

Unterrichtsmaterial zum Strahlungsunterricht

Sarah Zloklikovits*, Thomas Plotz*

*AECC Physik, Universität Wien, Porzellangasse 4/2/2, 1090 Wien
sarah.zloklikovits@univie.ac.at, thomas.plotz@univie.ac.at

Kurzfassung

In unserem Alltag sind wir von Strahlung in vielfältiger Weise umgeben. In der Sekundarstufe wird an verschiedenen Stellen im Curriculum auf Strahlung eingegangen. Leider ist nur wenig gutes und fachdidaktisch erprobtes Unterrichtsmaterial für die Sekundarstufe vorhanden. In diesem Beitrag wird Unterrichtsmaterial für UV-Strahlung vorgestellt, welches in zwei Unterrichtsstunden zu bearbeiten ist. Dieses Material wurde in mehreren Design-Based-Research-Zyklen erstellt und verbessert. Dabei wurden verschiedene qualitative Methoden zur Evaluation der einzelnen Entwicklungsstufen verwendet. Das vorliegende Material stellt das vorläufige Endprodukt dar. Dieses Material ist einfach in den Regelunterricht zu implementieren und die Materialkosten wurden auf ein Minimum gesenkt. Es zeigten sich in der Erprobung eine einfache Anwendbarkeit im Regelunterricht und gute Verständlichkeit des Materials. Die Unterrichtseinheit ist Teil eines Unterrichtsganges zum Thema Strahlung, welcher derzeit an der Universität Wien entwickelt wird.

1. Einleitung

Strahlung, genauer elektromagnetische Strahlung, spielt im Physikunterricht momentan eine eher untergeordnete Rolle. Dies ist angesichts der Bedeutung des Themas für unser tägliches Leben (Handy, Mikrowelle, UV-Strahlung...) verwunderlich. Vor allem in der Sekundarstufe 1 wird das Thema Strahlung meist auf „radioaktive Strahlung“ reduziert. Oft bleibt bei den SchülerInnen auch nur diese Strahlungsart am Ende der Schulzeit in Erinnerung. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde an der Universität Wien eine zweistündige Unterrichtseinheit zum Thema UV-Strahlung samt passender Unterlagen für die 8. Schulstufe entwickelt. Die Materialien wurden im Unterricht erprobt und stellen den zweiten Zyklus eines großen Design-Based-Research-Projekts dar [1]. Bei der Konzeption wurde auf eine starke Schülerzentrierung geachtet. Dabei wurden neueste didaktische Erkenntnisse (Concept-Cartoons [2, 3], Schülervorstellungen zu UV-Strahlung [4–6]) in der Konzeption berücksichtigt.

2. Schülervorstellungen zu Strahlung

In den letzten Jahren wurden einige Bemühungen unternommen, Schülervorstellungen zu elektromagnetischer Strahlung, insbesondere UV-Strahlung, zu erforschen. Auch wenn die entsprechende fachdidaktische Forschung hier noch am Beginn steht, sind eine Reihe von Schülervorstellungen dokumentiert.

Allgemein zur elektromagnetischen Strahlung finden sich Vorstellungen, dass Licht etwas anderes als Strahlung ist [6] und dass es möglich ist, in Abwesenheit von sichtbarer Strahlung Objekte, wie z.B. Katzenaugen oder Papier, zu sehen [5]. Des Weiteren wird Strahlung als etwas nicht Natürliches wahrgenommen [6].

UV-Strahlung wird als sehr helles Licht, als starke Strahlung, als sehr schädliche Strahlung oder als „sehr violett“ beschrieben [5]. Die Sichtbarkeit ist ein schwieriges Thema – so finden sich Vorstellungen, dass UV-Strahlung sichtbar ist [6], als auch, dass natürliche UV-Strahlung unsichtbar ist, wir sie jedoch sehen können, wenn sie künstlich oder sehr intensiv ist [4]. Als UV-Quelle ist meist nur die Sonne bekannt, gleichzeitig wird oft sämtliche Strahlung der Sonne für UV-Strahlung gehalten [5].

Auch zum Schutz vor UV-Strahlung sind inzwischen einige Fehlvorstellungen dokumentiert. So wird Sonnencreme oft als einzige Methode, sich vor der Sonne zu schützen, genannt. Weitere Vorstellungen sind, dass die Bräunung der Haut ein „rein kosmetischer Effekt“ ist und Sonnenschäden keine langfristigen Auswirkungen haben [4].

3. Ziele

Für die Unterrichtseinheit wurden verschiedene Lernziele formuliert [7, 8]. Diese werden in den einzelnen Aufgaben verfolgt. Die Struktur des Materials korrespondiert mit folgenden Zielen:

- Die SchülerInnen kennen das elektromagnetische Spektrum und können UV-Strahlung dort einordnen.
- Die SchülerInnen können verschiedene Quellen für UV-Strahlung nennen.
- Die SchülerInnen wissen, dass UV-Strahlung unsichtbar aber mit Hilfsmitteln nachweisbar ist.
- Die Schülerinnen und Schüler wissen über Nutzen und Gefahren von UV-Strahlung Bescheid. Die SchülerInnen wissen, wie man sich gegen

UV-Strahlung schützen kann/ welche Materialien bzw. Gegenstände undurchlässig für UV-Strahlung sind.

Das Material wurde so gestaltet, dass die SchülerInnen möglichst eigenständig arbeiten können. Es sollte außerdem leicht im Regelunterricht einsetzbar sein. Aus diesem Grund wurde auf kostengünstige Materialien zurückgegriffen.

4. Entwicklung und Methoden

Das Material wurde mittels Design-Based-Research-Ansatzes entwickelt [1]. Dabei erfolgt die Entwicklung von Unterrichtsmaterialien im Wechsel mit der Evaluierung dieses Materials sowie einer entsprechenden Überarbeitung und Verbesserung. Die erste Entwicklung und deren Evaluierung fanden bereits im Vorfeld statt [7, 8]. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden eingearbeitet, das neue Material getestet und erneut überarbeitet. Anschließend wurde die nun dritte Version im größeren Rahmen evaluiert und nochmals verbessert (vgl. Abb. 1).

Phase 1

Als Ausgangspunkt diente Unterrichtsmaterial [7, 8], welches für den Unterricht mittels Cross-Age-Peer Tutoring (CAPT) entwickelt wurde. Bei CAPT handelt es sich um eine Methode des kooperativen Lernens, bei der SchülerInnen in die Rolle von TutorInnen schlüpfen und mit jüngeren SchülerInnen Unterrichtsmaterialien erarbeiten [9].

Dieses Ausgangsmaterial wurde in vier verschiedenen Schulen getestet. Dabei wurde mit 40 SchülerInnen der 8. und 25 SchülerInnen der 12. Schulstufe gearbeitet. Zur Evaluierung der Lernwirksamkeit wurde ein Test entwickelt, welcher den SchülerInnen der 12. Schulstufe unmittelbar vor Beginn der Intervention sowie ca. einen Monat später vorgelegt wurde. Die Fragen zielten auf das Wissen der SchülerInnen zu Sichtbarkeit, Effekten, Quellen und Schutzmaßnahmen ab. Es stellte sich heraus, dass die gesetzten Lernziele großteils erreicht wurden [7, 8].

Phase 2

Im nächsten Schritt wurde das Material für einen Unterricht ohne CAPT adaptiert und um eine Aufgabe zum Umgang mit Sonnencreme ergänzt. Basierend auf den Erkenntnissen der ersten Evaluation konnten an einzelnen Punkten Verbesserungsmaßnahmen getroffen werden. Um ein selbstständiges Arbeiten der SchülerInnen zu ermöglichen, wurden gestufte Lernhilfen [10, 11] sowie eine Lösung zur Selbstkontrolle entwickelt.

Das Material wurde dann im kleinen Rahmen mit einem Schüler und einer Schülerin mittels Think-Aloud-Methode [12] getestet. Zusätzlich wurde ein Expertenfeedback eingeholt. Das Material wurde danach einer erneuten Überarbeitung unterzogen.

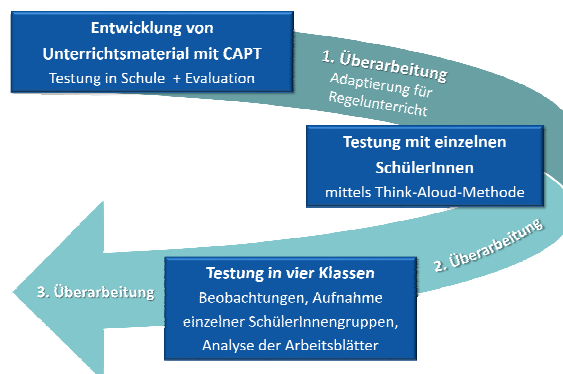


Abb. 1: Überarbeitungsschritte

Phase 3

Die so entstandene Unterrichtseinheit wurde in vier Schulklassen (94 SchülerInnen) erprobt. Die Durchführung übernahm die jeweilige Lehrperson. Diese Stunden wurden beobachtet und einzelne Schülergruppen aufgezeichnet. Anschließend wurden die Antworten der SchülerInnen zu den Arbeitsblättern analysiert. Dabei konnten wiederum einige Schwierigkeiten ausgemacht und beseitigt werden. Die danach überarbeitete Unterrichtseinheit wird in Punkt 5 vorgestellt.

Resultate

Die Resultate der Evaluierung zeigten eine gute Anwendbarkeit und Wirksamkeit des Materials. Die Durchführung der Lerneinheit bereitete den beteiligten Lehrpersonen keine Schwierigkeiten. Die SchülerInnen konnten das Material selbstständig bearbeiten, waren motiviert und hatten Spaß. Durch die bereitgestellten Materialien waren sie in der Lage zusätzliche Experimente durchzuführen. Die zweite Überarbeitung machte das Material leichter verständlich und dadurch besser anwendbar. Die Testung der Unterlagen im Unterricht zeigte verbleibende Schwachstellen auf. Diese wurden in der dritten Überarbeitung berücksichtigt.

5. Die Unterrichtseinheit

Die entwickelte Unterrichtseinheit umfasst zwei Schulstunden. Die SchülerInnen arbeiten dabei in Zweiergruppen und erhalten eine Box mit den benötigten Materialien. In dieser Box befinden sich Arbeitsblätter, auf denen verschiedene Aufgaben zu lösen sind. Zu jeder Aufgabe gibt es ein Kuvert mit zwei bis drei Hinweisen. Diese sind gestuft aufgebaut: Der erste Hinweis ist meist ein Tipp für die Organisation des Handelns, der letzte Hinweis liefert Informationen, mit denen sich die jeweilige Aufgabe leicht lösen lässt. Durch Auffalten des Zettels gelangt man zum nächsten Hinweis (vgl. Abb. 2). Die SchülerInnen können anschließend ihre Ergebnisse mit einer Musterlösung vergleichen, die in Form einer Mappe am Lehrertisch aufliegt.

Die letzte Aufgabe ist ein Quiz, das die Lehrperson mit der Klasse durchführt. Dieses Quiz dient auch

einer Zusammenführung der Klasse und des erarbeiteten Wissens.

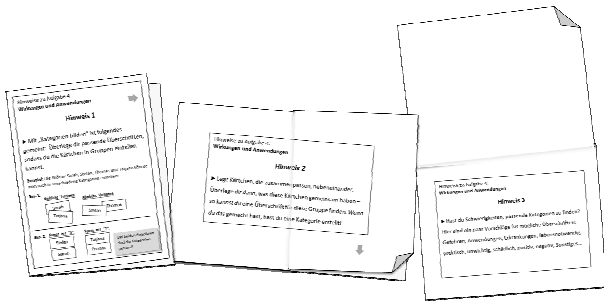


Abb. 2: Gestufte Lernhilfe

Material pro Box:

- 1 UV-Taschenlampe
- 1 Sonnenbrille
- UV-Perlen
(verfärben sich bei Kontakt mit UV-Strahlung, vgl. Abb. 3)
- 1 Plastikbecher
- diverse Kärtchen
- Hinweiskuvets

Die Kosten belaufen sich pro Box auf etwa 15 Euro.



Abb. 3: UV-Lampe und Perlen

5.1 Elektromagnetische Strahlung

Zu Beginn gibt es einen einführenden Text zu elektromagnetischer Strahlung zu lesen. Dieser ist auf folgender Grundidee aufgebaut:

Es gibt verschiedene Strahlungsarten, die unterschiedlich auf den Menschen wirken. Die Größe, die den Unterschied macht, ist die Wellenlänge.

Ziel dieses Konzeptes ist es, dass die SchülerInnen in der Lage sind, Strahlungsarten und deren Wirkungen voneinander zu unterscheiden. Bei der Evaluation des Ausgangsmaterials zeigten sich zu diesem Punkt einige Probleme - so wurde von SchülerInnen „Wärme“ als Effekt der UV-Strahlung angeführt [7]. Auch die Vorstellungen, dass intensive oder künstliche UV-Strahlung doch sichtbar ist [4] oder man bei einer alleinigen Beleuchtung eines Raumes mit UV-Strahlung trotzdem sehen kann [5], könnten Resultate dieser Schwierigkeit sein.

Der Text gliedert sich in Absätzen zu folgenden Themen:

- Was ist elektromagnetische Strahlung?

- Es gibt verschiedene Formen der elektromagnetischen Strahlung.
- Die Strahlungsarten wirken unterschiedlich (als Beispiele: sichtbare Strahlung und Infrarotstrahlung).
- Die charakterisierende Größe ist die Wellenlänge.

Der Text lautet folgendermaßen:

Als elektromagnetische Strahlung bezeichnet man Wellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten.

Man unterscheidet dabei verschiedene Formen von elektromagnetischer Strahlung. Eine kennst du sicher schon – die sichtbare Strahlung, oft „sichtbares Licht“ genannt. Andere Strahlungsarten sind Mikrowellen-, Infrarot-, UV- und Röntgenstrahlung.

Strahlung wird in verschiedene Formen eingeteilt, weil jede Strahlungsart anders auf uns Menschen wirkt. Sichtbare Strahlung z.B. kann von unseren Augen wahrgenommen werden, was uns das Sehen ermöglicht. Diese Strahlung ist die einzige, die für uns Menschen sichtbar ist!

Ein weiteres Beispiel ist die Infrarotstrahlung. Sie hat eine wärmende Wirkung, die wir mit unserer Haut spüren. Sie wird von Gegenständen aufgrund ihrer Temperatur emittiert. Emittieren bedeutet, dass Strahlung ausgesendet wird. Auch du emittierst Infrarotstrahlung!

Die Größe, die für die unterschiedlichen Wirkungen und damit für die verschiedenen Strahlungsarten verantwortlich ist, ist die sogenannte Wellenlänge λ („Lambda“).

Im Folgenden wirst du einiges über ultraviolette Strahlung („UV-Strahlung“) erfahren. Wir können diese Form der Strahlung mit keinem unserer Sinnesorgane wahrnehmen – wir können sie weder sehen, riechen, hören, schmecken noch fühlen.

Ergänzt wird der Text durch eine schematische Abbildung des Spektrums (vgl. Abb. 4)

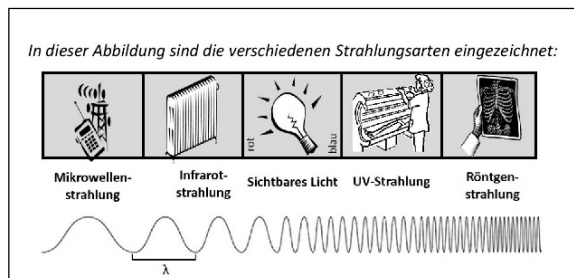


Abb. 4: Spektrum

Auf die Wellenlänge wird bewusst nicht näher eingegangen, nachdem sich bei der Testung in der Schule herausstellte, dass die SchülerInnen sehr schnell fal-

sche Vorstellungen zum Begriff der Wellenlänge entwickeln (z.B. dass Strahlung mit kürzerer bzw. längerer Wellenlänge „sichtbarer“ ist).

Damit es nicht beim Lesen bleibt, wird den SchülerInnen die Aufgabe gestellt, Merksätze zu formulieren, die folgende Wörter enthalten: Strahlung, Mensch, Wirkung und UV-Strahlung.

5.2 UV-Quellen

Um Vorstellungen entgegenzuwirken, dass die Sonne die einzige UV-Quelle und Strahlung etwas Künstliches ist (vgl. Punkt 2), sollen die SchülerInnen hier verschiedene Quellen für UV-Strahlung kennenlernen. Dazu stehen Ihnen Kärtchen mit Abbildungen von verschiedenen Objekten zur Verfügung (vgl. Abb. 5). Sie sollen diese in „UV-Quellen“ und „keine UV-Quellen“ einteilen.

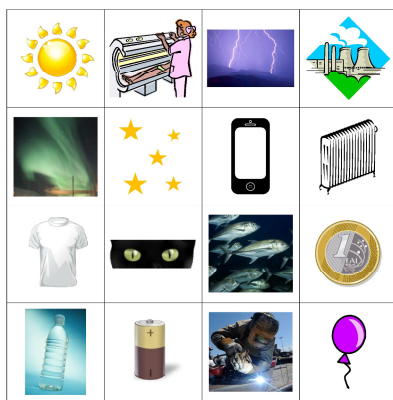


Abb. 5: Karten mit Strahlungsquellen

5.3 (Un-)Sichtbarkeit

Die SchülerInnen werden mit dem Phänomen konfrontiert, dass das Licht der UV-Lampe blau-violett ist, obwohl UV-Strahlung unsichtbar ist.

Hier wird mit einem Concept-Cartoon [2, 3] gearbeitet – es werden Erklärungsversuche von vier SchülerInnen präsentiert (vgl. Abb. 6). Diese basieren auf Schülerkonzepten, die aus Interviews bekannt



Abb. 6: Concept Cartoon

sind [4]. Nachdem bei der Schultestung viele SchülerInnen antworteten, dass die Strahlung sichtbar ist, weil sie vom Tisch reflektiert oder gebrochen wird, wurde dieses Erklärungskonzept in den Concept Cartoon aufgenommen. Aufgabe ist es zu entscheiden, ob eine Erklärung stimmt bzw. einen eigenen Erklärungsversuch zu formulieren.

In der dritten Überarbeitungsphase wurde für diese Aufgabe ein Hinweis entwickelt, der eine Erweiterung des Concept Cartoons darstellt. Haben sich die SchülerInnen für eine der Antworten entschieden, müssen sie die entsprechende Seite des Hinweises auf falten. Ihre Erklärung wird dann durch ein Gegenargument eines Schülers/ einer Schülerin in Frage gestellt. Die SchülerInnen müssen klären, ob der Einwurf stimmt und ihre Antwort gegebenenfalls überdenken. Ziel ist es, dass die SchülerInnen nicht bloß jene Erklärung wählen, die ihnen am plausibelsten erscheint, sondern diese nochmals hinterfragen und durch Argumente verteidigen.

5.4 Wirkungen und Anwendungen

In der Prätestung zeigte sich, dass SchülerInnen fast ausschließlich negative Effekte der UV-Strahlung nennen [7]. In dieser Aufgabe lernen sie Wirkungen und Anwendungen der UV-Strahlung aus verschiedenen Bereichen kennen. Auf Kärtchen finden sich verschiedenste Effekte mit einer kurzen Erklärung (vgl. Abb. 7). Die SchülerInnen sollen selbst Kategorien erstellen und die Kärtchen in diese einordnen. Dieses Wissen soll in der nächsten Aufgabe angewendet werden.

Lebensnotwendig oder gut für den Körper Belastung der Augen

<p>Verbesserung des Blutkreislaufes UV-Strahlung kann einen positiven Effekt auf das Herz-Kreislaufsystem haben.</p>
<p>Vitamin D UV-Strahlung startet die Erzeugung von Vitamin D. Dazu reichen 15-20 min pro Tag in der Sonne. Es ist wichtig für unsere Knochen.</p>
<p>Glücksgefühl UV-Strahlung kann die Bildung von Glückshormonen („Endorphinen“) anregen. Das kann die Stimmung bessern!</p>

<p>Augenentzündungen Sind die Augen starker UV Belastung ausgesetzt, können sie sich entzünden. Das kann z.B. im Solarium oder beim Skifahren passieren!</p>
<p>Linsentrübung (grauer Star) UV-Strahlung kann die Erkrankung am Grauen Star begünstigen – das ist eine Trübung der Linse, die auch zu Blindheit führen kann.</p>

Verwendung und Behandlung

<p>Sonnenbrand Ist man zu viel UV-Strahlung ausgesetzt, wird die Haut rot und beginnt zu schmerzen. Diese Reaktion der Haut nennt man „Sonnenbrand“.</p>
<p>Bräune UV-Strahlung ist dafür verantwortlich, wenn Haut nach einem Sonnenbad braun wird. Das ist aber ein Zeichen dafür, dass die Haut durch die Strahlung beschädigt wurde!</p>
<p>Hautkrebs Zu viel UV-Strahlung kann Hautkrebs verursachen.</p>
<p>Hautalterung Ist man viel UV-Strahlung ausgesetzt, wird die Haut früher dünner, faltig und bekommt Flecken.</p>

<p>Behandlung von Hautkrankheiten Eine spezielle UV Therapie kann z.B. gegen Neurodermitis helfen.</p>
<p>Desinfektion Man kann UV-Strahlung auch zur Desinfektion von Laboren oder Teichpumpen verwenden. Sie wird dort so eingesetzt, dass sie Viren und Bakterien abtötet. UV-Strahlung wird z.B. auch bei der Desinfektion des Wiener Leitungswassers benutzt.</p>
<p>Fluoreszenz Es gibt Materialien, die zu leuchten beginnen, wenn man sie mit UV bestrahlt. Diesen Effekt nennt man Fluoreszenz. Auch Leuchtstifte sind fluoreszierend. Probiere es auch – schreibe etwas mit Leuchtstift und beleuchte es mit der UV-Lampe!</p>

Abb.7: Schülerbeispiel zu Aufgabe 4

5.5 Die rettende Idee

Die SchülerInnen werden mit folgendem Vorschlag konfrontiert:

„Die UV-Strahlung der Sonne gefährdet uns alle – wir bauen ein riesiges, UV-undurchlässiges Schutzschild um die ganze Erde und retten uns so vor ihr. Die Welt wird uns dafür feiern!“

Sie sollen angeben, ob sie diese Idee für gut befinden und ihre Antwort begründen.

5.6 Schutz vor UV-Strahlung

Den SchülerInnen wird eine Liste von Materialien vorgegeben (vgl. Abb. 8). Sie sollen zuerst ankreuzen, ob sie glauben, dass die angegebenen Materialien vor UV-Strahlung schützen. Dann sollen sie ihre Vermutungen überprüfen. Dazu stehen ihnen eine UV-Lampe sowie Perlen, die sich bei Kontakt mit UV-Strahlung verfärben, zur Verfügung. Falls SchülerInnen früher fertig sind können sie an dieser Stelle auch andere Materialien testen.

Schutzmaßnahme	Vermutung Was glaubst du wird passieren?		Ergebnis Was ist herausgekommen?	
	schützt	schützt nicht	schützt	schützt nicht
Wasser		X		X
Sonnenbrille	X		X	
Bekleidung	X		X	
Fensterglas	X			X
Wand	X		X	
Marmor		X	X	
Metall	X		X	

Abb. 8: Schülerbeispiel zu Aufgabe 6

5.7 Richtiger Umgang mit Sonnencreme

Die Aufgabe widmet sich dem richtigen Umgang mit Sonnencreme. Die SchülerInnen werden mit bekannten Fehlvorstellungen konfrontiert. Dazu wird mittels Beamer oder Overheadprojektor jeweils eine Frage mit drei Antwortmöglichkeiten präsentiert (vgl. Abb. 9). Die SchülerInnen müssen sich für eine Antwort entscheiden – das tun sie, indem sie eine Karte der entsprechenden Farbe hochhalten. Anschließend wird die Frage aufgelöst und eine Erklärung geliefert.

6. Ausblick

Die Entwicklung der Unterrichtsmaterialien wurde durch eine Diplomarbeit begleitet. In dieser werden die Materialien, die Entwicklungsschritte sowie die Erkenntnisse genauer ausgeführt. Zusätzlich wird an der Universität an einem Unterrichtskonzept zur Infrarotstrahlung gearbeitet. Langfristiges Ziel ist es, einen Unterrichtsgang für elektromagnetische Strahlung zu entwickeln. In diesem sollen die bestehenden

Bei einer Sonnencreme bedeutet der Lichtschutzfaktor (LSF) 20, dass...

1



... ich 20mal so lange in der Sonne bleiben kann wie ohne Sonnencreme.

2



... ich mich alle zwei Stunden nachcremen muss.

3



... meine Haut 20mal so gut geschützt ist wie ohne Sonnencreme.

Bei einer Sonnencreme bedeutet der Lichtschutzfaktor (LSF) 20, dass...

1



... ich 20mal so lange in der Sonne bleiben kann wie ohne Sonnencreme.

Eigenschutzzeit nennt man die Zeit, in der sich die Haut selbst vor Sonnenbrand schützen kann. Das hängt vom Hauttyp und der Intensität der UV-Strahlung ab. Der Lichtschutzfaktor (LSF) gibt an, um **wie viel länger** man in der Sonne bleiben kann, ohne einen Sonnenbrand zu bekommen.

Aber Vorsicht – meist trägt man die Sonnencreme zu dünn auf – sie schützt dann kürzer!

Abb. 9: Quizfrage

Materialien zu Infrarot- und UV-Strahlung vereint und um die sichtbare Strahlung ergänzt werden. Eine Erweiterung um Mikrowellen und Röntgenstrahlung ist ebenfalls geplant.

Für die Gestaltung eines übergreifenden Strahlungsunterrichts gilt es ein tragfähiges Konzept für die Größe der Wellenlänge zu entwickeln, nachdem sich gezeigt hat, dass diese Größe problematisch sein kann. Interessant könnte hier der Tagungsbeitrag von Brackertz und Schulz sein, die eine Reduktion zum Thema „Lichtsorten, Absorption und Emission“ basierend auf dem Photonenbegriff vorstellten [13].

7. Literaturverzeichnis

- [1] REINMANN, Gabi: *Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung*. In: *Unterrichtswissenschaft* 33 (2005), Nr. 1, S. 52–69
- [2] KEOGH, Brenda ; NAYLOR, Stuart ; WILSON, Catherine: *Concept Cartoons: A New Perspective on Physics Education*. In: *Physics education* 33 (1998), Nr. 4, S. 219–224
- [3] NAYLOR, Stuart ; KEOGH, Brenda: *Concept Cartoons: what have we learnt?* In: *Journal of Turkish Science Education* 10 (2013), Nr. 1
- [4] LANGER, Sarah: *Schülervorstellungen zur UV-Strahlung*. Universität Wien. Diplomarbeit. 2015
- [5] LIBARKIN, Julie C. ; ASGHAR, Anila ; CROCKETT, C. ; SADLER, Philip: *Invisible Misconceptions: Student Understanding of Ultraviolet and Infrared Radiation*. In: *Astronomy Education Review* 10 (2011), Nr. 1

- [6] NEUMANN, Susanne ; HOPF, Martin: *Students' conceptions about 'radiation': Results from an explorative interview study of 9th grade students*. In: *Journal of Science Education and Technology* 21 (2012), Nr. 6, S. 826–834
- [7] SCHWARZ, Konrad: *Die Wirkungsweise von CAPT bei UV-Strahlung*. Universität Wien. Diplomarbeit. 2015
- [8] LIEB, Daniel ; PAINSI, Judith ; SCHWARZ, Konrad ; PLOTZ, Thomas ; ZLOKLIKOVITS, Sarah: *Unglaublich vielseitig! : UV-Strahlung mit der CAPT-Methode unterrichten*. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule* 65 (2016), Nr. 2, S. 24–32
- [9] KORNER, Marianne: *Cross-Age Peer Tutoring im Physikunterricht : Eine ungewöhnliche Unterrichtsmethode stellt sich vor*. In: *Plus Lucis* (2013), 1-2, S. 11–15
- [10] FRANKE-BRAUN, Gudrun ; SCHMIDT-WEIGAND, Florian ; STÄUDEL, Lutz ; WODZINSKI, Rita: *Aufgaben mit gestuften Lernhilfen -ein besonderes Aufgabenformat zur kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und zur Intensivierung der sachbezogenen Kommunikation*. In: *Lernumgebungen auf dem Prüfstand. Zwischenergebnisse aus den Forschungsprojekten.*, Kassel Univ. Press, Kassel (2008), S. 27–42
- [11] LEISEN, Josef: *Methoden-Handbuch Deutschsprachiger Fachunterricht (DFU)* : Varus Verlag, 1999
- [12] VAN SOMEREN, M. W. ; BARNARD, Yvonne F. ; SANDBERG, Jacobijn A. C. ; OTHERS: *The think aloud method: a practical approach to modelling cognitive processes* : Academic Press, 1994
- [13] BRACKERTZ, Stefan ; SCHULZ, Andreas: *Lichtsarten, Absorption und Emission: Eine didaktische Reduktion für die Mittelstufe* (DPG-Frühjahrstagung 2016, Didaktik der Physik). Hannover, 01.03.2016