

## Basisideen zum Strahlungsunterricht

Thomas Plotz

AECC Physik, Universität Wien Porzellangasse 4/2/2 1090 Wien  
Thomas.plotz@univie.ac.at

### Kurzfassung

Der Begriff „Strahlung“ findet sich in vielen Gebieten der Physik, von der Radioaktivität bis zur Hohlraumstrahlung, wieder. Der Beitrag startet mit einem fachlichen Überblick und motiviert daraus eine Fokussierung auf die elektromagnetische Strahlung. Anschließend werden vier Basisideen zum Strahlungsunterricht vorgestellt, die fachlich und curricular begründet werden. Daraus abgeleitet ergeben sich Unterrichtsideen die an Beispielen illustriert werden. Die Relevanz des Themas für die Schule zeigt sich nicht nur in der Bedeutung von elektromagnetischer Strahlung für unseren Alltag, sondern auch in den verschiedenen Verbindungen zu den Bildungsstandards.

### 1. Probemaufriß

Der Begriff Strahlung ist im Fach Physik in verschiedenen Kontexten zu finden. Er steht einerseits im Zusammenhang mit Radioaktivität und besitzt andererseits eine Verbindung mit Wärme. Eine passende Definition findet sich dabei nur für die jeweiligen Fachgebiete. Für LehrerInnen und ExpertInnen ist dies kein Problem, da sie den Begriff Strahlung in unterschiedlichen Kontexten richtig deuten und interpretieren können. Für SchülerInnen stellt dieser vielseitige Einsatz des Begriffes jedoch ein Problem dar. So vereinen sich im Begriff der „radioaktiven Strahlung“ sowohl Teilchenstrahlung ( $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung) als auch elektromagnetische Strahlung ( $\gamma$ -Strahlung). Die im nachfolgenden Absatz beschriebene Schwierigkeit einer eindeutigen Definition des Begriffes Strahlung, macht eine Einschränkung auf die eindeutig definierbare elektromagnetische Strahlung nötig. Die Wichtigkeit und Relevanz des Themas elektromagnetischer Strahlung im gesamten Physikunterricht stellt einen zentralen Punkt dieses Artikels dar. Zusätzlich werden grundlegende Basis-konzepte vorgestellt und einzelne Problemfelder identifiziert.

### 2. Definition

Eine allgemeine Definition für den Begriff Strahlung zu finden, stellt den Ausgangspunkt einer fachlichen Klärung dar. Beim Begriff der Strahlung bemerkt man, dass dies kaum zu bewerkstelligen ist. Weder Fach- noch Schulbücher stellen eine solche allgemeine Definition zur Verfügung. Spezifische Definitionen für einzelne Gruppen von Strahlung finden sich in unterschiedlicher Weise. Giancoli [1] spezifiziert den Begriff Strahlung recht allgemein folgendermaßen:

„Wenn wir von *Strahlung* sprechen, meinen wir  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - und Röntgenstrahlung genauso wie Protonen, Neutronen und Pionen.“

Neumann [2] versucht in ihrer Dissertation ebenfalls eine allgemeine Definition.

„unter dem Begriff *Strahlung* [versteht diese Arbeit] den Vorgang der Ausbreitung von Photonen oder anderer sub-atomarer Teilchen, die dabei Energie und Impuls transportieren.“

In einem universitären Standardwerk wie dem Physiklehrbuch von Gerthsen [3] sucht man vergeblich nach einer Definition des Begriffes Strahlung. Wagner et. al. [4] umgehen eine allgemeine Definition und verwenden den Begriff der Strahlung im Zusammenhang mit Wärme- bzw. Hohlraumstrahlung. Zusätzlich werden die Begriffe der elektromagnetischen Welle und der elektromagnetischen Strahlung synonym verwendet. Tipler [5] erwähnt den Begriff Strahlung ebenfalls im Zusammenhang mit Wärmestrahlung. Es ist jedoch nicht eindeutig, welcher Spektralbereich mit Wärmestrahlung gemeint ist, da zusätzlich Licht, Radiowellen und Röntgenstrahlung angeführt sind.

Bei näherer Betrachtung des Begriffes Strahlung lassen sich schnell drei mögliche Merkmale einer Charakterisierung von Strahlung finden. Diese sind bewusst dichotom gehalten.

#### 2.1 Teilchenstrahlung und EM-Strahlung

Die Unterscheidung der Strahlung erfolgt hier über den Begriff des Teilchens bzw. der Welle. Nun ist diese Unterscheidung bekannter Weise nicht eindeutig zu klassifizieren, was wiederum zu Schwierigkeiten führen kann. Für SchülerInnen ist es einfacher diese Unterscheidung über die Masse zu treffen. Bei Teilchenstrahlung müssen die Teilchen auch Ruhemasse haben, was Photonen ausschließt.

## 2.2 Ionisierende Strahlung und nicht ionisierende Strahlung

Die Unterscheidung erfolgt über die Energie der Strahlung. Ist diese hoch genug, so ist die Strahlung ionisierend.

## 2.3 Strahlung aus dem Kern und Strahlung aus der Hülle

Diese Unterscheidung bezieht sich auf die Quelle der Strahlung. Diese kann entweder der Atomkern sein (z.B.  $\beta$ -Strahlung) oder in der Hülle von Atomen liegen.

Der folgende Beitrag reduziert sich bewusst auf elektromagnetische Strahlung um eine möglichst klare Definition zu gewährleisten.

## 3. Dokumentierte Schülervorstellungen zum Thema Strahlung

Neumann und Hopf [6, 7] konnten in ihren Arbeiten verschiedene Schülervorstellungen zu nicht-sichtbarer Strahlung identifizieren (Schulstufe 8/9). Dabei stach vor allem die Vorstellung, dass Strahlung künstlich ist heraus. Aber auch das Licht verschieden zu Strahlung ist oder Strahlung mit strahlenden Partikeln und deren Eigenschaften gleichgesetzt wird, wurde dokumentiert. Die Idee, dass Strahlung die Ursache für Umweltschäden ist, findet sich schon in älterer Literatur [8]. Eine aktuelle Untersuchung [9] belegt eine Erweiterung der Vorstellung „Strahlung ist künstlich“ um den Problembereich künstlich-natürlich. SchülerInnen haben Probleme, künstliche von natürlicher Strahlung zu unterscheiden. Dieses Problem besitzt keine fachliche Relevanz. Es ist jedoch von einem fachdidaktischen Standpunkt aus als lernhinderlich zu betrachten. Oftmals wird künstliche Strahlung eher negativ besetzt und als gefährlicher wahrgenommen. SchülerInnen kategorisieren in der Regel jede Strahlung in „Natürlich-Künstlich“ und verbinden damit auch ein Gefahrenpotential.

Jüngere SchülerInnen (Sekundarstufe 1) wiederum verbinden mit Strahlung oft Strahlungsquellen wie die Sonne, radioaktive Quellen und selbstverständlich das Handy. Interessanterweise wurde in der ersten Untersuchung von Neumann und Hopf [7] Infrarot immer mit der Informationsübertragung beim Mobiltelefon in Verbindung gebracht (IR-Port). Dieser Zusammenhang verschwand in der weiteren Untersuchung zwei Jahre später durch die Weiterentwicklung der Mobilfunktechnologie.

Darüber hinaus existieren kaum Forschungsergebnisse für den nicht-sichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums. Eine Ausnahme bildet der Bereich der Gammastrahlung, welcher im Rahmen von Untersuchungen zum Verständnis von Radioaktivität mituntersucht [10, 11], jedoch nicht explizit beforscht, wurde.

In Summe ist die Befundlage in diesem Themengebiet noch relativ schwach und teilweise undurchsichtig.

## 4. Relevanz für den Unterricht

Die Relevanz des Themas erschließt sich aus drei Quellen die im Folgenden weiter ausgeführt werden. Diese Quellen sind die Verankerung des Themas in den Bildungsstandards sowie den Abitur-Prüfungsanforderungen und einer Begründung durch die gesellschaftliche Relevanz des Themas.

Die Kultusministerkonferenz [12] erwähnt elektromagnetische Strahlung in den Bildungsstandards nicht explizit. In verschiedenen Unterpunkten von Fachwissen finden sich jedoch Verbindungen zum Thema Strahlung. Im Unterpunkt „Wechselwirkung“ sei auf den Abschnitt „Strahlung kann mit Materie wechselwirken, dabei können sich Strahlung und Materie verändern.“ hingewiesen. Dieser wird durch die Beispiele „Reflexion, Farben, ionisierende Strahlung und andere“ expliziert. Auch der Unterpunkt Energie weist Strahlung nochmal im Kontext von Wärmetransport aus.

In den einheitlichen Prüfungsanforderungen für die Abiturprüfung Physik [13] findet sich das Thema elektromagnetische Strahlung ebenfalls. Dort wird unter dem Terminus „elektromagnetische Welle“ auch explizit der Begriff „Licht“ erwähnt.

Abseits dieser fachlichen Begründungen besitzt dieses Thema eine hohe gesellschaftliche Relevanz für den Physikunterricht. Wir leben in einer Welt, in der die gesamte Telekommunikation auf elektromagnetischer Strahlung basiert. Viele medizinische Bereiche stützen sich auf elektromagnetische Strahlung (bildgebende Verfahren, z.T. Strahlentherapie) und der gesamte Flugverkehr wäre ohne Radartechnologie undenkbar. Aber auch die richtige Einschätzung von gesellschaftlichen Entscheidungen (Atomausstieg ja oder nein) erfordert ein grundlegendes fachliches Verständnis von Strahlung. Zusätzlich breiten sich in den letzten Jahren vor allem im Internet immer stärker Mythen aus, welche den Strahlungskontext betreffen. Eine sehr schönes Beispiel ist ein Aluminiumplättchen, welches von einer Firma verkauft wird [14]. Dieses Plättchen soll elektromagnetische Strahlung anziehen und dadurch Elektrosmog reduzieren. SchülerInnen sollten am Ende ihrer Schulausbildung in der Lage sein, diese Art von Humbug fachlich zu entlarven.

Das Thema Strahlung bietet die Möglichkeit, fachliche Inhalte mit der Lebenswelt der SchülerInnen zu vernetzen. Ebenso ist die Möglichkeit gegeben, reale und aktuelle Fragestellungen (z.B. Ist Handystrahlung gefährlich oder nicht?) im Unterricht auf fachlicher und gesellschaftlicher Ebene zu bearbeiten.

## 5. Basisideen

Um einen zukünftigen Unterrichtsgang zu konzipieren, benötigt es Grundideen (Ziele) nach denen die

Sachstruktur organisiert wird. Welche Konzepte sind nun vom fachdidaktischen Standpunkt aus zentral um elektromagnetische Strahlung zu verstehen? Es existieren in der fachdidaktischen Literatur dazu keine empirischen Untersuchungen, was eine normative Festlegung nahelegt. Die nachfolgenden Grundideen sind noch nicht empirisch geprüft. Sie wurden jedoch mit FachdidaktikerInnen diskutiert und auf Plausibilität geprüft. Verstehen SchülerInnen diese Grundideen, so kann angenommen werden, dass sie in Strahlungsangelegenheiten als kompetent gelten. Die vorherigen Punkte dienten dabei als Ausgangsbasis für die Formulierung dieser Basisideen. Die verschiedenen Schwierigkeiten des Strahlungsunterrichts sollen fachdidaktisch beleuchtet und durch die Basisideen möglichst umgangen werden. Die unklare Definition, die wenigen belegten SchülerVorstellungen und die fehlende klare Verortung des Themas im Curriculum führt zu Problemen, welche nur jedoch schwer aufzulösen sind.

Voraussetzung für einen Unterricht zum Thema Strahlung ist ein Verständnis von Grundbegriffen wie Wellenlänge, Frequenz und Ausbreitungsgeschwindigkeit.

- a. Elektromagnetische Strahlung wird anhand des Spektrums klassifiziert und geordnet. Jede Strahlungsart ist dort vertreten.
- b. Elektromagnetische Strahlung benötigt für die Ausbreitung kein Medium. Jede Strahlung breitet sich im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit aus.
- c. Elektromagnetische Strahlung ist omnipräsent. Wir leben in einem „Strahlungsbad“. Jede Strahlungsart umfließt uns in unterschiedlicher Intensität.
- d. Elektromagnetische Strahlung transportiert Energie und wechselwirkt in unterschiedlicher Weise mit Materie.

Die obigen Konzepte sind nicht gleichwertig in der Schwierigkeit der Konzepte. So ist das Konzept der Wechselwirkung und des Energietransports schwerer zu verstehen als jenes der Omnipräsenz. Dies liegt vor allem in der höheren Schwierigkeit des Konzepts Energie und dem relativ schwierigen Konzept der Wechselwirkung.

Das grundlegendste Prinzip ist aber jenes des Spektrums. Durch das elektromagnetische Spektrum ist es möglich verschiedene Strahlungsarten zu vergleichen und zueinander ins Verhältnis zu setzen. Die Position der Strahlung hängt dabei nur von einer Variablen, der Wellenlänge ab. Da es sich bei allen Strahlungsarten am Spektrum um elektromagnetische Wellen handelt, lassen sie sich also mit einer Theorie beschreiben. Dies ist für SchülerInnen nicht trivial zu verstehen. Nimmt man die beobachtbaren Phänomene von IR-Strahlung, so sind diese anders als jene der Röntgenstrahlung. Dennoch ist die physikalische Beschreibung gleich. Beide Strahlungsarten lassen sich mit den gleichen Größen (Wellenlänge oder Frequenz) beschreiben. Haben SchülerInnen

dies verstanden, ist es einfacher das zweite Prinzip zu integrieren, da die Konstanz der Geschwindigkeit schnell aus der Formel  $c=f\cdot\lambda$  ersichtlich ist. Zu Beginn des Unterrichts ist das Spektrum für SchülerInnen noch leer und bedeutungslos. Es bietet jedoch die Möglichkeit, im Lauf des Unterrichts jede Strahlungsart in dieses „Raster“ einzuordnen und so das Spektrum stückweise kennenzulernen. Die SchülerInnen haben dadurch eine Orientierungshilfe, welche fachlich korrekt ist.

## 6. Wie kann also elektromagnetische Strahlung konsistent eingeführt werden?

Das elektromagnetische Spektrum steht bei der Einführung im Zentrum. Die SchülerInnen lernen unterschiedliche Arten von Strahlung im Lauf der Sekundarstufe 1 kennen und ordnen diese im Spektrum ein. So bietet sich die sichtbare Strahlung als Startpunkt an. Verschiedene Phänomene (Spektralfarbe, Reflexion, usw.) werden anhand dieser Strahlung gezeigt und diskutiert. Die Verwendung des Begriffs der sichtbaren Strahlung ist wichtig. Natürlich ist es sinnvoll auch von Licht zu sprechen. Die sprachliche Verwendung von sichtbarer Strahlung statt Licht weist jedoch auf die Verwandtschaft zu Infrarotstrahlung oder Röntgenstrahlung hin. Schon in diesem ersten Schritt lässt sich das Spektrum einführen und das Licht auf diesem verorten.

**Tipp 1:** Führen Sie das Spektrum frühzeitig ein und verorten Sie auch die sichtbare Strahlung darauf.

In der Sekundarstufe 1 finden sich weitere Möglichkeiten Strahlung und das Spektrum zu behandeln. Zwei sollen nun genauer beschrieben werden. In beiden Fällen sind eine stringente Einführung und das Vermeiden von ungenauen Bezeichnungen für das Lernen und Verstehen wichtig.

### 6.1 Infrarotstrahlung

In der Sekundarstufe 1 wird das Thema Wärme behandelt. Dabei führt man den Begriff Wärmestrahlung ein und verwendet ihn. Oftmals ohne Bedeutungszusammenhänge für die SchülerInnen zu konstruieren. Dies führt dazu, dass der Begriff für sich alleine steht, inhaltlich leer bleibt und nicht eingeordnet werden kann. Bei der Einführung der Infrarotstrahlung, oft erst in der Sekundarstufe 2, kommt es dann zu einer Doppelbenennung. Erschwerend kommt hinzu, dass unter dem Begriff Wärmestrahlung oft die Hohlraumstrahlung eines Körpers gemeint wird, welche wiederum das gesamte elektromagnetische Spektrum in unterschiedlichen Intensitäten abbildet und nicht nur den Bereich der Infrarotstrahlung [4].

Nun stellt sich die Frage, ob eine fachlich konsistente Einführung der thermischen Strahlung (Hohlraumstrahlung) in der Sekundarstufe 1 möglich und vor allem nötig ist. Bei einer durchgehenden Benennung der Strahlung als „Infrarotstrahlung“ lässt sich das Prinzip der Übertragung von Wärme ohne Me-

dium, welches oft der einzige Zweck der Einführung der Wärmestrahlung ist, ohne den Begriff der Wärmestrahlung einführen. Die thermische Strahlung ist in der Sekundarstufe 2, nach dem Verständnis des Spektrums, leichter zu erklären und mit den Begriffen „Intensität und Wellenlänge“ in Zusammenhang zu bringen. Auch ist eine Erklärung der Hohlraumstrahlung im Rahmen der Quantentheorie fachlich konsistenter zu bewerkstelligen als in der Sekundarstufe 1.

**Tipp 2:** Führen Sie den Begriff der thermischen Strahlung erst in der Sekundarstufe 2 ein.

Als Empfehlung für den Unterricht kann also die konsequente Benennung von Wärmestrahlung als Infrarotstrahlung genannt werden. Dies gibt den SchülerInnen die Möglichkeit diese Strahlung in das Spektrum einzuordnen und Analogien zur sichtbaren Strahlung (Reflexion, Absorption, Transmission) zu ziehen.

## 6.2 „Radioaktive“ Strahlung

Das Problem bei der Behandlung des Themas Radioaktivität ist, dass der Begriff, wie oben schon erwähnt, ein Oberbegriff für Teilchenstrahlung, als auch für elektromagnetische Strahlung ist. Um dies für SchülerInnen versteh- und unterscheidbar zu machen ist es nötig, Teilchenstrahlung und den Unterschied zur elektromagnetischen Strahlung zu klären. Beides ist in der Sekundarstufe 1 nicht einfach. Eine Möglichkeit wäre eine Trennung der beiden Konzepte.

**Tipp 3:** Trennen Sie die Konzepte von Teilchenstrahlung und EM-Strahlung.

Es stellt sich jedoch die Frage nach der Notwendigkeit der Einführung von Strahlung im Rahmen von Radioaktivität. Obwohl sich aus den Bildungsstandards die Einführung „radioaktiver“ Strahlung nicht sofort erschließt, so ist Kernenergie explizit genannt. Zusätzlich ist es aus einer gesellschaftlichen Position heraus unumgänglich, Radioaktivität und die entsprechenden Strahlungen ( $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung) zu behandeln. Mündige Erwachsene sollten in der Lage sein, eine Beurteilung von möglichen Gefahren, basierend auf naturwissenschaftlichen Erkenntnissen, durchzuführen. Die Frage der Notwendigkeit lässt sich also mit ja beantworten.

Die Trennung der Bezeichnungen führt zu einer Vereinfachung auf einer konzeptuellen Ebene. So ist zunächst eine Einführung von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung sinnvoll. Der Fokus muss dabei auf der verbindenden Eigenschaft Teilchenstrahlung liegen. Die Vorstellung eines Strahls aus Partikel ist für SchülerInnen nicht schwer zu verstehen. Zusätzlich bietet sich eine Brücke zur Schülervorstellung der strahlenden Partikel, welche in diesem Kontext fachlich korrekt ist. Die Gefahren von radioaktiven Wolken und ähnlichem ist in diesem Modell thematisierbar. Die Einführung der  $\gamma$ -Strahlung erfolgt zeitlich getrennt. Der Fokus liegt dabei auf der Einordnung in das bereits bekannte Spektrum. Es lassen sich dabei

recht einfach Verbindungen zu sichtbarer Strahlung oder Infrarotstrahlung ziehen und der Begriff der ionisierenden Strahlung einführen.

Auch hier ist eine sprachliche Genauigkeit im Unterricht wünschenswert. Vermeiden Sie im Unterricht den Begriff „radioaktive“ Strahlung. Benennen Sie stattdessen die entsprechenden Strahlungsarten ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) bei deren Verwendung.

**Tipp 4:** Vermeiden Sie den Begriff der „radioaktiven“ Strahlung.

Eine mögliche Erweiterung stellt die Benennung der Quelle der Strahlung (Atomkern) dar. Dies lässt in weiterer Folge eine Differenzierung zu anderen Strahlungen zu und erweitert das konzeptuelle Wissen.

## 7. Fazit

Die Behandlung von Strahlung stellt im Physikunterricht eine curriculare, fachliche und gesellschaftliche Notwendigkeit dar. SchülerInnen benötigen in ihrem weiteren Leben ein fachlich korrektes Basiswissen um einen kompetenten Umgang mit elektromagnetischer Strahlung zu gewährleisten. Sie sollten Phänomene und Behauptungen auf physikalische „Richtigkeit“ hin überprüfen und beurteilen können. Die vorgestellten Basisideen stellen Diskussionsgrundlage dar. Sie sollen die Möglichkeit geben, elektromagnetische Strahlung konsistent einzuführen. Ein auf den Basisideen basierender Unterrichts-gang wird zu Zeit an der Uni Wien entwickelt.

## 8. Literatur

- [1] Giancoli, Douglas C. (2011): Physik: Gymnasiale Oberstufe, Pearson Deutschland GmbH.
- [2] Neumann, Susanne (2013): Schülervorstellungen zum Thema Strahlung: Ergebnisse empirischer Forschung und Konsequenzen für den naturwissenschaftlichen Unterricht, Wien.
- [3] Vogel, Helmut und Gerthsen, Christian (1997): Gerthsen Physik: Mit 1212 meist zweifarbigen Abbildungen, 10 Farbtafeln, 89 Tabellen, 105 durchgerechneten Beispielen und 1065 Aufgaben mit vollständigen Lösungswegen, 19. Aufl. Auflage, Springer-Lehrbuch, Springer, Berlin, ISBN: 3-540-62988-2.
- [4] Wagner, Paul E.; Reischl, Georg P. und Steiner, Gerhard (2014): Einführung in die Physik, 3., erw. Aufl. Auflage, Facultas.wuv, Wien, ISBN: 978-3708911441.
- [5] Tipler, Paul A. und Gerlich, Dieter (2000): Physik, 3., korrigierter Nachdr. der 1. Aufl. 1994. Auflage, Spektrum Lehrbuch, Spektrum Akad. Verl., Heidelberg [u.a.], ISBN: 978-3860251225.

- [6] Neumann, Susanne (2014): Three Misconceptions About Radiation — And What We Teachers Can Do to Confront Them, *The Physics Teacher* (Band 52), Nr. 6, Seite 357–359.
- [7] Neumann, Susanne und Hopf, Martin (2011): Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff ‘Strahlung’, *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* (Band 17), Seite 157–176.
- [8] Boyes, Edward und Stanisstreet, Martin (1997): Children's Models of Understanding of Two Major Global Environmental Issues (Ozone Layer and Greenhouse Effect), *Research in Science & Technological Education* (Band 15), Nr. 1, Seite 19–28.
- [9] Plotz, Thomas und Hopf, Martin (eingereicht) Two concepts of radiation.: A case study to investigate existing misconceptions.
- [10] Boyes, Edward und Stanisstreet, Martin (1994): Children's Ideas about Radioactivity and Radiation: sources, mode of travel, uses and dangers, *Research in Science & Technological Education* (Band 12), Nr. 2, Seite 145–160.
- [11] Lijnse, P. L.; Eijkelhof, H. M. C.; Klaassen, C. W. J. M. und Scholte, R. L. J. (1990): Pupils' and mass-media ideas about radioactivity, *International Journal of Science Education* (Band 12), Nr. 1, Seite 67–78.
- [12] KMK (2005): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004 ; [Jahrgangsstufe 10], 1. Auflage, Luchterhand, München [u.a.], ISBN: 978-3-472-06218-9.
- [13] KMK (2004): Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik, Luchterhand, München.
- [14] Hartlauer Resopoint, 2016, 03.05.2016, <http://www.resopoint.com>