ für den Schüler und „Sw7“ für die Schülerin.

1 I: Wie gut lesbar war das Poster für euch? Von der Schriftgröße, den Farben oder dem
2 Kontrast?

3 Sm1: Also für mich war alles sehr gut lesbar. Man konnte halt auch alles durch die Farben
4 sehr gut erkennen, z.B. mit dem Pfeil auch so ein Übergang, nicht nur in einer Farbe. Was für
5 mich symbolisieren soll, dass es so nacheinander abläuft. Und es war sehr anschaulich einfach
6 gestaltet.

7 I: Und was sagen die Farben für euch aus? Der Farbverlauf?

8 Sm1: Also es startet ja eher so mit einem blau, das heißt so, und rot kenne ich so Ziel und so.
9 Dass es so verläuft zum Ziel.

10 I: Also sozusagen der Prozess, es fängt irgendwo an und geht dann zum Ziel.

11 Sm1: Genau.

12 I: Und für dich? (Schaut zu Sw7.)

13 Sw7: Also ich fand auch gut, dass es so vielfältig ist und man erkennt die Farben ganz gut. Man
14 nimmt die Information dadurch gut wahr. Ja und Schriftgröße auch sehr gut lesbar.

15 I: Okay und was sagen die Farben für dich aus, so von blau zu orange und am Ende zu rot?
16 (Schaut zu Sw7.)

17 Sw7: Ja, also hier sieht man z.B. Ionen (zeigt auf 1) und von blau zu rot, also macht für mich
18 aufmerksam.

19 I: Okay, danke. Also meine Intention war, dass wir bei einer Teilchengeschwindigkeit von
20 0 km/h starten und die Farbe blau symbolisiert wenig Energie. Dann geht es weiter, es wird
21 schneller, d.h. es hat mehr Energie und deshalb das Orange. Und am Ende ist es wirklich bei
22 5,4 Millionen km/h und es ist rot, weil die Teilchen viel Energie haben und super schnell sind.
23 Das war so meine Intention beim Konzipieren des Posters. Ist es rübergekommen oder muss
24 ich da irgendwas verbessern?

25 *Sm1: Es ist meiner Meinung nach schon rübergekommen, weil rot ist ja auch etwas, das macht*
26 *aufmerksam. Und es ist sinnvoll, wenn da die höchste Zahl steht.*

27 *I: Okay, verstehe.*

28 *Sm1: Und dann der Übergang ist halt auch, blau die niedrigste Zahl ist, und dann noch das*
29 *Orangene, also mittel.*

30 *I: Okay, super.*

Das Interessante hierbei ist, dass Sm1 den Farbverlauf des Pfeils als einen Prozess empfinde. In Zeile 9 meint er, dass es für ihn irgendwo anfangen und dann zum Ziel gehen. Sw7 sagt, dass es für sie Ionen seien, die auch von links nach rechts durch die Experimente gehen und durch die Farbe Aufmerksamkeit bei ihr erwecken. Sm1 ergänzt dann, dass es für ihn sinnvoll wäre, dass sich die höchste Teilchengeschwindigkeit im roten Bereich und dementsprechend die niedrige Zahl im blauen Bereich befindet. Also ist im Endeffekt die Beschleunigung der Teilchen von kleiner Geschwindigkeit zur hohen Geschwindigkeit klar geworden. Auf die mögliche Interpretation der Farbe mit der Energie der Teilchen kommen die Schüler*innen nicht, was jedoch nicht schlimm ist, da diese vom subjektiven Empfinden von Menschen abhängen kann.

31 *I: Okay, wie verständlich fandet ihr den Inhalt? War es zu schwer an manchen Stellen? Oder*
32 *zu einfach?*

33 *Sw7: Also für mich war es an manchen Stellen zu schwer. Manche Wörter habe ich vorher gar*
34 *nicht gehört. Aber du hast trotzdem alles ganz gut erklärt. Ein bisschen habe ich was*
35 *verstanden.*

36 *I: Zum Beispiel, was war dir zu schwer?*

37 *Sw7: Ähm.. Zum Beispiel.. Ich weiß nicht genau..*

38 *I: Oder welche Sprechblase fandest du am unverständlichsten?*

39 *Sw7: Supraleitender Beschleuniger.*

40 *I: Weil du nicht weißt, was Supraleitung ist z.B.?*

41 *Sw7: Ja, genau.*

42 *I: Okay, ja, es ist auch keine leichte Thematik..*

43 *Sm1: Also bei mir war es so, einzelne Wörter kennt man vielleicht noch nicht, aber man konnte*
44 *durch den Text es ziemlich leicht verstehen, also den Inhalt. Gut, man konnte es sich ableiten.*
45 *Ich weiß jetzt auch nicht, was supraleitend ist, aber durch das Beschleunigen und die starke*
46 *Kühlung kann man halt so drauf schließen, dass es halt sehr sehr viel stärker, als davor*
47 *beschleunigt wird.*

48 *I: Also hast du es dir sozusagen mit dem Text erschlossen?*

49 *Sm1: Genau.*

50 *I: Welche Begriffe fandest du zu schwer? (Schaut zu Sm1.)*

51 *Sm1: Also z.B. supraleitender Beschleuniger.*

52 *I: Also nur die Überschrift?*

53 *Sm1: Ja, genau.*

54 *I: Okay, ja, also dann die Namen der Geräte, was auch verständlich ist, dass ihr sie nicht kennt.*

55 *Sm1&Sw7: Ja, genau.*

In Zeile 33f. findet Sw7 das Poster an manchen Stellen zu schwer, da sie manche Wörter vorher gar nicht gehört habe. Den supraleitenden Beschleuniger finde sie am unverständlichsten, da sie nicht wisse, was Supraleitung sei. In Zeile 43-47 ergänzt Sm1, dass er einzelne Wörter nicht kenne, aber er verstehe durch den Text leicht, um was es sich beim Inhalt handle. Den Begriff „supraleitend“ kenne er auch nicht, aber er schließe durch das Beschleunigen und der starken Kühlung auf den Inhalt. In Zeile 55 bestätigen Sm1 und Sw7, dass es die Namen der Geräte seien, die sie nicht kennen. Bei diesem Poster erhalten die Schüler*innen im Vergleich zum Übersichtsposter zur rechten Hallenseite einen tieferen Einblick in die Physik, was jedoch auch zu stärkeren Verständnisproblemen führen kann. Die Überschriften sollen die Geräte benennen und der Text soll die Physik hinter dem Gerät so weit wie möglich elementarisieren, sodass sich die Funktion des Geräts erschließt. In dem obigen Abschnitt entsteht das Gefühl, dass es vor allem die Überschriften sind, die Sw7 abschrecken. Insgesamt scheint es aber so, als hätte sie vom Inhalt ein wenig verstanden.

56 *I: Okay, habt ihr schonmal den Begriff Ionen gehört, vor dem Poster?*

57 *Sw7: Ja, wir haben schon in Chemie gehabt.*

58 *Sm1: Ja.*

59 *I: Okay.*

Hier wird deutlich, dass die Schüler*innen den Begriff der Ionen schon in Chemie hatten. Damit kann in den Sprechblasen also durchaus der Begriff „Ionen“ anstatt der allgemeinen Nennung „Teilchen“ verwendet werden. Im Pfeil wird dennoch nur von Teilchen die Rede sein, damit die Schüler*innen dort, ohne den Text zur „Ionenquelle“ gelesen zu haben, das Prinzip der Beschleunigung von Teilchen verstehen.

60 *I: Habt ihr noch weitere Anmerkungen? Verbesserungsvorschläge?*

61 *Sm1: Also z.B. bei mir, eine kleine Anmerkung wäre jetzt, ich weiß nicht, ob das so gewollt ist*
62 *oder nicht. Aber bei dem einen ist so ein weißer Rand, bei dem 2. Bild. Und bei den anderen*
63 *Bildern nicht. Dass es einfach so gleichmäßiger wird.*

64 *I: Also den weißen Rand abschneiden?*

65 *Sm1: Ja.*

66 *I: Stimmt, super, dass du es gesagt hast.*

67 *Sm1: Sonst, alles super.*

68 *I: Gut, dann danke ich euch, dass ihr mich unterstützt habt.*

Der weiße Rand um das zweite Bild wird bei der Überarbeitung abgeschnitten.

9.4.2 Auswertung Interview 2

Bei der Transkription steht das „I“ für die Interviewerin und „Sw8“ und „Sw9“ für die Schülerinnen.

1 *I: Okay, du hast den Farbverlauf angesprochen. (Schaut zu Sw8.) Was sagt dir dieser*
2 *Farbverlauf? Was symbolisieren für dich die Farben?*

3 *Sw8: Also eher so kalt und warm halt. Also wie ich es so denke. Umso schneller, umso wärmer.*

4 *I: Aha, okay. Was meinst du? (Schaut zu Sw9.)*

5 *Sw9: Also das wollte ich auch sagen, das sehe ich auch so. Am Anfang dachte man sich so: Ja,*
6 *es ist halt ein Farbverlauf. Aber wenn man es sich so durchliest, dann wird es einem anhand*
7 *der Farben auch klar.*

8 *I: Okay, ja, das war auch meine Intention. Also links kaum Energie, deshalb das Blau. Dann*
9 *werden die Teilchen schneller und die Farbe geht ins Orange über und am Ende haben sie eine*
10 *sehr hohe Energie und das symbolisiert das Rot, richtig schnell.*

In Zeile 3 sagt Sw8, dass die Farben die Temperatur von kalt bis warm symbolisieren. Also je schneller die Teilchen seien, desto wärmer würde es werden. Sw9 ergänzt, dass sie am Anfang gedacht habe, dass es einfach ein Farbverlauf sei, aber nach dem Lesen des Posters die Farben auch klar geworden seien. Hier in diesem Interview beschreiben die Schülerinnen den Farbverlauf mit der Temperatur und dem Beschleunigen, was auch ein wenig anders zum Interview 1 ist.

11 *I: Okay, wie habt ihr das Poster denn angefangen zu lesen?*

12 *Sw8: Also ich habe erst mit der 1 im Pfeil angefangen und dann unten die 1 gelesen. (Zeigt*
13 *anschließend auf das Bild 1.) Also immer von oben nach unten.*

14 *I: Also nicht mit dem Pfeil angefangen..*

15 *Sw9: Ich habe mit dem Pfeil angefangen. Also von links nach rechts, von der 1 bis zur 4.*

16 *I: Was fandest.. Z.B. bei dir. (Schaut zu Sw9.) Fandest du es gut, dass du zuerst den Pfeil gelesen*
17 *hast, statt nach Schema 1:1, 2:2 zu gehen?*

18 *Sw9: Doch, ich fand das gut. Weil dann wusste ich, was dann auf mich zukommt. Und dann*
19 *geht man ja beim Lesen näher drauf ein. Man hat also eine Vorstellung, was da jetzt kommt.*

20 *I: Aha, okay. Für dich war es okay, dass du von oben nach unten gelesen hast?*

21 *Sw8: Ja, eigentlich schon. Dann wurde direkt schon was zum Thema gesagt.*

22 *I: Okay, ja, hat beides Vor- und Nachteile. Also ist die Strukturierung sinnvoll für euch? Oder*
23 *habt ihr Verbesserungsvorschläge?*

24 *Alle Sw: Nein.*

Diese Frage soll Einsicht bringen, ob die Schüler*innen zuerst den Pfeil gelesen und dann die Sprechblasen oder abwechselnd von oben nach unten gelesen haben. Damit soll die Frage geklärt werden, ob es besser ist, wenn die Schüler*innen den Pfeil ohne die Sprechblasen für den ersten Eindruck oder den Pfeil und die vertiefenden Sprechblasen abwechselnd lesen. Sw8 sagt, dass sie gemischt von oben nach unten den Pfeil mit den Sprechblasen gelesen habe. Sw9 habe zuerst den Pfeil gelesen und sei anschließend zu den Sprechblasen übergegangen. Sie

meint, dass sie das gut finde, weil sie wisse, was auf sie zukomme. Also gefällt ihr, dass sie vorher eine gewisse Vorstellung habe, um was es auf dem Poster gehe. Sw8 ist mit ihrem Lesevorgang auch zufrieden, da sie nach Lesen der Sprechblase direkt schon etwas zum Thema wisse. Im Endeffekt ist es also unproblematisch, ob zuerst vollständig der Pfeil gelesen oder immer abwechselnd gelesen wird.

25 *I: Okay. Wie verständlich war der Inhalt?*

26 *Sw8: Ich fand der Inhalt war bisschen schwierig.*

27 *Sw9: Es war ein bisschen anspruchsvoller, also man muss sich drauf konzentrieren, um es zu*
28 *verstehen. So einfach Durchfliegen geht da auch nicht. Man muss da ein bisschen drüber*
29 *nachdenken, um den Zusammenhang zu verstehen.*

30 *I: Was habt ihr nicht so gut verstanden?*

31 *Sw8: Mmh..*

32 *I: Oder welche Sprechblase war für euch am schwierigsten?*

33 *Sw9: Also es gibt jetzt nicht wirklich was, wo ich sage: Das habe ich gaaar nicht verstanden.*

Sw8 und Sw9 sagen, dass sie den Inhalt etwas schwierig bzw. anspruchsvoller finden. Sw9 meint, dass sie ein bisschen darüber nachdenken müsse, um den Zusammenhang zu verstehen. Auf die Frage, was sie nicht so gut verstehen, antwortet Sw9, dass es für sie nicht etwas gebe, was sie überhaupt nicht verstehe. Etwas Spezielles, was die Schüler*innen nicht verstehen, kann mit diesem Interview nicht herausgefunden werden. Bei diesem Poster ist aber klar, dass es nicht schnell überflogen werden kann. Zum Lesen des Posters wird etwas Zeit benötigt und die Lesenden müssen sich, wie Sw9 in Zeile 27f. sagt, konzentrieren.

34 *I: Stören euch die Fachbegriffe, die ich in den Überschriften hingeschrieben habe?*

35 *Sw8: Also wo ich mich am Anfang.. Ich habe ja so von oben nach unten gelesen.. Habe ich mich*
36 *halt oben gefragt, was dieses RFQ bedeutet. (Zeigt auf 2. Abschnitt im großen Pfeil.) Also da*
37 *dann so: Hä? Was ist das genau? Aber unten mit dem Text wurde das dann klar, dass das die*
38 *Abkürzung ist.*

39 *I: Also was würdest du stattdessen oben schreiben?*

40 *Sw8: Vielleicht könnte man oben erstmal das Komplette hinschreiben.*

41 *I: Also du meinst es würde dich weniger abschrecken, wenn schon oben steht: Anschließend*
42 *wird das Teilchen mit dem Radio-Frequenz-Quadrupol beschleunigt?*

43 *Sw8: Also man wüsste dann wenigstens, was man mit RFQ meint.*

44 *I: Oder: Anschließend wird das Teilchen mit dem unteren Beschleuniger.. beschleunigt? Noch*
45 *vielleicht umformulieren.*

46 *Sw9: Vielleicht ..mit dem unteren Beschleuniger.. und dann in Klammern dahinter RFQ*
47 *hinschreiben. Dann klärt es sich eh auf.*

48 *I: Ja, das mit der Abkürzung am Anfang mit RFQ versteht man natürlich nicht. Verstehe..*

49 *Alle Sw: Jaa.*

Sw8 fällt ein wichtiger Aspekt auf, denn im Pfeil steht „RFQ“ und diese Abkürzung sagt für Laien wenig aus. Anschließend macht sie in Zeile 40 den Vorschlag, dass im Pfeil der volle Name „Radio-Frequenz-Quadrupol“ aufzuführen sei, damit die Schüler*innen wissen, was mit RFQ gemeint sei. Nach dem Vorschlag statt den vollen Namen des RFQ einfach „im unteren Beschleuniger“ zu schreiben, ergänzt Sw9, dass hinter „im unteren Beschleuniger“ in Klammern RFQ geschrieben werden könne. Diese Idee wird übernommen, da der Pfeil relativ einfach und verständlich gelesen werden soll. Mit dem vollen Namen des RFQ würden vielleicht andere Schüler*innen bereits am Anfang des Posters als Leser*innen abgeschreckt werden, da sich der Begriff kompliziert anhört.

50 *I: Ist euch klar geworden, um was es in der linken Hallenseite geht?*

51 *Sw8: Also einfach, dass da Wasserstoffionen durchgehen.*

52 *Sw9: Ja, das ist so ein Beschleunigungsprozess.*

53 *I: Also ist euch klar geworden, dass diese Geräte dort gebaut werden und geforscht wird?*

54 *Sw8: Also geforscht wird ja, aber gebaut hätte ich jetzt nicht gedacht.*

55 *I: Ich glaube, das muss noch ein wenig herauskommen.. Die ganzen Sachen werden von den*
56 *Physiker*innen in der linken Hallenseite gebaut. Das, das, das. (Zeigt auf einzelne Geräte.)*

57 *Alle Sw: Ahh..*

58 *I: Das steht ganz klein oben.. Entwickelt und gebaut. Wahrscheinlich ist es durch den*
59 *beschriebenen exemplarischen Prozess des Wegs der Teilchen etwas untergekommen.*
60 *Wahrscheinlich muss ich den Aspekt vom Bauen..*

61 *Sw8: Ein bisschen hervorheben. Ja, das geht so ein bisschen unter.*

62 *Sw9: Habe ich mich vorhin auch schon gefragt, aber da habe ich vergessen nochmal*
63 *nachzufragen.*

64 *I: Was würdet ihr vorschlagen, wie mache ich das am besten?*

65 *Sw9: Puh.. Schwierig. Einfach so ein bisschen.. Herausheben? Weil dieses kleingeschrieben da*
66 *oben unter der Überschrift scheint nicht direkt wichtig.*

67 *I: Also z.B. farblich hervorheben oben unter der Überschrift? Oder zu unterstreichen? Das*
68 *entwickelt und gebaut.*

69 *Alle Sw: Ja.*

70 *I: Damit man das noch als Eyecatcher sieht.*

71 *Alle Sw: Ja, genau.*

Bei der Frage, um was es in der linken Hallenseite geht, antwortet Sw8, dass dort Wasserstoffionen durch die Geräte fließen. Sw9 ergänzt, dass es sich dabei um einen Beschleunigungsprozess handle. Nach meiner ergänzenden Frage, ob ihnen klar wird, dass die Geräte auf dem Poster in der Halle gebaut werden und damit geforscht wird, sagt Sw8, dass sie nicht denke, dass sie dort gebaut werden. Außerdem meint Sw8 in Zeile 61, dass der Aspekt des Bauens auf dem Poster untergehe, was Sw9 danach bestätigt. Die Idee, den Aspekt des Forschens und Bauens durch Färben oder Unterstreichen der Worte in der Überschrift hervorzuheben, ist das Resultat dieser Anmerkungen. Diesem wichtigen Aspekt wird dann vielleicht mehr Aufmerksamkeit geschenkt, da es auf dem Poster hauptsächlich um die Anwendung und Erklärung der Geräte mithilfe eines Wasserstoffteilchens geht.

72 *I: Habt ihr noch weitere Anmerkungen zum Poster?*

73 *Sw8: Was man noch machen könnte.. Die H^+ -Teilchen sind ja Wasserstoffionen, oder?*

74 *I: Ja.*

75 *Sw8: Aber da steht ja auch Helium-Kühlung. (Zeigt auf 3. Bild.) Man könnte, wenn man sich*
76 *nicht so gut auskennt, denken, dass es vielleicht Helium ist.*

- 77 *I: Ah, dasselbe. Meinst du wegen der Farbe?*
- 78 *Sw8: Ja.*
- 79 *I: Ah stimmt, okay. Also da lieber eine andere Farbe benutzen?*
- 80 *Sw8: Ja, genau.*
- 81 *I: Okay, super. Dann bedanke ich mich für eure Unterstützung.*

Sw8 macht den Vorschlag, eine andere Farbe für die H^+ -Teilchen oder für den grünen Kasten der Helium-Kühlung zu verwenden. Sie meint, dass die H^+ -Teilchen in Verbindung mit der Helium-Kühlung gebracht werden könnten. Zur Vorbeugung wird eine andere Farbe für die Helium-Kühlung benutzt.

10. Überarbeitung des Posters zur linken Hallenseite

Nach dem Druck sind Herrn Prof. Dr. Wilhelm auch bei diesem Poster noch ein paar Sachen aufgefallen, die im Folgenden ausgeführt werden.

Der Text der Sprechblase für die Ionenquelle beginnt im Plural und im letzten Satz wird der Singular benutzt, also wird der Satz

„Dadurch **entsteht ein positiv geladenes Wasserstoffteilchen, ein sogenanntes Ion.**“

zu folgendem ersetzt:

„Dadurch **entstehen positiv geladene Wasserstoffteilchen (H^+), sogenannte Ionen.**“

Bei der Sprechblase zum supraleitenden Beschleuniger wird der Satz leicht von

„[...] können die **Teilchen** mit wenig Energieeinsatz sehr hohe **Teilchengeschwindigkeiten** erreichen.“

zu

„[...] können die **Ionen** mit wenig Energieeinsatz sehr hohe **Geschwindigkeiten** erreichen.“

verändert.

Dabei wird der Aspekt der Ionen verbessert und der Lesbarkeit halber das „Teilchen“ bei „Teilchengeschwindigkeiten“ entfernt.

Außerdem wird folgender Satz von

„Ob dieser Prozess stattgefunden hat, wird mit 42 speziellen Kristallen, die zu einem Kugeldetektor zusammengefügt sind, **gemessen.**“

zu

„Ob dieser Prozess stattgefunden hat, wird mit 42 speziellen Kristallen **festgestellt**, die zu einem Kugeldetektor zusammengefügt sind.“

korrigiert.

Nun folgt die Überarbeitung des Posters anhand der Interviews.

Der Begriff „Teilchen“ wird in den Sprechblasen zu „Ionen“ geändert, außer an den Stellen, die im Folgenden benannt werden. Der erste Satz „Der Ursprung der Teilchen liegt in der Ionenquelle [..]“ wird nicht verändert, um den Aspekt der Teilchen aus einer Quelle am Anfang zu erhalten. Außerdem wird der letzte Satz „Dadurch entstehen positiv geladene Wasserstoffteilchen, sogenannte Ionen.“ nicht verändert, da hier am Ende das Produkt die „sogenannten Ionen“ mit einer Nebenaufzählung hervorgehoben werden sollen.

Des Weiteren wird der weiße Rand des zweiten Bildes mit dem RFQ abgeschnitten.

Die Füllung des Kastens zur Helium-Kühlung wird in einer türkisenen Farbe gefärbt, damit es zu keiner Überschneidung mit der Farbe der Wasserstoffteilchen kommt (siehe Abb. 48). Es wird diese Farbe ausgewählt, da es in eine blaue Richtung geht und dies Kälte symbolisieren soll.

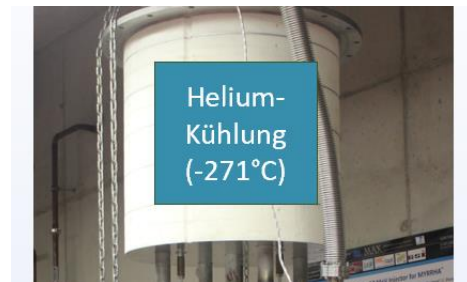


Abbildung 48: Türkise Einfärbung des Kastens

In dem großen Pfeil wird beim zweiten Abschnitt der Satz von „Anschließend wird das Teilchen mit dem RFQ beschleunigt.“ zu „Anschließend wird das Teilchen mit dem unten dargestellten Beschleuniger (RFQ) beschleunigt.“ geändert (siehe Abb. 49).

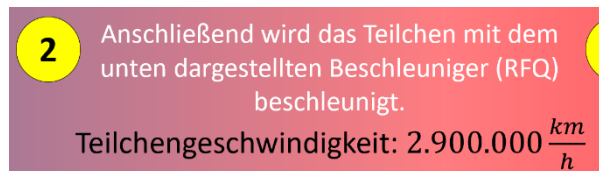


Abbildung 49: Die Abkürzung „RFQ“ wird mit „dem unten dargestellten Beschleuniger (RFQ)“ ersetzt.

Damit der Aspekt des Bauens in der linken Hallenseite hervorgehoben wird, werden die Worte „Teilchenbeschleuniger“, „Detektoren“, „entwickelt und gebaut“ fett formatiert und rot gefärbt (siehe Abb. 50).

In der linken Hallenseite werden **Teilchenbeschleuniger** und **Detektoren** für Experimente **entwickelt und gebaut**, die dann z.B. in der rechten Hallenseite für die Forschung der Universität verwendet werden. Auf diesem Poster wird ein exemplarischer Weg der Teilchen durch einen Beschleuniger dargestellt.

Abbildung 50: Markierung und fette Formatierung der Wörter „Teilchenbeschleuniger, Detektoren, entwickelt und gebaut“

Des Weiteren wird die Farbe der Sprechblasen in einem etwas dunkleren Blauton gefüllt und der Rand weiß gefärbt, damit die Sprechblasen etwas lebendiger wirken und ein höherer Kontrast zwischen der weißen Schriftfarbe und der blauen Füllung entsteht (siehe Abb. 51).

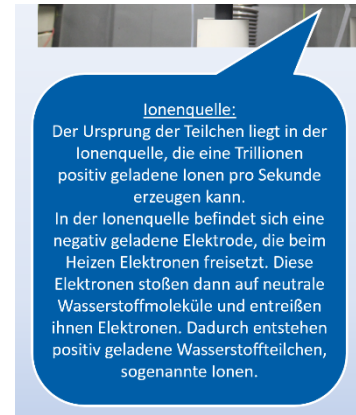


Abbildung 51: Färbung der Sprechblase und weiße Umrandung

Zuletzt wird folgender Satz:

„Mit dieser Kugel wird von den Astrophysiker*innen untersucht, wie lange das Universum bereits existiert, **woher** die schweren Elemente (z.B. die Sonne) herkommen und wie Prozesse in den Sternen ablaufen.“

zu

„Mit dieser Kugel wird von den Astrophysiker*innen untersucht, wie lange das Universum bereits existiert, **wo** die schweren Elemente (z.B. die Sonne) herkommen und wie Prozesse in den Sternen ablaufen.“

korrigiert.

Das fertige Poster befindet sich im Anhang 4.2, welches aufgrund des DIN A4-Formats schlecht zu lesen ist. Falls Interesse am Poster in DIN A0-Format besteht, kann das gedruckte Poster im Raum links vom Café Physik betrachtet werden.

Das fertige Poster wird auf demselben Papier mit derselben Farbe wie das Poster zur rechten Hallenseite gedruckt.

In Abbildung 52 ist die Position des Posters im Raum links vom Café Physik zu sehen.

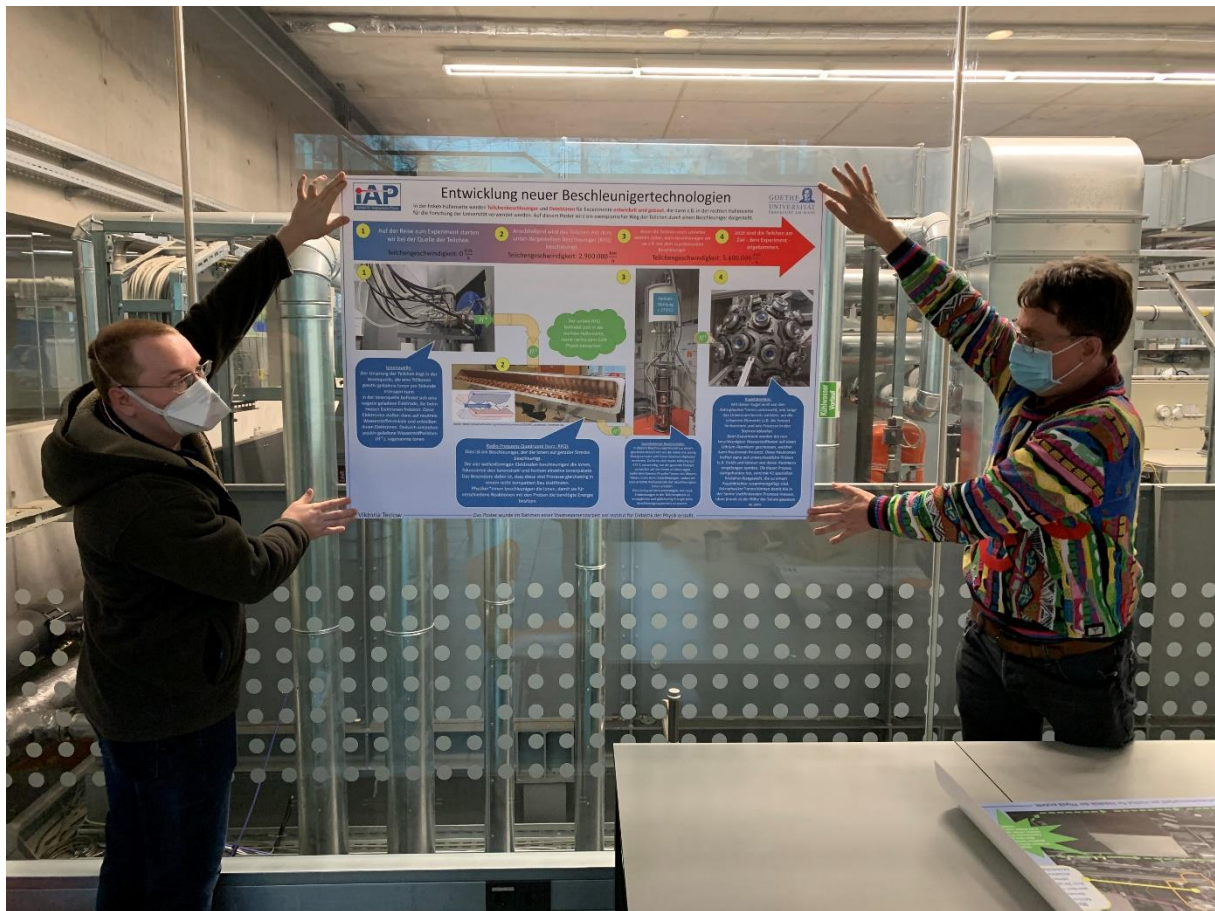


Abbildung 52: Position des Posters im Raum links vom Café Physik

11. Fazit

Das Projekt der Konzeption von Info-Postern zur Frankfurter Beschleunigerhalle ist ein erster Schritt für einen Einblick in die physikalische Forschung der Goethe-Universität. Damit sollen die Schüler*innen vom Schülerlabor oder auch interessierte Studierende im Café Physik die grundlegenden Ideen zu den einzelnen Experimenten und zur Entwicklung neuer Beschleunigertechnologien kennenlernen.

Die komplexen Experimente in der Beschleunigerhalle sind mir zu Beginn der Wissenschaftlichen Hausarbeit von den dort forschenden Physiker*innen erläutert worden. Die Entwicklung der Poster konnte mithilfe der physikalischen Grundlagen, den hessischen Kerncurricula und weiteren didaktischen Überlegungen durchgeführt werden.

Für die rechte Hallenseite ist die grundlegende Idee, dass das Bild der Beschleunigerhalle mittig auf das Poster platziert wird und um das zentrale Bild herum die Experimente mithilfe von Sprechblasen beschrieben werden. Die Texte zu den Sprechblasen sollen Schüler*innen der E-Phase verstehen, sodass die physikalischen Grundlagen elementarisiert werden müssen. Dabei wird unter anderem ein Vergleich zum Überschallflugzeug in Bezug auf die Geschwindigkeit der Ionen aus dem van-de-Graaff-Beschleuniger vollzogen, damit sich die Schüler*innen die Größenordnung vorstellen können.

Die Geräte in der linken Hallenseite sind vom Raum neben dem Café Physik nicht einsehbar, sodass ein anderes Konzept zum Erstellen des Posters vorliegt. Hierbei wird der Fokus auf die Verbindung der dort gebauten Geräte gelegt, wobei ein exemplarisches H^+ -Teilchen durch die einzelnen Geräte bis zum Experiment geleitet wird. Zuerst ist oben auf dem Poster ein mit einem Farbverlauf gefüllter Pfeil zu sehen, der die Reise der Teilchen von der Ionenquelle, über die Beschleuniger bis zum Experiment sehr einfach beschreibt. Anschließend werden die einzelnen Geräte unten mit einem Bild aufgeführt und mit Sprechblasen näher erläutert.

Das Entwickeln der Poster funktioniert mit Power-Point aufgrund der intuitiven Handhabung und der großen Auswahl an grafischen Elementen sehr gut. Für die Konzeption sollte viel Zeit eingeplant und die Poster bei Bedarf von Unbeteiligten bewertet werden. Durch deren Feedback und eigenes Abwägen ist die Entscheidung auf die vorgestellte Version gefallen.

Nach dem Probedruck der beiden Poster sind leitfadengestützte Interviews mit E-Phasen Schüler*innen durchgeführt worden, um die Poster von ihnen bewerten zu lassen. Meiner Meinung nach sind diese Interviews sehr hilfreich, um die Perspektiven und Gedanken der Schüler*innen in Bezug auf die Poster zu verstehen. Einige Sachen wären mir aus Sicht einer

Physikstudentin beim Elementarisieren der physikalischen Inhalte nicht aufgefallen. Außerdem ist auch das Feedback zur Gestaltung der Poster hilfreich gewesen, da gute Ideen von den Schüler*innen zur Überarbeitung der Poster eingebracht wurden.

Nach den Interviews werden die Poster an den verbesserungswürdigen Stellen überarbeitet, um Verständnisschwierigkeiten und Missverständnissen beim Lesen der Poster vorzubeugen. Danach werden die endgültigen Poster in Druck gegeben und im Café Physik und im Nachbarzimmer angebracht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Entwicklung von Info-Postern ein für mich neues und großes Projekt war, wobei bei jedem Schritt der Entwicklung sehr oft reflektiert werden musste und die Interviews mit den Schüler*innen weitere spannende Perspektiven für mich eröffnet haben.

Danksagung

Zuerst möchte ich Herrn Prof. Dr. Thomas Wilhelm dafür danken, dass er dieses spannende Projekt organisiert und die Kontakte zu den Physikern hergestellt hat. Außerdem hat Herr Prof. Dr. Wilhelm bei Fragen schnell geantwortet und es konnte immer zügig eine Lösung gefunden werden.

Als Nächstes danke ich Herrn Dr. Oliver Meusel vom IAP, der die komplexe Physik so gut es geht in einfache Worte „übersetzt“ hat. Außerdem bedanke ich mich für die Hallenbesichtigung und die anschaulichen Erklärungen, wenn ich etwas mal nicht verstanden habe.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Herrn Dr. Lothar Schmidt vom IKF, der mir viele Stunden sehr präzise das physikalische Fachwissen erläutert und bei der Korrektur der fachlichen Inhalte auf den Postern geholfen hat. Auch bei ihm bedanke ich mich für die Hallenbesichtigung und der tatkräftigen Unterstützung bei der Fotografie der Halle.

Bei Herrn Prof. Dr. Dörner möchte ich mich auch bedanken, da er mir zu Anfang des Projekts einen grundlegenden Überblick über die Physik in den beiden Hallenseiten gegeben und auch beim Fotografieren der Halle unterstützt hat.

Darüber hinaus möchte ich mich bei Herrn Jan Jung vom Burggymnasium bedanken, dass er mir seinen E-Phasen Kurs für die Interviews zur Verfügung gestellt und die Umsetzung der Interviews organisiert hat. Dabei möchte ich auch ein aufrichtiges Dankeschön an die engagierten Schüler*innen des Kurses aussprechen.

Außerdem möchte ich mich bei Eduard Rebin, Mafalda Sondermann und Lukas Wolf bedanken, die mich während des Projektes moralisch unterstützt haben und auch zu jeder Zeit wertvolles Feedback zu etlichen Entwurfs-Versionen der Poster gegeben haben.

Zuletzt bedanke ich mich bei meinen Eltern, die mich bei der Examensarbeit und auch dem Studium moralisch unterstützt haben und auch mal Feedback zu den Postern gegeben haben.

Literaturverzeichnis

- Aufenanger, S. (1991). Qualitative Analyse semi-strukturierter Interviews – Ein Werkstattbericht. In: Garz, D. & Kraimer, K. (Hrsg.), *Qualitativ-empirische Sozialforschung. Konzepte, Methoden, Analysen* (S. 35-59). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Böhringer, J., Bühler, P., & Schlaich, P. (2007). *Präsentieren in Schule, Studium und Beruf*. Berlin: Springer.
- Christe, R. & Domes, G. (2020). *Wissenschaftliche Poster gestalten und präsentieren*. Berlin: Springer.
- Dörner, R. Zitat. (2016). *Das COLTRIMS-Reaktionsmikroskop am European XFEL*. <https://www.weltderphysik.de/thema/bmbf/erforschungkondensiertermaterie/das-coltrims-reaktionsmikroskop-am-european-xfel/> [07.10.2021].
- Dörner, R. & Moshhammer, R. (2015). *Das ganze Bild aus Bruchstücken*. Physik Journal 14, Nr. 8/9.
- Flugzeug-Lexikon. (2021). *Concorde: Das erste erfolgreiche Passagierflugzeug der Welt, das Überschallgeschwindigkeit flog*. <https://www.flugzeug-lexikon.de/Sinsheim-Speyer/Concorde/concorde.html> [24.09.2021].
- Hessisches Kultusministerium. (2011). *Bildungsstandards und Inhaltsfelder. Das neue Kerncurriculum für Hessen Sekundarstufe I – Gymnasium CHEMIE*. https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/kerncurriculum_chemie_gymnasium.pdf [13.09.2021].
- Hessisches Kultusministerium. (2011). *Bildungsstandards und Inhaltsfelder. Das neue Kerncurriculum für Hessen Sekundarstufe I – Gymnasium PHYSIK*. https://kultusministerium.hessen.de/sites/kultusministerium.hessen.de/files/2021-07/kerncurriculum_physik_gymnasium.pdf [13.09.2021].
- Hessisches Kultusministerium. (2016). *Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe – PHYSIK*. <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/kcgo-ph.pdf> [13.09.2021].
- Hopf, M. & Wilhelm, T. (2011). Design-Forschung. In: Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 31-42). Berlin: Springer.
- LEIFIphysik. (2021). *Bewegte Ladungen in Feldern, Hochfrequenz-Linearbeschleuniger*. <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/bewegte-ladungen-feldern/ausblick/hochfrequenz-linearbeschleuniger> [15.10.2021].

- NTG. (2021). Teilchen-Beschleuniger, RFQ, *Hochleistungs CW-RFQs*.
<https://www.ntg.de/produkte/teilchen-beschleuniger/rfq/hochleistungs-cw-rfqs/>
[15.10.2021].
- Schwenner, L. (2021). *Radioaktive Strahlung im Alltag*. Quarks.
<https://www.quarks.de/gesundheit/radioaktive-strahlung-im-alltag/> [05.10.2021].
- Vossberg, M. (2011). Dissertation. *Der neue RFQ für den Hochladungsinjektor der GSI*.
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der rechten Hallenseite (durch Café Physik einsehbar) Quelle: Herr Dr. Lothar Schmidt (IKF).....	2
Abbildung 2: Röntgenteleskop XMM-Newton Quelle: https://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-5163/8674_read-19140/8674_page-2/gallery-1/216_read-3/ [05.10.21].....	5
Abbildung 3: Ausschnitt des Experiments zur Materialforschung	6
Abbildung 4: COLTRIMS in der Beschleunigerhalle.....	7
Abbildung 5: Ionisierung des Gasstrahls (von unten nach oben) und anschließende Detektion der Bruchstücke (Ionenfragmente & Elektronen) Quelle: Dörner, R. & Moshhammer, R. (2015). Das ganze Bild aus Bruchstücken. Physik Journal 14, Nr. 8/9	8
Abbildung 6: Apparatur zur Strukturbestimmung von Helium-Dimeren und Helium-Trimeren mit dem COLTRIMS	9
Abbildung 7: Ausschnitt des Versuchs "Test von Strahlführungselementen"	10
Abbildung 8: Ausschnitt des FLSR.....	11
Abbildung 9: Ionenquelle.....	13
Abbildung 10: Sinusförmige Elektroden im RFQ Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/RFQ_accelerator_schematic.svg [15.10.2021]	14
Abbildung 11: In waagerechter Richtung wird das positiv geladene Teilchen defokussiert und in senkrechter Richtung fokussiert.	14
Abbildung 12: In waagerechter Richtung wird das positiv geladene Teilchen fokussiert und in senkrechter Richtung defokussiert.	15
Abbildung 13: Geöffneter RFQ Quelle: https://www.ntg.de/produkte/teilchen-beschleuniger/rfq/hochleistungs-cw-rfqs/ [15.10.2021].....	15
Abbildung 14: Aufbau eines Driftröhrenbeschleunigers	16
Abbildung 15: Beschleunigung der Teilchen in den grünen Bereichen zwischen den Driftröhren	16
Abbildung 16: Das Proton wird durch die negativ geladene Driftröhre angezogen.	16
Abbildung 17: Das Proton wird nach der Umpolung durch die negativ geladene Driftröhre weiterhin beschleunigt.....	17
Abbildung 18: Ausschnitt eines Driftröhrenbeschleunigers	17
Abbildung 19: Supraleitender Beschleuniger (unteres silbernes Gehäuse) mit Helium-Kühlung (weißer Zylinder oben).....	18
Abbildung 20: Kugeldetektor.....	19
Abbildung 21: Einstellung des DIN A0-Formats.....	21
Abbildung 22: Formatierung des Hintergrunds	21
Abbildung 23: Anleitung Bildbearbeitung – Farbton-Buntheit	23
Abbildung 24: Anleitung Bildbearbeitung – Farbsättigung und Helligkeit.....	23
Abbildung 25: Ebene duplizieren.....	24
Abbildung 26: Entfärben der neuen Ebene (I)	24
Abbildung 27: Entfärben der neuen Ebene (II).....	24
Abbildung 28: Ebenenmaske hinzufügen	24
Abbildung 29: Ebenenmaske mit weiß (volle Deckkraft) initialisieren.....	25
Abbildung 30: Färben der schwarz-weißen Stellen	25
Abbildung 31: Zeichnen der farbigen Umrisse der Experimente	26

Abbildung 32: Einfügen der farbigen Pfeile für die Wege der Ionen bzw. der Laserstrahlen .	27
Abbildung 33: Position des bearbeiteten Bildes auf dem Poster	27
Abbildung 34: Hinzufügen der Sprechblasen und Ziffern	28
Abbildung 35: Layout der linken Hallenseite	34
Abbildung 36: Gestaltung der Überschrift	35
Abbildung 37: Hinzufügen der Bilder und Erzeugung einer Verbindung der einzelnen Geräte	36
Abbildung 38: Hinzufügung des großen Pfeiles, um die Reise der Teilchen zu beschreiben .	37
Abbildung 39: Skizze der vier wellenförmigen Elektroden unten links vom RFQ	40
Abbildung 40: Der Begriff "Strahloptiken" wird durch den Begriff "Geräte" ersetzt.	54
Abbildung 41: Änderung der Nummerierung	55
Abbildung 42: Optimierung der Sprechblasen und der dazugehörigen Striche.....	55
Abbildung 43: Die Teilchenpfeile werden zu gestrichelten Pfeilen verändert.	56
Abbildung 44: Umriss der Wand vom van-de-Graaff-Beschleuniger nachgezeichnet.....	56
Abbildung 45: Umriss der Wand des Laserlabors nachgezeichnet.....	56
Abbildung 46: Änderung des Textes zur EZR-Ionenquelle.....	57
Abbildung 47: Position des Posters im Café Physik	57
Abbildung 48: Türkise Einfärbung des Kastens	69
Abbildung 49: Die Abkürzung „RFQ“ wird mit "dem unten dargestellten Beschleuniger (RFQ)“ ersetzt.	69
Abbildung 50: Markierung und fette Formatierung der Wörter "Teilchenbeschleuniger, Detektoren, entwickelt und gebaut"	69
Abbildung 51: Färbung der Sprechblase und weiße Umrandung	70
Abbildung 52: Position des Posters im Raum links vom Café Physik.....	71

Anhang

Anhang 1: Poster vor Interviews

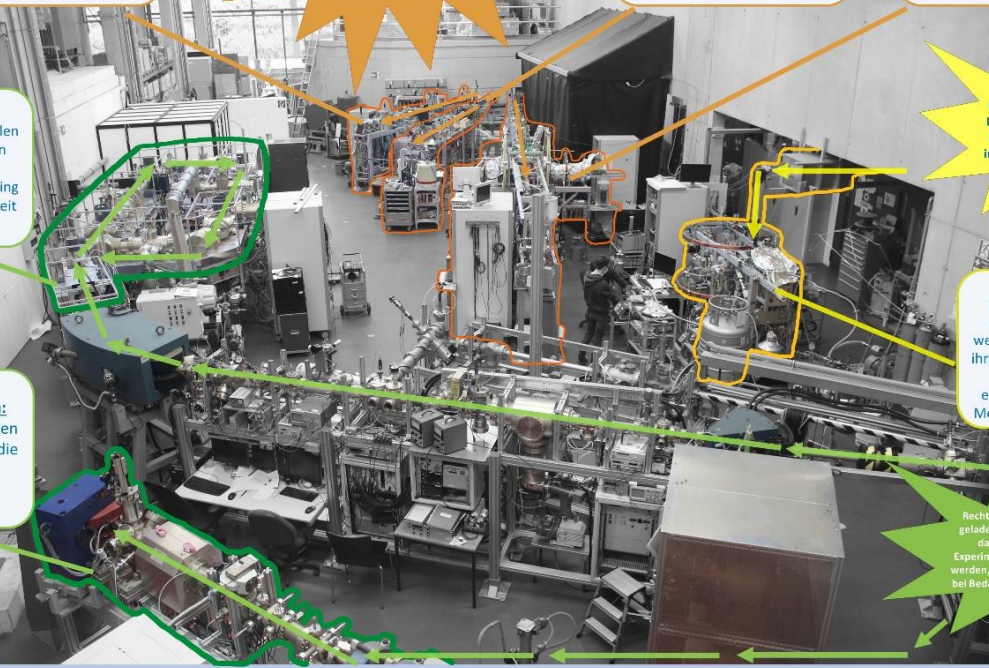
Anhang 1.1: Poster (rechte Hallenseite)



Beschleunigerhalle

In dieser Halle führen Physiker*innen der Goethe-Universität Experimente mit beschleunigten Teilchen durch.





2 Astrophysik:
Physiker*innen erforschen, woher im Universum die kosmische Strahlung kommt und wie sie an Teleskopen reflektiert wird. Anstelle der kosmischen Strahlung wird hier die Teilchenstrahlung des Beschleunigers verwendet.

1 Van-de-Graaff-Beschleuniger:
Hinter der Wand werden positiv geladene Teilchen produziert, die so stark beschleunigt werden, dass sie mit der 36.000-fachen Geschwindigkeit des Überschallflugzeuges „Concorde“ in die Röhre fliegen.

3 Materialforschung:
Wasserstoff in Metallen kann zu Versprödungen des Metalls und somit zu möglichen Rissen führen. Um den Alterungsprozess zu rekonstruieren, soll ermittelt werden, wie weit der Wasserstoff in das Metall gelangt.

4 Atomphysik:
Hier untersuchen Physiker*innen, wie sich Elektronen in Atomen und Molekülen bewegen und wie eine chemische Bindung entsteht. Diese Kenntnis ist notwendig, um den Aufbau von Materie zu verstehen.

5 Laser:
Hinter der Wand werden Laserstrahlen erzeugt, die über Röhren und Spiegel in die Apparatur gelangen.

6 Strukturuntersuchung:
Mithilfe des Laserstrahls und dessen Welleneigenschaften werden Helium-Verbindungen auf ihre Struktur untersucht. Der Laser zerteilt das Helium in seine einzelnen Bestandteile, um den Molekülaufbau zu rekonstruieren.

7 Ionenquelle:
Rechts hinter der Wand werden geladene Teilchen produziert, die dann über Röhren zu den Experimenten 8 und 9 transportiert werden, wobei sie zum Experiment 8 bei Bedarf noch weiter beschleunigt werden können.

9 Frankfurter Speicherring:
Um die Bewegung von Molekülen über einen längeren Zeitraum untersuchen zu können, durchlaufen die Teilchen den Ring mit einer hohen Geschwindigkeit mehrere tausend Mal.

8 Test von Strahlführungselementen:
In diesem Experiment werden Strahlloptiken getestet, die die Teilchenstrahlen aus der Ionenquelle (grün) fokussieren.

Viktoria Tezlow — Das Plakat wurde im Rahmen einer Staatsexamensarbeit im Institut für Didaktik der Physik erstellt.

Anhang 1.2: Poster (linke Hallenseite)



Entwicklung neuer Beschleunigertechnologien

In der linken Hallenseite werden Teilchenbeschleuniger und Detektoren für Experimente entwickelt und gebaut, die dann z.B. in der rechten Hallenseite für die Forschung der Universität verwendet werden. Auf diesem Poster wird ein exemplarischer Weg der Teilchen durch einen Beschleuniger dargestellt.



1 Auf der Reise zum Experiment starten wir bei der Quelle der Teilchen.

Teilchengeschwindigkeit: $0 \frac{km}{h}$

2 Anschließend wird das Teilchen mit dem RFQ beschleunigt.

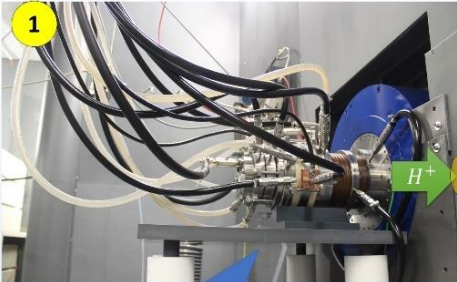
Teilchengeschwindigkeit: $2.900.000 \frac{km}{h}$

3 Wenn die Teilchen noch schneller werden sollen, dann beschleunigen wir sie z.B. mit dem supraleitenden Beschleuniger.

Teilchengeschwindigkeit: $5.400.000 \frac{km}{h}$

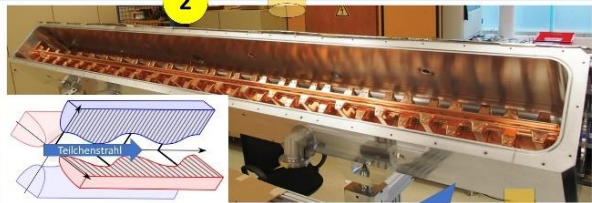
4 Jetzt sind die Teilchen am Ziel - dem Experiment - angekommen.

1



Ionenquelle:
Der Ursprung der Teilchen liegt in der Ionenquelle, die eine Trillionen positiv geladene Teilchen pro Sekunde erzeugen kann. In der Ionenquelle befindet sich eine negativ geladene Elektrode, die beim Heizen Elektronen freisetzt. Diese Elektronen stoßen dann auf neutrale Wasserstoffmoleküle und entziehen ihnen Elektronen. Dadurch entsteht ein positiv geladenes Wasserstoffteilchen, ein sogenanntes Ion.

2



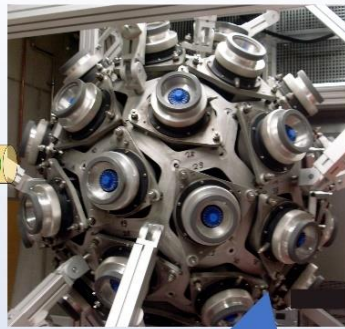
Radio-Frequenz-Quadrupol (kurz: RFQ):
Dies ist ein Beschleuniger, der die Teilchen auf gerader Strecke beschleunigt. Die vier wellenförmigen Elektroden beschleunigen die Teilchen, fokussieren den Teilchenstrahl und formen einzelne Teilchenpakete. Das Besondere dabei ist, dass diese drei Prozesse gleichzeitig in einem recht kompakten Bau stattfinden. Physiker*innen beschleunigen die Teilchen, damit sie für verschiedene Reaktionen mit den Proben die benötigte Energie besitzen.

3



Supraleitender Beschleuniger:
In diesem Beschleunigermodule aus einem speziellen Metall können die Teilchen mit wenig Energieeinsatz sehr hohe Teilchengeschwindigkeiten erreichen. Dafür ist eine starke Kühlung auf $-271^{\circ}C$ notwendig, um die gesamte Energie verlustfrei auf die Teilchen zu übertragen. Außerdem können Physiker*innen mit diesem Modul mehr Teilchen beschleunigen, sodass sie eine erhöhte Kollisionsrate der beschleunigten Teilchen erzielen. Dies sind gute Voraussetzungen, um neue Entdeckungen in der Teilchenphysik zu ermöglichen und gleichzeitig Energie beim Beschleunigungsprozess zu sparen.

4



Kugeldetektor:
Mit dieser Kugel wird von den Astrophysiker*innen untersucht, wie lange das Universum existiert, woher die schweren Elemente (z.B. die Sonne) herkommen und wie Prozesse in den Sternen ablaufen. Beim Experiment werden die nun beschleunigten Wasserstoffteilchen aus der Ionenquelle auf einen Lithium-Atomkern geschossen, welcher dann Neutronen freisetzt. Diese Neutronen treffen dann auf unterschiedliche Proben (z.B. Gold) und können von deren Atomkern eingefangen werden. Ob dieser Prozess stattgefunden hat, wird mit 42 speziellen Kristallen, die zu einem Kugeldetektor zusammengefügt sind, gemessen. Astrophysiker*innen können damit die in der Sonne stattfindenden Prozesse messen, ohne jemals in der Nähe der Sonne gewesen zu sein.

Viktoria Tezlow

Das Plakat wurde im Rahmen einer Staatsexamensarbeit im Institut für Didaktik der Physik erstellt.

Anhang 2: Interview (rechte Hallenseite)

Anhang 2.1: Interview 1

I: Wie ansprechend findet ihr das Poster bzw. wie war euer erster Eindruck?

Sw1: Also ich finde es ziemlich cool und klar erkennbar mit den Pfeilen und ich finde es cool mit den verschiedenen Farben und die ganzen gekennzeichneten Maschinen.

Sw2: Ja, ich wollte das gleiche sagen, sieht sehr professionell aus.

Sw3: Ja, ich finde auch, dass man.. Dadurch dass Sie mit den Farben markiert haben, wo die ganzen Maschinen sind, es einfach zu verstehen ist, wo alles durchfließt.

I: Wie seid ihr vorangegangen? Also was habt ihr euch als Erstes angeguckt? Was ist euch als Erstes aufgefallen?

Sw3: Ich bin nach den Nummerierungen gegangen.

I: Okay, also alle?

Sw1: Also am Anfang wollte ich nach dem Uhrzeigersinn gehen, aber dann habe ich gemerkt, dass die 2 hier war (zeigt auf 2. Sprechblase). Aber dann bin ich auch nach den Nummern gegangen.

I: Findet ihr diese Strukturierung sinnvoll? Oder hättet ihr euch gewünscht, dass ich es nicht nummeriert hätte?

Sw3: Also ich finde es besser so..

I: Also, dass du einen Leitfaden hast?

Sw3: Jaa, genau. Also, dass ich nicht bei der Maschine (zeigt auf Sprechblase 2) und dann zur anderen Maschine gehe (zeigt auf Sprechblase 4).

I: Okay, super. Dann gehen wir weiter. Wie gut lesbar war das Poster? Also Farben, wie gut ihr die Schrift lesen konntet?

Sw1: Also ich fand es super lesbar. Man konnte alles aus der Ferne sehr gut erkennen und lesen. Und ich finde es auch gut, dass das Bild so ein bisschen angegraut ist, weil dadurch kann man die Farben mehr erkennen und es wird auch deutlicher, was so abgegrenzt wird.

Sw2: Ja, ich stimme zu.

I: Okay. Dann habe ich manchmal diese bunten Striche eingemalt (zeigt auf grünen Strich von 8. Sprechblase zum Experiment). Die hier, die hier, die hier (zeigt auf andere Striche von Sprechblasen zum Experiment). Ist euch klar, was sie bedeuten? Oder welcher Strich wohin führt? Was würdest du sagen (schaut zu Sw3)?

Sw3: Ja, es ist schon deutlich?

I: Oder was sollen diese Pfeile bedeuten? (Zeigt auf Teilchenpfeile in Frankfurter Speicherring.)

Sw3: Achso. Das sind die Ionen, also Teilchen.

Sw2: Also Teilchen, ja genau.

I: Wie findet ihr das mit dem Strich hier, bei der Sprechblase (zeigt auf Strich von Sprechblase 3 zum Experiment)? Weil irgendwie überlappt es sich hier ja? Ist das verständlich? Oder fandet ihr das nicht störend, da ihr gesehen habt, dass der Strich von der Sprechblase zum Experiment geht?

Sw3: Also ich glaube durch die Pfeile ist klar, was zu was gehört.

I: Okay, alles klar. Habt ihr irgendwelche anderen Anmerkungen zum Design oder Verbesserungsvorschläge zum Poster? Was euch jetzt nicht so gefällt?

Sw1: Also jetzt nicht, was mir nicht gefällt, aber ich wollte fragen. Hier sind ja diese Sterne (zeigt auf Sprechblase 7). Was genau bedeuten sie? Soll das irgendwie noch was erklären?

I: Ahh, ja, sehr gut. Du hast ja gemerkt, dass die Sprechblase hier (zeigt auf Sprechblase 1) anders ist, als die Sprechblase hier (zeigt auf Sprechblase 2). Du hast ja gesehen, dass da Experimente sind, die beschrieben wurden (zeigt auf Sprechblase 8, 9, 2). Und das sind ja so Quellen, also Teilchenquellen (zeigt auf Sprechblase 1&7). Also Teilchenerzeugung, so explosiv, da entstehen Teilchen, die sich dann in Richtung der Experimente bewegen.

Sw1: Ahh, okay.

I: Das heißt, was hätte ich hier anders machen sollen? Damit es klarer erkennbar ist?

Sw1: Also, wenn man daneben es einer Klasse vorstellt, dann einfach sagen, aber dann ist es ziemlich klar eigentlich.

I: Okay, also nicht nochmal extra ein leeres Sternchen auf das Poster setzen und dort den Sinn davon hineinschreiben?

Alle Sw: (Kopfschütteln.)

I: Also so lassen?

Sw1: Ja.

I: Was ist euch noch im Gedächtnis geblieben?

Sw3: Also mir sind die Quellen hängengeblieben.

I: Ja, aber es ist schwierig.

Sw1: Ja, genau. Man hätte es sich wahrscheinlich länger angucken müssen.

I: Okay, alles gut. Kein Problem. Wie verständlich fandet ihr den Inhalt der Sprechblasen? Konnte man gut folgen? Oder habt ihr etwas nicht verstanden?

Sw1: Also ich bin jetzt echt nicht der Mathe/Physik/Chemie Experte, aber ich glaube es ist schon sehr heruntergebrochen und dass jeder es versteht.

Sw2: Und die Sätze sind klar formuliert.

I: Okay. Und versteht ihr welche Wand hier hinter der Wand gemeint ist? (Zeigt auf Sprechblase 1.)

Sw3: Also entweder die da so schwarz angedunkelt ist (Zeigt auf schwarzen Umhang rechts neben Sprechblase 1.) ..mmh..

I: Und was meint ihr? (Schaut zu Sw1 & Sw2.)

Sw2: Also ich denke es ist die da hinter halt (zeigt auf weiße Betonwand unter Sprechblase 1).

I: Okay, es ist die hier (zeigt auf Betonwand unter Sprechblase 1). Das ist gut, dass du auf den schwarzen Umhang gezeigt hast (schaut zu Sw3). Also muss ich das noch verbessern. Bei den anderen Sprechblasen mit "Hinter der Wand" weiß man wahrscheinlich auch nicht, welche Wand gemeint ist.

Sw1: Genau.

I: Okay. Andere Frage: Könnt ihr euch vorstellen, was Strahloptiken sind? Also intuitiv.. Es gibt kein richtig oder falsch.

Sw1: Also das ist jetzt wirklich weit hergeholt. Vielleicht irgendwelche Strahlen, wegen Optik und so. Hätte ich jetzt gedacht.. Aber das war auch die Nummer, die ich jetzt nicht verstanden habe, von allen.

I: Also nicht verstanden, was Strahloptiken sind?

Sw1: Ja, genau.

I: Okay, wenn ich sage.. In diesem Experiment werden Aufbauten getestet, die die Teilchenstrahlen aus der Ionenquelle fokussieren. Macht das mehr Sinn für euch?

Sw1: Dann verstehe ich es immer noch nicht.

I: Okay, also das sind halt solche Geräte, die den Teilchenstrahl fokussieren. Also sozusagen.. Die Teilchen sind gestreut und dann werden sie fokussiert. Das sind Strahloptiken, wie z.B. Linsen aus der Schule und die heißen hier Plasmalinsen.

Sw1: Ahhhh.

I: Und das sind halt Strahloptiken, da sie den Strahl fokussieren. Habt ihr da einen besseren Vorschlag?

Sw3: Vielleicht könnte man das mit einem Sternchen weiter erklären.

I: Okay oder vielleicht sogar einen anderen Begriff für Strahloptiken verwenden?

Sw3: Mmh.. ja, zum Beispiel.

I: In diesem Experiment werden Bauteile getestet, die die Teilchenstrahlen fokussieren?

Sw3 & Sw1: (nicken.)

I: Okay, da überlege ich nochmal. Ist euch klar geworden, um was es in der Beschleunigerhalle geht?

Sw3: Ich bin mir nicht sicher, aber es geht um Teilchenphysik?

I: Ja, richtig.

Sw1: Es sind irgendwie verschiedene Experimente mit Ionen und Wasserstoff mit Metall, dass es irgendwie nicht anfängt spröde zu werden. Also es sind irgendwie ganz ganz viele Experimente.

I: Alles klar. Ja, habt ihr noch weitere Anmerkungen zum Inhalt oder der Gestaltung? Verbesserungsvorschläge?

Sw3: Ich weiß nicht, aber da ist ein anderer Orange-Ton.. (Zeigt auf Umriss von Experiment 3 und auf Strich von Sprechblase 3 zum Experiment.) Also dann doch diesen Strich von der Sprechblase in einer anderen Farbe machen und die Farbe vom Umriss auch anders machen.

I: Ah okay, also die Farbe der Striche der Sprechblasen, der Pfeile und Umrisse nochmal anpassen. Also damit sie sich nicht überlappen?

Sw3: Ja, genau.

I: Okay.

Sw1: Sie haben hier ja verschiedene Farben verwendet. Also für die 7, 8, 9 die gleiche und dann für die 5, 6. Hat das eine Bedeutung?

I: Ja, es hat eine Bedeutung. Experimente 2, 3, und 4 kommen ja aus der Teilchenquelle (zeigt auf Sprechblase 1). Die kommen ja aus dem Laserstrahl (zeigt auf Sprechblase 5).

Sw1: Ahhh.. Okay. Das ist logisch.

I: Ja, dann müsste ich das vielleicht deutlicher machen. Alles klar, dann bedanke ich mich für euer Engagement!

Anhang 2.2: Interview 2

I: Wie ansprechend findet ihr das Poster? Einfach intuitiv?

Sw4: Schon sehr. Da steht halt nicht zu viel drauf und ich finde halt, wenn das Poster überladen ist, dann ist es nicht mehr so interessant.

I: Okay.

Sw5: Also ich finde die Aufteilung gut. Man erkennt, was zu was gehört und dass es nochmal.. Das Gerät nochmal.. Gegenstand.. Nochmal eingerahmt sind und mit Pfeilen sind. Da erkennt man, was zu was gehört und das ist halt von der Struktur halt gut aufgeteilt.

I: Okay, und wie ist es deiner Meinung nach aufgeteilt? Was meinst du damit?

Sw5: Ja, dass außenrum der Text ist und im Bild jetzt nicht viel Text steht, sondern eher außenrum, sodass man sich noch das Bild angucken kann. Ähm.. Ja.

I: Alles klar. Ja? (guckt zu Sw6).

Sw6: Ja, also ich finde die Aufteilung ist sehr gut und ich finde auch durch die Farben kann man auch wie Sw5 schon gesagt hat, erkennen, was zu was gehört.

I: Und wieso habe ich drei unterschiedliche Farben für die Sprechblasen genommen?

Sw5: Weil das drei unterschiedliche Themenbereiche sind?

Sw6: Ja.

I: Okay, genau. Wie gut lesbar fandet ihr das Poster? Konnte man es lesen von der Schriftgröße, der Farben?

Alle Sw: (nicken).

I: Okay. Findet ihr die Strukturierung sinnvoll? Dass ich da so Nummerierungen hinzugefügt habe? Oder hättet ihr es ohne besser gefunden?

Sw4: Äh.. Ich habe noch eine Frage. Hat es einen Sinn, dass es von da nach da geht? (zeigt von Sprechblase 1 zu 5, 6 und 7). Also weil oben ist Beschleuniger, dann Laser und Ionenquelle. Hat es irgendwie ein Zusammenspiel? Dass es vom Beschleuniger irgendwas mit dem Laser zu tun hat?

I: Nein, das ist alles unabhängig. Die Experimente und Quellen sind alle unabhängig voneinander.

Sw6: Also vielleicht.. Das gehört ja nicht alles zu einem System, oder?

I: Genau.

Sw6: Vielleicht hätte man es so machen können, dass man nicht so 1 bis 9, sondern so die einzelnen Projekte nummeriert. Das Orangene 1, 2, 3, 4.. Und das Gelbe 1.1, 1.2. ...

I: Oder ich mache so.. Hier 1, 2, 3, 4 als arabische Zahlen (zeigt auf Sprechblasen 1, 2, 3, 4) und dann hier als römische Zahlen (zeigt auf Sprechblase 5, 6).

Sw6: Also genau.. So auseinander. Dass es nicht ein komplettes Projekt ist, sondern immer verschiedene.

I: Gute Idee, danke! Da denke ich nochmal drüber nach. Okay, ja.. Und wie findet ihr das von den Strichen? Passt es hier, dass es dieselbe Farbe ist, wie die Pfeile hier? (zeigt von Strich von Sprechblase 2 zum Experiment und die Pfeile aus dem van-de-Graaff-Beschleuniger). Also was auch die Pfeile bedeuten?

Sw5: Damit sind die Geräte.. Also..

Sw6: Was da drin passiert. Also die Molekül, was da halt durchgeht.

I: Ja, das war der Sinn, dass sie Teilchen darstellen. Dass sie da entlanglaufen und zirkulieren z.B. (Zeigt auf Frankfurter Speicherring.) Genau, aber stört euch das, dass sozusagen die Pfeile fast dieselbe Farbe haben, wie dieser Strich zur Sprechblase hin? (Zeigt auf Pfeile aus van-de-Graaff-Beschleuniger und Strich von Sprechblase 2 zum Experiment.)

Sw5: Ahh.. Das ist ein bisschen tricky. Weil ich dachte nämlich eigentlich, dass der hier einfach so gespalten wird und dass der hier in alle drei Richtungen geht, also dass es so zusammenhängt. (Zeigt auf den Strich von Sprechblase 3 zum Experiment, der "gespalten wird" und dann in alle drei Experimente hineingeht ihrer Meinung nach.)

Sw4: Ja, das dachte ich auch..

I: Also du meinst, dass es von hier aus in alle drei Experimente geht? (Zeigt von Sprechblase 3 über die Teilchenpfeile zu allen drei Experimenten.)

Alle Sw: Ja.. Genau..

I: Okay, sehr aufschlussreich für mich. Das war sehr hilfreich. Ja und dann noch zum Inhalt. Was ist bei euch hängengeblieben, als ihr es gelesen habt? Ist auch nicht schlimm, wenn euch nichts hängengeblieben ist.

Sw6: Ich weiß jetzt nicht.. Aber ich konnte alles verstehen, also nachvollziehen. Sie haben es auch so erklärt, dass man es verstehen kann.

I: Ja, das ist jetzt die andere Frage. Wie verständlich war der Inhalt? Habt ihr irgendwie gemerkt.. Mmh. Ne.. Das habe ich gar nicht verstanden?

Sw6: Also eigentlich, wenn man Physik hatte, so Grundlagen kann, dann versteht man's.

Sw5: Also ich verstehe kein Physik.

I: Also ist das Poster zu schwer, wenn man kein Physik versteht?

Sw5: Mmh.. Ne.. Also auch wenn ich kein Physik kann, habe ich es schon verstanden.. So schwer war es jetzt nicht.

I: Versteht ihr hier, welche Wand gemeint ist? (Zeigt auf Sprechblase 1.) Hinter der Wand werden positiv geladene Teilchen produziert.

Sw5: Ich dachte hinter dieser schwarzen.

Sw6: Hätte ich jetzt auch gedacht..

I: Also hier? (Zeigt auf schwarze Verkleidung unter Sprechblase 3.) Und du auch? (Schaut zu Sw4.)

Sw4: Ich dachte hinter der Großen da. (Zeigt auf graue Betonwand unter Sprechblase 1.)

I: Ah, okay. Genau, es ist die Wand.

Alle Sw: Ahh.. Okay.

I: Ja, das muss ich dann bisschen deutlicher hervorheben. Vielleicht.. Hinter der grauen Wand?

Sw6: Ja.. Oder vielleicht mit einem Pfeil..

Sw5: Ne, das mit den Pfeilen wäre zu unübersichtlich wieder..

I: Also zu viele Pfeile, oder?

Sw5: Ja, genau..

I: Oder ich unterstreiche das "Hinter der Wand" mit einer anderen Farbe und mache dann einen Pfeil zur Wand von dort aus hin.

Sw6: Ja.

I: Muss ich mal gucken.. Ja, weil ich habe hier ja auch noch "Hinter der Wand". (Zeigt auf Sprechblase 5 und 7.)

Sw4: Ja, stimmt.. Welche Wand ist da gemeint?

I: Das ist hier die Wand. (Zeigt auf graue Wand links von Sprechblase 5.)

Sw4: Ja, also ich glaube mit den Pfeilen wäre das zu unübersichtlich, weil da gibt es ja auch schon drei Pfeile. (Zeigt auf Pfeile aus van-de-Graaff-Beschleuniger.)

I: Was würdest du dann z.B. vorschlagen?

Sw4: Puh..

Sw6: Also vielleicht könnte man.. Sie haben ja schon gesagt, dass man es in einer anderen Farbe unterstreichen könnte. Und dann könnte man es genauso, wie bei den Geräten, so mit den Umrissen machen..

I: Ja, genau, das war gerade auch meine Idee, als du es gesagt hast. Ich umrande das einfach so. (Fährt den Umriss der grauen Betonwand unter Sprechblase 1 ab.) Hier, hier, durchziehen. Und unterstreiche das "Hinter der Wand".

Sw6: Ja, ja. Genau.

Sw5: Vielleicht aber nicht so in einer ganz so knalligen Farbe, wie die anderen. Sondern mehr so in die Richtung, die im Hintergrund stehen. Weil dann ist so viel umrandet und dann muss man erstmal suchen, weil so viel ins Auge springt.

I: Welche Farbe würde euch gerade so einfallen?

Sw5: Ähm.. Ich weiß nicht.. Mir ist gerade so ein.. Wie so ein schwächeres rosa oder sowas. Was halt nicht so knallig ist. Und ähm, ja..

I: Okay, und hier dann auch eine andere Farbe für den Umriss? (Zeigt auf Laserquelle.)

Sw5: Ne, eher so dieselbe Farbnuance ist. Aber auch so sehr schwach. Also für jede Wand dann in derselben Farbnuance, aber leicht verschieden.

I: Auch eine gute Idee. Zu viele Farben sind auch nicht gut..

Alle Sw: Nee..

Sw5: Also dass man sich nur um einen Farbton verändert pro Wand, aber sonst einheitlich bleibt. Aber auch so ganz schwache Farbe, also nicht die volle Druckkraft hat.

I: Genau, so bisschen transparent wie die Pfeile.

Sw5: Jaa, genau.

I: Okay, super. Dann ist euch klar, was hier in der 8. Sprechblase unter Strahloptiken gemeint ist? In diesem Experiment werden Strahloptiken getestet, die die Teilchenstrahlen aus der Ionenquelle fokussieren.

Sw6: Also.. Wie der Strahl.. Ich weiß es nicht so genau..

I: Sag ruhig, es gibt kein richtig oder falsch.

Sw5: Also vielleicht Strahlen aus verschiedenen Bereichen.

I: Also ihr denkt, dass es eher so die Strahlen sind?

Sw5: Ah, ne, ich glaube das sind Geräte, was Strahlen produziert? Die werden dann getestet?

I: Okay, hast du noch eine Idee? (Guckt zu Sw4.)

Sw4: Ich hätte jetzt gesagt, wenn man das so liest, dass sie die Teilchenstrahlen aus der Ionenquelle fokussieren. Vielleicht dass es so wie ein Zoom ist.

I: Ah, du meinst wie so ein Objektiv?

Sw4: Ja, oder, ich weiß nicht.. Nie gehört.

I: Okay, also es geht so leicht in die Richtung von dir. (Schaut zu Sw4.) Strahloptiken sind einfach so Geräte, die.. Also Teilchenstrahlen sind gestreut und diese Geräte fokussieren dann die Strahlen, ähnlich wie eine Linse. Also sollte ich stattdessen etwas anderes schreiben? Z.B. der Begriff Aufbauten getestet, die die Teilchenstrahlen fokussieren, zu schreiben.

Sw5: Ja, also Strahloptiken ist nicht so verständlich, hört sich eher wie ein Fachbegriff an.

I: Okay, dann gucke ich da nochmal. Zuletzt, ist euch klar geworden, um was es in der Beschleunigerhalle geht?

Sw6: Um physikalische Forschungen.

I: Sehr gut. (Lacht.) Genau, also so beschleunigte Teilchen, die sehr sehr schnell sind. Die rasen durch die ganzen Rohre, kann man sich kaum vorstellen, Millionen von km/h. Habt ihr noch weiter Verbesserungsvorschläge oder Anmerkungen?

Alle Sw: Nein..

I: Ich danke euch, dass ihr mitgemacht habt. Es war sehr aufschlussreich für mich.

Anhang 3: Interview (linke Hallenseite)

Anhang 3.1: Interview 1

I: Wie ansprechend fandet ihr das Poster? Erstmal einfach nur, von der Gestaltung oder dem Inhalt.

Sm1: Also generell fand ich es sehr schön mit der Grundidee, dass es so in vier Schritte gegliedert ist. Mit den Bildern und mit dem Pfeil. Weil der Pfeil ermöglicht es einem, die Bilder besser nachzuvollziehen. Und dann ist es sehr gut mit diesen Gedankentexten, also mit den Sprechblasen. Dass Sie das so verbinden zu den Bildern, damit man mehr Informationen bekommt.

Sw7: Ja, also ich fand gut, dass du alles zu den Bildern erklärt hast. Und da sieht man halt, was der Kugeldetektor macht, wie das alles funktioniert, fand ich da gut.

I: Wie gut lesbar war das Poster für euch? Von der Schriftgröße, den Farben oder dem Kontrast?

Sm1: Also für mich war alles sehr gut lesbar. Man konnte halt auch alles durch die Farben sehr gut erkennen, z.B. mit dem Pfeil auch so ein Übergang, nicht nur in einer Farbe. Was für mich symbolisieren soll, dass es so nacheinander abläuft. Und es war sehr anschaulich einfach gestaltet.

I: Und was sagen die Farben für euch aus? Der Farbverlauf?

Sm1: Also es startet ja eher so mit einem blau, das heißt so, und rot kenne ich so als Ziel und so. Dass es so verläuft zum Ziel.

I: Also sozusagen der Prozess, es fängt irgendwo an und geht dann zum Ziel.

Sm1: Genau.

I: Und für dich? (Schaut zu Sw7.)

Sw7: Also ich fand auch gut, dass es so vielfältig ist und man erkennt die Farben ganz gut. Man nimmt die Information dadurch gut wahr. Ja und Schriftgröße auch sehr gut lesbar.

I: Okay und was sagen die Farben für dich aus, so von blau zu orange und am Ende zu rot? (Schaut zu Sw7.)

Sw7: Ja, also hier sieht man z.B. Ionen (zeigt auf 1) und von blau zu rot, also macht für mich aufmerksam.

I: Okay, danke. Also meine Intention war, dass wir bei einer Teilchengeschwindigkeit von 0 km/h starten und die Farbe blau symbolisiert wenig Energie. Dann geht es weiter, es wird schneller, d.h. es hat mehr Energie und deshalb das Orange. Und am Ende ist es wirklich bei 5,4 Millionen km/h und es ist rot, weil die Teilchen viel Energie haben und super schnell sind. Das war so meine Intention beim Konzipieren des Posters. Ist es rübergekommen oder muss ich da irgendwas verbessern?

Sm1: Es ist meiner Meinung nach schon rübergekommen, weil rot ist ja auch etwas, das macht aufmerksam. Und es ist sinnvoll, wenn da die höchste Zahl steht.

I: Okay, verstehe.

Sm1: Und dann der Übergang ist halt auch, blau die niedrigste Zahl ist, und dann noch das Orangene, also mittel.

I: Okay, super. Findet ihr es sinnvoll, das so zu strukturieren?

Sm1: Also mit dem Pfeil natürlich, das ist sehr anschaulich. Das hilft halt einfach sehr, weil ich persönlich lerne sehr viel besser so mit Pfeilen und Bildern.

I: Anstatt mit was z.B.?

Sm1: Anstatt mit nur Texten. So ist es anschaulich, weil es die Mischung von beiden ist.

Sw7: Ja, also ich find, dass die Pfeile es sehr interessant machen. Man sieht alles in einer Ordnung, z.B. 1-1, 2-2, 3-3. (Zeigt auf die Ziffern und die dazugehörigen Bilder.) Und dann hat man.. Verfolgt alles.

I: Sehr gut, danke. Ist euch das aufgefallen mit diesen Rohren und H^+ -Teilchen?

Sm1&Sw7: (nicken.)

I: Okay, das habe ich nur symbolisch gemacht, weil sie natürlich nicht von oben in den RFQ reingehen. Ja, habt ihr zum Design des Posters noch Anmerkungen oder Verbesserungsvorschläge?

Sm1&Sw7: Nein.

I: Ja, jetzt zum Inhalt. Ist euch etwas im Gedächtnis geblieben? Wenn nicht, ist das auch nicht schlimm.

Sm1: Also mir ist so ein bisschen hängengeblieben, dass man die Teilchen durch eine Ionenquelle gewinnt und die dann durch physikalische und auch bisschen chemische Prozesse weiter beschleunigt werden.

I: Okay, wie verständlich fandet ihr den Inhalt? War es zu schwer an manchen Stellen? Oder zu einfach?

Sw7: Also für mich war es an manchen Stellen zu schwer. Manche Wörter habe ich vorher gar nicht gehört. Aber du hast trotzdem alles ganz gut erklärt. Ein bisschen habe ich was verstanden.

I: Zum Beispiel, was war dir zu schwer?

Sw7: Ähm.. Zum Beispiel.. Ich weiß nicht genau..

I: Oder welche Sprechblase fandest du am unverständlichsten?

Sw7: Supraleitender Beschleuniger.

I: Weil du nicht weißt, was Supraleitung ist z.B.?

Sw7: Ja, genau.

I: Okay, ja, es ist auch keine leichte Thematik..

Sm1: Also bei mir war es so, einzelne Wörter kennt man vielleicht noch nicht, aber man konnte durch den Text es ziemlich leicht verstehen, also den Inhalt. Gut, man konnte es sich ableiten. Ich weiß jetzt auch nicht, was supraleitend ist, aber durch das Beschleunigen und die starke Kühlung kann man halt so drauf schließen, dass es halt sehr sehr viel stärker, als davor beschleunigt wird.

I: Also hast du es dir sozusagen mit dem Text erschlossen?

Sm1: Genau.

I: Welche Begriffe fandest du zu schwer? (Schaut zu Sm1.)

Sm1: Also z.B. supraleitender Beschleuniger.

I: Also nur die Überschrift?

Sm1: Ja, genau.

I: Okay, ja, also dann die Namen der Geräte, was auch verständlich ist, dass ihr sie nicht kennt.

Sm1&Sw7: Ja, genau.

I: Okay, habt ihr schonmal den Begriff Ionen gehört, vor dem Poster?

Sw7: Ja, wir haben schon in Chemie gehabt.

Sm1: Ja.

I: Okay. Ist euch im Endeffekt klar, um was es in der linken Hallenseite geht? Das alles wird ja gebaut, also die Ionenquelle, die Beschleuniger und das Experiment. Muss ich das deutlicher hervorheben?

Sm1: Also meiner Meinung ist es klar geworden.

Sw7: (nickt.)

I: Habt ihr noch weitere Anmerkungen? Verbesserungsvorschläge?

Sm1: Also z.B. bei mir, eine kleine Anmerkung wäre jetzt, ich weiß nicht, ob das so gewollt ist oder nicht. Aber bei dem einen ist so ein weißer Rand, bei dem 2. Bild. Und bei den anderen Bildern nicht. Dass es einfach so gleichmäßiger wird.

I: Also den weißen Rand abschneiden?

Sm1: Ja.

I: Stimmt, super, dass du es gesagt hast.

Sm1: Sonst, alles super.

I: Gut, dann danke ich euch, dass ihr mich unterstützt habt.

Anhang 3.2: Interview 2

I: Ja, wie fandet ihr das Poster? Ansprechend, oder nicht?

Sw8: Ja, also ich finde es so ansprechend und finde es auch cool, dass im Pfeil so ein Farbverlauf ist.

Sw9: Also ich finds.. Also man erkennt da gut alles. Ich finde es so.. Also es geht von einer Seite zur anderen. (Macht eine Handbewegung von links nach rechts.) Das finde ich so für das Auge besser. Also von der Struktur gefällt mir das gut.

I: Okay, du hast den Farbverlauf angesprochen. (Schaut zu Sw8.) Was sagt dir dieser Farbverlauf? Was symbolisieren für dich die Farben?

Sw8: Also eher so kalt und warm halt. Also wie ich es so denke. Umso schneller, umso wärmer.

I: Aha, okay. Was meinst du? (Schaut zu Sw9.)

Sw9: Also das wollte ich auch sagen, das sehe ich auch so. Am Anfang dachte man sich so: Ja, es ist halt ein Farbverlauf. Aber wenn man es sich so durchliest, dann wird es einem anhand der Farben auch klar.

I: Okay, ja das war auch meine Intention. Also links kaum Energie, deshalb das blau. Dann werden die Teilchen schneller und die Farbe geht ins orange über und am Ende haben sie eine sehr hohe Energie und das symbolisiert das rot, richtig schnell.

Noch zum Design. Wie gut lesbar war das Poster?

Sw9: Ja, also es war schon sehr viel Text, aber dadurch, dass es nicht so viele Texte waren und die Bilder relativ groß waren, konnte es sich gut ausgleichen.

I: Okay, wie habt ihr das Poster denn angefangen zu lesen?

Sw8: Also ich habe erst mit der 1 im Pfeil angefangen und dann unten die 1 gelesen. (Zeigt anschließend auf das Bild 1.) Also immer von oben nach unten.

I: Also nicht mit dem Pfeil angefangen..

Sw9: Ich habe mit dem Pfeil angefangen. Also von links nach rechts, von der 1 bis zur 4.

I: Was fandest.. Z.B. bei dir. (Schaut zu Sw9.) Fandest du es gut, dass du zuerst den Pfeil gelesen hast, statt nach Schema 1:1, 2:2 zu gehen?

Sw9: Doch, ich fand das gut. Weil dann wusste ich, was dann auf mich zukommt. Und dann geht man ja beim Lesen näher drauf ein. Man hat also eine Vorstellung, was da jetzt kommt.

I: Aha, okay. Für dich war es okay, dass du von oben nach unten gelesen hast?

Sw8: Ja, eigentlich schon. Dann wurde direkt schon was zum Thema gesagt.

I: Okay, ja, hat beides Vor- und Nachteile. Also ist die Strukturierung sinnvoll für euch? Oder habt ihr Verbesserungsvorschläge?

Alle Sw: Nein.

I: Alles klar. Was bedeuten für euch diese orangenen Pfeile?

Sw8: Also da hätte ich gesagt, dass da die Teilchen durchgehen.

Sw9: Ja ich weiß nicht.. Sind das dann H^+ Teilchen, die da entlanggehen?

I: Ja genau, diese Wasserstoffionen werden hier produziert. (Zeigt auf Bild 1.) Und gehen dann entlang der Rohre in die verschiedenen Geräte.

Sw9: Ja, mir ist das zum Ende hin auch aufgefallen, aber macht Sinn.

I: Okay, habt ihr noch weitere Anmerkungen zum Design, den Farben?

Alle Sw: Nein.

I: Jetzt zum Inhalt. Was ist euch vom Poster im Gedächtnis geblieben?

Sw9: Also in dem 3. Text stand, dass beim Beschleunigungsprozess auch Energie gespart wird und dass es auf -271°C heruntergekühlt wird.

Sw8: Ja, also mir ist eher so der letzte Teil hängengeblieben. (Zeigt zu Kugeldetektor.) Dass es alles da so Astrophysik ist. Aber da so herausgefunden werden kann, woher die Planeten kommen. Das fand ich sehr interessant.

I: Okay. Wie verständlich war der Inhalt?

Sw8: Ich fand der Inhalt war bisschen schwierig.

Sw9: Es war ein bisschen anspruchsvoller, also man muss sich drauf konzentrieren, um es zu verstehen. So einfach Durchfliegen geht da auch nicht. Man muss da ein bisschen drüber nachdenken, um den Zusammenhang zu verstehen.

I: Was habt ihr nicht so gut verstanden?

Sw8: Mmh..

I: Oder welche Sprechblase war für euch am schwierigsten?

Sw9: Also es gibt jetzt nicht wirklich was, wo ich sage: Das habe ich gaaar nicht verstanden.

I: Okay, dann eine konkrete Frage: Ihr wusstet schon vor dem Poster, was ein Ion ist?

Alle Sw: Ja, schon vorher.

I: Wisst ihr was Supraleitung ist?

Alle Sw: Nein.

I: Stören euch die Fachbegriffe, die ich in den Überschriften hingeschrieben habe?

Sw8: Also wo ich mich am Anfang.. Ich habe ja so von oben nach unten gelesen.. Habe ich mich halt oben gefragt, was dieses RFQ bedeutet. (Zeigt auf 2. Abschnitt im großen Pfeil.) Also da dann so: Hä? Was ist das genau? Aber unten mit dem Text wurde das dann klar, dass das die Abkürzung ist.

I: Also was würdest du stattdessen oben schreiben?

Sw8: Vielleicht könnte man oben erstmal das komplette hinschreiben.

I: Also du meinst es würde dich weniger abschrecken, wenn schon oben steht: Anschließend wird das Teilchen mit dem Radio-Frequenz-Quadrupol beschleunigt?

Sw8: Also man wüsste dann wenigstens, was man mit RFQ meint.

I: Oder: Anschließend wird das Teilchen mit dem unteren Beschleuniger.. beschleunigt? Noch vielleicht umformulieren.

Sw9: Vielleicht ..mit dem unteren Beschleuniger.. und dann in Klammern dahinter RFQ hinschreiben. Dann klärt es sich eh auf.

I: Ja, das mit der Abkürzung am Anfang mit RFQ versteht man natürlich nicht. Verstehe..

Alle Sw: Jaa.

I: Ist euch klar geworden, um was es in der linken Hallenseite geht?

Sw8: Also einfach, dass da Wasserstoffionen durchgehen.

Sw9: Ja, das ist so ein Beschleunigungsprozess.

I: Also ist euch klar geworden, dass diese Geräte dort gebaut werden und geforscht wird?

Sw8: Also geforscht wird ja, aber gebaut hätte ich jetzt nicht gedacht.

I: Ich glaube, das muss noch ein wenig herauskommen.. Die ganzen Sachen werden von den Physiker*innen in der linken Hallenseite gebaut. Das, das, das. (Zeigt auf einzelne Geräte.)

Alle Sw: Ahh..

I: Das steht ganz klein oben.. Entwickelt und gebaut. Wahrscheinlich ist es durch den beschriebenen exemplarischen Prozess des Wegs der Teilchen etwas untergekommen. Wahrscheinlich muss ich den Aspekt vom Bauen..

Sw8: Ein bisschen hervorheben. Ja, das geht so ein bisschen unter.

Sw9: Habe ich mich vorhin auch schon gefragt, aber da habe ich vergessen nochmal nachzufragen.

I: Was würdet ihr vorschlagen, wie mache ich das am besten?

Sw9: Puh.. Schwierig. Einfach so ein bisschen.. Herausheben? Weil dieses kleingeschrieben da oben unter der Überschrift scheint nicht direkt wichtig.

I: Also z.B. farblich hervorheben oben unter der Überschrift? Oder zu unterstreichen? Das entwickelt und gebaut.

Alle Sw: Ja.

I: Damit man das noch als Eyecatcher sieht.

Alle Sw: Ja, genau.

I: Habt ihr noch weitere Anmerkungen zum Poster?

Sw8: Was man noch machen könnte.. Die H^+ -Teilchen sind ja Wasserstoffionen, oder?

I: Ja.

Sw8: Aber da steht ja auch Helium-Kühlung. (Zeigt auf 3. Bild.) Man könnte, wenn man sich nicht so gut auskennt, denken, dass es vielleicht Helium ist.

I: Ah, dasselbe. Meinst du wegen der Farbe?

Sw8: Ja.

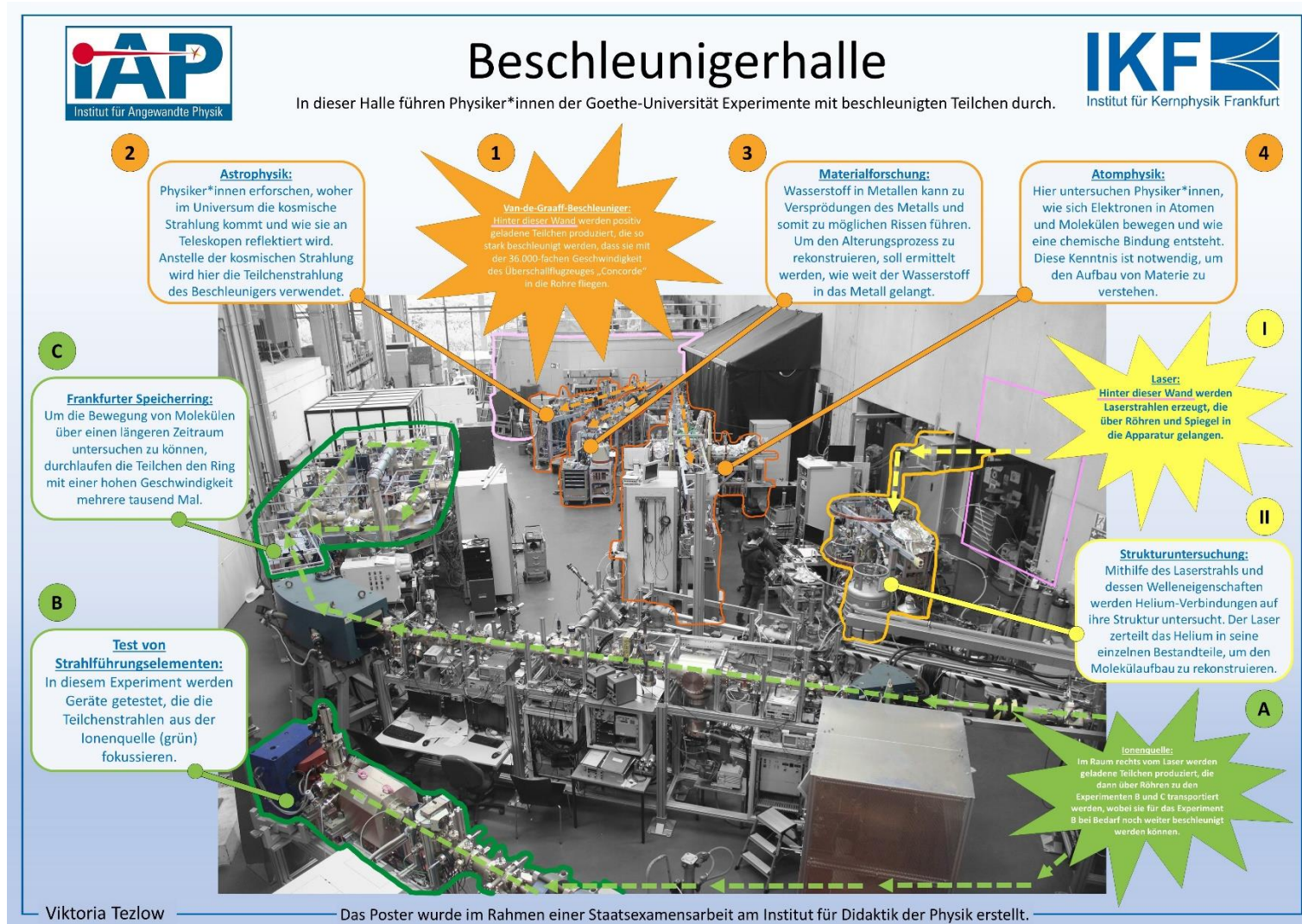
I: Ah stimmt, okay. Also da lieber eine andere Farbe benutzen?

Sw8: Ja, genau.

I: Okay, super. Dann bedanke ich mich für eure Unterstützung.

Anhang 4: Poster nach Interviews

Anhang 4.1: Poster (rechte Hallenseite)



Anhang 4.2: Poster (linke Hallenseite)



Entwicklung neuer Beschleunigertechnologien

In der linken Hallenseite werden **Teilchenbeschleuniger** und **Detektoren** für Experimente **entwickelt und gebaut**, die dann z.B. in der rechten Hallenseite für die Forschung der Universität verwendet werden. Auf diesem Poster wird ein exemplarischer Weg der Teilchen durch einen Beschleuniger dargestellt.



1 Auf der Reise zum Experiment starten wir bei der Quelle der Teilchen.

Teilchengeschwindigkeit: $0 \frac{km}{h}$

2 Anschließend wird das Teilchen mit dem unten dargestellten Beschleuniger (RFQ) beschleunigt.

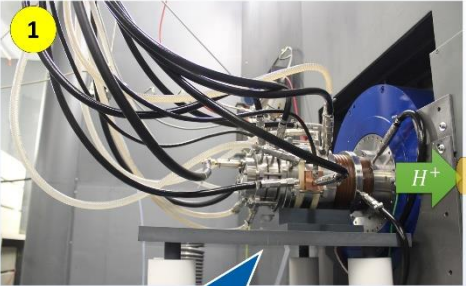
Teilchengeschwindigkeit: $2.900.000 \frac{km}{h}$

3 Wenn die Teilchen noch schneller werden sollen, dann beschleunigen wir sie z.B. mit dem supraleitenden Beschleuniger.

Teilchengeschwindigkeit: $5.400.000 \frac{km}{h}$

4 Jetzt sind die Teilchen am Ziel - dem Experiment - angekommen.

1



Ionquelle:
Der Ursprung der Teilchen liegt in der Ionquelle, die eine Trillionen positiv geladene Ionen pro Sekunde erzeugen kann. In der Ionquelle befindet sich eine negativ geladene Elektrode, die beim Heizen Elektronen freisetzt. Diese Elektronen stoßen dann auf neutrale Wasserstoffmoleküle und entreißen ihnen Elektronen. Dadurch entstehen positiv geladene Wasserstoffteilchen (H^+), sogenannte Ionen.

2



Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/RFQ_accelerator_schematic.svg

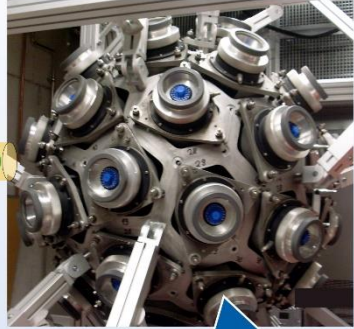
Radio-Frequenz-Quadrupol (kurz: RFQ):
Dies ist ein Beschleuniger, der die Ionen auf gerader Strecke beschleunigt. Die vier wellenförmigen Elektroden beschleunigen die Ionen, fokussieren den Ionenstrahl und formen einzelne Ionenpakete. Das Besondere dabei ist, dass diese drei Prozesse gleichzeitig in einem recht kompakten Bau stattfinden. Physiker*innen beschleunigen die Ionen, damit sie für verschiedene Reaktionen mit den Proben die benötigte Energie besitzen.

3



Supraleitender Beschleuniger:
In diesem Beschleunigermodul aus einem speziellen Metall können die Ionen mit wenig Energieeinsatz sehr hohe Geschwindigkeiten erreichen. Dafür ist eine starke Kühlung auf $-271^\circ C$ notwendig, um die gesamte Energie verlustfrei auf die Ionen zu übertragen. Außerdem können Physiker*innen mit diesem Modul mehr Ionen beschleunigen, sodass sie eine erhöhte Kollisionsrate der beschleunigten Ionen erzielen. Dies sind gute Voraussetzungen, um neue Entdeckungen in der Teilchenphysik zu ermöglichen und gleichzeitig Energie beim Beschleunigungsprozess zu sparen.

4



Kugeldetektor:
Mit dieser Kugel wird von den Astrophysiker*innen untersucht, wie lange das Universum bereits existiert, wo die schweren Elemente (z.B. die Sonne) herkommen und wie Prozesse in den Sternen ablaufen. Beim Experiment werden die nun beschleunigten Wasserstoffionen auf einen Lithium-Atomkern geschossen, welcher dann Neutronen freisetzt. Diese Neutronen treffen dann auf unterschiedliche Proben (z.B. Gold) und können von deren Atomkern eingefangen werden. Ob dieser Prozess stattgefunden hat, wird mit 42 speziellen Kristallen festgestellt, die zu einem Kugeldetektor zusammengefügt sind. Astrophysiker*innen können damit die in der Sonne stattfindenden Prozesse messen, ohne jemals in der Nähe der Sonne gewesen zu sein.

Viktoria Tezlow

Das Poster wurde im Rahmen einer Staatsexamensarbeit am Institut für Didaktik der Physik erstellt.