



universität
wien

DISSERTATION

Titel der Dissertation

Schülervorstellungen zum Thema *Strahlung*

Ergebnisse empirischer Forschung und Konsequenzen für
den naturwissenschaftlichen Unterricht

Verfasserin

Mag. Susanne Neumann, BA

angestrebter akademischer Grad

Doktorin der Naturwissenschaft (Dr. rer. nat.)

Wien, im Jänner 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 791 411

Dissertationsgebiet lt. Studienblatt: Physik

Betreuerin / Betreuer: Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf

Inhalt

I. Einleitung.....	3
A. <i>Stand der Forschung</i>	5
B. <i>Eigene Arbeiten</i>	8
II. Im Rahmen der Dissertation erstellte Publikationen	13
A. <i>Neumann, S., & Hopf, M. (2011). Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff ‚Strahlung‘? Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (17). – published</i>	15
B. <i>Neumann, S., & Hopf, M. (2012). Students’ Conceptions About ‘Radiation’: Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students. Journal of Science Education and Technology, 1-9, doi:10.1007/s10956-012-9369-9. – published</i>	43
C. <i>Neumann, S., & Hopf, M. (2012). Children’s Drawings About “Radiation” - Before and After Fukushima. Research in Science Education, doi:10.1007/s11165-012-9320-3. – published</i>	67
D. <i>Neumann, S., & Hopf, M. (submitted). Students’ Ideas about Nuclear Radiation – Before and After Fukushima. International Journal of Science and Mathematics Education. – submitted</i>	91
E. <i>Neumann, S. (submitted). Three misconceptions about radiation - and what we teachers can do to confront them. The Physics Teacher. – submitted</i>	115
III. Diskussion und Ausblick	121
IV. Danksagung	127
V. Literaturverzeichnis.....	129
VI. Anhang	137
A. <i>Zusammenfassung</i>	137
B. <i>Abstract</i>	139
C. <i>Bestätigung des Betreuers über den von der Dissertantin erbrachten Eigenanteil an den Publikationen</i>	140
D. <i>Akademischer Lebenslauf</i>	141
E. <i>Publikationsliste</i>	143

I. Einleitung

Mein Interesse für Fachdidaktik im Allgemeinen und zu dem in meiner Dissertation behandelten Thema im Speziellen wurde nicht zuletzt durch meine Tätigkeit im Schuldienst geweckt. Die Bedeutung der Kenntnis und Berücksichtigung von Schülervorstellungen waren zentrale Punkte, die, obgleich schon durchs Studium bekannt, in der schulischen Praxis deutlich wurden. Beim Unterrichten des Themas *Strahlung* stieß ich aber immer wieder auf Schülervorstellungen, die meines Wissens in der Literatur kaum erwähnt wurden und die mein Interesse an deren Erforschung weckten.

Der Begriff *Strahlung* tritt im Alltag häufig auf, nicht nur im Kontext der Sonnenstrahlung. In vielen technischen Geräten werden diverse Strahlungsarten eingesetzt, um Signale zu senden und zu empfangen. Dies führt dazu, dass insbesondere auch Schülerinnen und Schüler bereits mit teilweise sehr konkreten Vorstellungen zum Thema *Strahlung* in den Unterricht kommen. Ein Ziel meines Dissertationsvorhabens war es zu erforschen, welche vorunterrichtlichen, aber auch welche durch den Unterricht geprägten Vorstellungen zu diesem Thema gefunden werden können.

Aus naturwissenschaftlicher Sicht umfasst der Begriff *Strahlung* zwei Aspekte: Zum einen wird er verwendet, um die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen zu beschreiben. Dabei findet der Begriff vor allem in den hochfrequenten Bereichen des elektromagnetischen Spektrums Verwendung (z.B. UV-Strahlung, Röntgenstrahlung), während die niederfrequenten Bereiche eher selten mit diesem Begriff beschrieben werden (z.B. Radiowellen). In letzter Zeit konnte man jedoch beobachten, dass sich der Gebrauch des Begriffs *Strahlung* auch für andere Frequenzbereiche durchgesetzt hat (vgl. den Terminus „Mobilfunkstrahlung“). Der andere naturwissenschaftliche Aspekt des Begriffs *Strahlung* ist die Ausbreitung massereicher, sub-atomarer Teilchen (z.B. Alphateilchen oder Neutronen). Die Trennung dieser beiden Aspekte von Strahlung ist historisch bedingt. In meiner Dissertation verstehe ich unter dem Begriff *Strahlung* den Vorgang der Ausbreitung von Photonen oder anderer sub-atomarer Teilchen, die dabei Energie und Impuls transportieren. Da der im alltäglichen Sprachgebrauch fest

verankerte Begriff der „radioaktiven“ Strahlung fachlich unpräzise ist, verwende ich zur Beschreibung von ionisierender Strahlung aus radioaktiven Quellen in dieser Dissertation den Begriff *nukleare Strahlung*.

Die vorliegende Arbeit soll einen Überblick über die im Rahmen der Dissertation verfassten Publikationen geben. In Kapitel I (A) wird zunächst kurz der **Stand der fachdidaktischen Forschung** im Themengebiet *Schülervorstellungen*, insbesondere zum Bereich *Strahlung*, dargestellt. Sodann werden in Kapitel I (B) - **Eigene Arbeiten** die Forschungsfragen und das Forschungsdesign des Dissertationsprojekts präsentiert. Den Kern der Arbeit bilden die in Kapitel II abgedruckten **Publikationen** A bis E. Die danach folgende **Diskussion** (Kapitel III) stellt die fünf Publikationen in einen größeren Zusammenhang und fasst die Resultate des Dissertationsprojekts zusammen, zeigt aber auch die Grenzen des Designs auf. Der abschließende **Ausblick** beinhaltet weiterführende Forschungsfragen, die sich im Laufe des Dissertationsprojekts ergaben und an deren Beantwortung teilweise schon im Rahmen anderer Projekte (Diplomarbeiten, Drittmittelprojekt Sparkling Science) gearbeitet wird.

A. Stand der Forschung

In der empirischen Forschung zur Didaktik der Naturwissenschaften (*research in science education*) nimmt die Forschung zum Thema Schülervorstellungen eine bedeutende Rolle ein. Seit den Anfängen der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung wurde untersucht, mit welchen Ideen Schülerinnen und Schüler in den Unterricht kommen und wie sich diese Ideen im Zuge des Lernens weiterentwickeln. Dass die Einbeziehung der vorunterrichtlichen Vorstellungen für das Lernen der Schülerinnen und Schüler von größter Bedeutung ist, wird insbesondere dann verständlich, wenn man Lernen als konstruierenden Prozess betrachtet (Duit & Treagust, 1998; Gerstenmaier & Mandl, 1995; Matthews, 1997). Basierend auf der Lerntheorie des Konstruktivismus, wird das Vorwissen von Lernenden als eine der wesentlichen Säulen verstanden, die das Lernen beeinflussen (Bransford, 2000).

Den Anfang der Forschung zu Schülervorstellungen bildeten Studien zu Fehlvorstellungen (*misconceptions*) über bestimmte Themen der Physik, wie Mechanik, Optik und Elektrizitätslehre. Im Laufe der Zeit entwickelte sich das Bewusstsein dafür, dass diese Vorstellungen nicht zwangsläufig falsch sein müssen. So setzten sich im deutschen Sprachraum die Bezeichnung *Schülervorstellungen* bzw. im internationalen Zusammenhang die Begriffe *students' conceptions* und *alternative ideas* durch (vgl. Abimbola, 1988). Die Tatsache, dass nicht nur Jugendliche über diese typischen Vorstellungen über naturwissenschaftliche Konzepte verfügen, sondern auch Erwachsene und sogar naturwissenschaftliche Lehrkräfte, wurde in vielen Studien thematisiert und erforscht (z.B. Lijnse, Eijkelhof, Klaassen, & Scholte, 1990; Smith, 1987; Yip, 1998) und lässt den Begriff *students' conceptions* unzulänglich erscheinen, da diese typischen Vorstellungen offenbar nicht nur in den Köpfen von Schülerinnen und Schülern existieren. In Anbetracht der Tatsache, dass die meisten Untersuchungen aber im schulischen Bereich zu verorten sind, scheint es gerechtfertigt, diese Bezeichnung auch in den vorliegenden Arbeiten zu verwenden.

Obwohl die Erforschung konkreter Schülervorstellungen zu gewissen Themenbereichen immer noch eine wichtige Rolle in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung spielt

(so auch in der vorliegenden Dissertation), haben sich rund um diese Thematik weitere Forschungsfelder aufgetan: Einerseits werden vermehrt auch Schülervorstellungen zu übergeordneten Themen, wie z.B. Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften (Nature of Science, z.B. Abd-El-Khalick, 1998) oder Vorstellungen über das eigene Lernen (z.B. Bolhuis & Voeten, 2004) untersucht. Andererseits bildet die Untersuchung der diesen Ideen zugrunde liegenden Theoriekonzepte einen weiteren Forschungsrahmen (A. diSessa, 2008; Vosniadou, Vamvakoussi, & Skopeliti, 2008). Besonders viele Desiderata wirft auch die Frage nach geeigneten Strategien im Umgang mit schon bekannten Schülervorstellungen auf. Ein großes Ziel der fachdidaktischen Forschung ist es herauszufinden, welche Strategien diesen Konzeptwechsel (*conceptual change*), d.h. die Weiterentwicklung von Schülervorstellungen zu wissenschaftlich akzeptablen Vorstellungen, am besten ermöglicht (Duit, Treagust, & Widodo, 2008). Die Bedeutung eines Konzeptwechsels für das Lernen der Schülerinnen und Schüler wird mittlerweile nicht nur in den Naturwissenschaftsdidaktiken diskutiert, sondern hat auch schon andere Fachdidaktiken erreicht, wie z.B. die Geschichtsdidaktik (Limón, 2002).

Die vorliegende Dissertation widmet sich der Erforschung von Schülervorstellungen zum Begriff *Strahlung*, einem Thema, mit dem Schülerinnen und Schüler in ihrem Alltag oft konfrontiert werden. Umso überraschender ist es, dass bisher nur sehr wenige Studien existieren, in denen Schülervorstellungen zu diesem Thema untersucht wurden. Trotz der reichhaltigen Datenlage zu Schülervorstellungen über andere, insbesondere physikalische, Themengebiete (Übersichtsdarstellungen finden sich z.B. in Driver, 1985; Müller, 2004) enthält die von Reinders Duit kompilierte Datenbank zu Forschungsergebnissen über Schülervorstellungen *STCSE* (Duit, 2009) nur eine sehr begrenzte Anzahl von Untersuchungen zum Thema *Strahlung*. Ein großer Teil dieser Studien untersuchte Schülervorstellungen zu nuklearer Strahlung (Acar Sesen & Ince, 2010; Boyes & Stanisstreet, 1994; Eijkelhof, 1990; Lijnse et al., 1990; Millar & Jarnail Singh, 1996; Riesch & Westphal, 1975). Nur wenige thematisierten Vorstellungen über andere Arten von Strahlung wie z.B. Infrarot- oder Ultraviolett-Strahlung (Libarkin, Asghar, Crockett, & Sadler, 2011; Rego & Peralta, 2006).

Methodisch arbeiteten die oben genannten Untersuchungen hauptsächlich mit Fragebögen und Interviews. Letztere Methode wurde auch in meinen Arbeiten zur

Beantwortung der zweiten und dritten Forschungsfrage (s.u.) eingesetzt. Interviews stellen bereits ein Standard-Instrument zur Erforschung von Schülervorstellungen dar und ihr Einsatz wird in der Literatur ausführlich beschrieben (siehe z.B. Flick, 2009). Für die Analyse der von mir durchgeführten Interviews wurde die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) gewählt, die auch in anderen Forschungsarbeiten zu Schülervorstellungen angewandt wurde (siehe z.B. Gropengießer, 2008).

Die von mir für die Beantwortung der ersten Forschungsfrage (s.u.) verwendete Methode, zum Begriff *Strahlung* Kinderzeichnungen anfertigen zu lassen und die darin vorkommenden Motive zu analysieren, kam bisher in der Erforschung von Schülervorstellungen im Vergleich zu anderen Methoden nur relativ selten zum Einsatz (Dikmenli, 2010; Finson, 2002; Köse, 2008; Rennie & Jarvis, 1995; Riemeier, 2005).

Eine Begründung der Methodenwahl sowie eine Darlegung der konkreten Umsetzung finden sich im nächsten Unterkapitel (Eigene Arbeiten – Überblick über das Forschungsdesign). Eine ausführliche Diskussion, in der Nutzen und Grenzen der gewählten Methoden kritisch hinterfragt werden, ist jeweils in den publizierten bzw. zur Publikation eingereichten Zeitschriftenartikeln (Kapitel II) zu finden. Eine zusammenfassende Diskussion der Methodenwahl bietet Kapitel III.

B. Eigene Arbeiten

1. Forschungsfragen

Wie in Unterkapitel A dargestellt, ist in dem Bereich „Schülervorstellungen zum Thema *Strahlung*“ eine klare Forschungslücke erkennbar. Die bisherigen, zahlenmäßig eher bescheidenen Untersuchungen decken nur einige Teilbereiche (vor allem zu Schülervorstellungen über ionisierende Strahlung) ab. Insbesondere erschien es mir auch interessant zu erforschen, inwiefern die mediale Präsenz des Begriffs *Strahlung* Einfluss auf Schülervorstellungen hat. Im Gegensatz zum Zeitpunkt früherer Studien, die hauptsächlich in den 1980er und 1990er Jahren stattfanden, scheint es zum heutigen Zeitpunkt doch so, dass Schülerinnen und Schüler in ihrem Alltag öfter mit dem Begriff *Strahlung* konfrontiert werden. So ist vielen unter ihnen nicht nur die „Handystrahlung“, inklusive der damit einhergehenden medialen Diskussion, ein Begriff. Viele Jugendliche nutzen W-LAN, Bluetooth und Infrarot-Strahlung für Datenübertragungen (vom Internet bis zum Computerspiel). Auch das gesteigerte Bewusstsein über die Gefährlichkeit einer zu hohen Dosis UV-Strahlung und die damit verbundene Diskussion über das Solarium-Verbot für Jugendliche könnte dazu geführt haben, dass manche Schülerinnen und Schüler den Begriff *Strahlung* in andere Zusammenhänge bringen als noch vor 20 Jahren.

Diese Überlegungen führten mich zu folgenden zwei Forschungsfragen, die mich in der ersten Phase meiner Arbeiten leiteten.

1. Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff *Strahlung*, bevor dieses Thema im naturwissenschaftlichen Unterricht behandelt wurde (4. – 6. Schulstufe)? Sind diese Assoziationen abhängig von Alter und Geschlecht der Schülerinnen und Schüler?
2. Welche Schülervorstellungen zum Thema *Strahlung*, die aus bisherigen Untersuchungen bekannt sind, können bei Jugendlichen der 9. Schulstufe wiedergefunden werden? Welche bisher noch nicht bekannten Schülervorstellungen lassen sich entdecken?

Die zweite Phase meines Dissertationsprojekts wurde maßgeblich durch ein unerwartetes Ereignis beeinflusst – den Reaktorunfall in Fukushima. Die ausführliche Medienberichterstattung und eine potenziell daraus resultierende Rezeption des Themas im naturwissenschaftlichen Unterricht führten mich zu meiner dritten Forschungsfrage:

3. Inwiefern haben sich die Assoziationen sowie die Vorstellungen von Jugendlichen zum Thema *Strahlung* im Zuge der Ereignisse in Fukushima geändert?

2. Überblick über das Forschungsdesign

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurde methodisch die Analyse von Kinderzeichnungen gewählt. Dazu wurden 509 Schülerinnen und Schüler der 4. bis 6. Schulstufe gebeten Zeichnungen zum Begriff *Strahlung* anzufertigen. Diese Methode wurde aus mehreren Gründen gewählt. Zunächst stellt das Anfertigen von Zeichnungen im Gegensatz zu anderen Forschungsmethoden wie z.B. dem Einsatz von Fragebögen eine spielerische Methode dar, die vom Großteil der Kinder gerne durchgeführt wurde. So war es möglich, mit überschaubarem zeitlichem und organisatorischem Aufwand eine große Menge an Datenmaterial für die Studie zu erhalten. Das Hauptargument für den Einsatz von Kinderzeichnungen zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage war jedoch die Offenheit der Methode. Die Schülerinnen und Schüler konnten bei der Wahl der Motive frei assoziieren und wurden dabei in keiner Weise eingeschränkt. Auch die Tatsache, dass sich die Kinder im Gegensatz zu einer Fragebogenuntersuchung nicht sprachlich ausdrücken mussten, sprach für die Wahl dieser Methode. Nach der Sammlung des Materials wurden die von den Schülerinnen und Schülern gewählten Motive nach einem selbst entwickelten Kategoriensystem analysiert. Um die Validität der Methode zu erhöhen, wurde das Kategoriensystem von mehreren Forscherkolleginnen peervalidiert. Die Methode der Kinderzeichnungen wurde durch die Durchführung von Kurzinterviews (n = 75) ergänzt, die tiefere Einsichten in die Wahl der gezeichneten Motive erlaubten. Außerdem konnte auf diese Weise gewährleistet werden, dass die Interpretation der gezeichneten Motive auf Basis einer Stichprobe mit

den Absichten der Schülerinnen und Schüler übereinstimmten. Die Ergebnisse der Kinderzeichnungsstudie wurden in der *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* veröffentlicht (Neumann & Hopf, 2011b).

Zur Bearbeitung der zweiten Forschungsfrage wurde aus verschiedenen Gründen ein Interviewdesign gewählt. Einerseits erlaubte es die Altersgruppe der Probandinnen und Probanden (9. Schulstufe) längere und detailliertere Interviews zu führen als dies bei der Stichprobe zur ersten Forschungsfrage möglich gewesen wäre. Andererseits handelte es sich bei der zweiten Forschungsfrage um eine engere Fragestellung: Die Erforschung von Vorwissen und Schülervorstellungen stand dabei im Vordergrund, freie Assoziationen spielten nur am Anfang des Interviews eine Rolle. Da allerdings ein Schwerpunkt der zweiten Forschungsfrage darin bestand, neue Schülervorstellungen zum Thema Strahlung zu entdecken und zu dokumentieren, wurden halb-offene Interviews geführt, die es zuließen auf die Jugendlichen einzugehen und den Fragenverlauf auf deren Antwortverhalten abzustimmen. Mit Hilfe dieser Methode wurden 50 Jugendliche, die die 9. Schulstufe besuchten, interviewt. Die Interviews wurden kategorienbasiert ausgewertet und darin gefundene Schülervorstellungen extrahiert. Die Ergebnisse dieser Interviewstudie wurden im *Journal of Science Education and Technology* veröffentlicht (Neumann & Hopf, 2012b).

Die dritte Forschungsfrage wurde in zwei Teilen bearbeitet:

Die Kinderzeichnungsstudie wurde im Dezember 2011, zwei Jahre nach der für die Beantwortung der ersten Forschungsfrage durchgeführten Studie, mit einer Stichprobe von 516 Schülerinnen und Schülern aus denselben Schulen wie in der 2009 durchgeführten Studie repliziert. Da im Rahmen dieser Trendstudie dieselben Schulstufen wie 2009 herangezogen wurden, war die Stichprobe bei den beiden Teilstudien jedoch unterschiedlich. Die von den Kindern gezeichneten Motive wurden bei diesem zweiten Teil der Trendstudie insbesondere im Hinblick auf etwaige Veränderungen auf Grund der Ereignisse in Fukushima analysiert. Auch in den begleitenden Kurzinterviews wurde auf diese Fragestellung besonders eingegangen. Die Ergebnisse dieser Trendstudie wurden in der Zeitschrift *Research in Science Education* veröffentlicht (Neumann & Hopf, 2012a).

Auch die für die zweite Forschungsfrage entwickelte Interviewstudie wurde zwei Jahre später mit einer ähnlichen Kohorte (n=43) repliziert. Die Ergebnisse dieser Trendstudie wurden gemeinsam mit einer tiefergehenden Analyse beider Interviewstudien im Hinblick auf Schülervorstellungen zu nuklearer Strahlung für eine Publikation aufbereitet und im *International Journal of Science and Mathematics Education* eingereicht (Neumann & Hopf, submitted).

Abb. 1 gibt einen Überblick über den zeitlichen Ablauf des gesamten Forschungsdesigns.



Abb. 1 - Forschungsdesign

3. Dissemination der Forschungsergebnisse

Die Ergebnisse der Teilstudien sowie die Zusammenschau der Ergebnisse wurden auf folgenden nationalen und internationalen Tagungen präsentiert und, sofern dies möglich war, in den entsprechenden Tagungsbänden veröffentlicht:

- AECC Summerschool, Spital am Pyhrn, Juli 2010
- ESERA Summer School, Udine, Juli 2010
- Jahrestagung der GDCP, Potsdam, September 2010
- Doktorierenden-Kolloquium der GDCP, Essen, Oktober 2010
- AECC Summerschool, Spital am Pyhrn, Juli 2011
- Jahrestagung der GDCP, Oldenburg, September 2011
- AECC Summerschool, Spital am Pyhrn, Juli 2012
- World Conference on Physics Education, Istanbul, Juli 2012
- (außerdem geplant: Nuclear Data, New York, März 2013)

Parallel zu den Forschungsarbeiten wurde darauf geachtet, die Ergebnisse im Hinblick auf ihre Bedeutung für die Schulpraxis zu reflektieren. Neben der Entwicklung von Lehrveranstaltungen und Workshops in der Lehreraus- und -fortbildung (Universität Wien, Pädagogische Hochschule Wien, Kirchliche Pädagogische Hochschule Wien/Krems, Fortbildungswoche des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts) wurden die Studienergebnisse auch in Form von Publikationen in praxisorientierten Zeitschriften veröffentlicht (Publikation in der *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*: Neumann & Hopf, 2011a) bzw. zur Veröffentlichung eingereicht (Publikation im *physics teacher*: Neumann, submitted).

In diesem Kontext wurde auch an der Entwicklung einer Strand-Map zum Thema *Strahlung* gearbeitet. Dazu wurde nach dem Vorbild der NDSL Scientific Literacy Maps (<http://strandmaps.ndsl.org>) auf normative Weise ein Vorschlag zu einem spezifischen Kompetenzaufbau in dieser Thematik erstellt, der sich von der Primarstufe bis zur Sekundarstufe II erstreckt. Dieser Entwurf wurde durch zwei Interviews mit Lehrkräften evaluiert und durch deren Anregungen verbessert. Bisher beschränkt sich der Einsatz dieser Strand-Map auf Lehrerfortbildungen, im Kapitel *Diskussion und Ausblick* wird jedoch eine weiterführende Forschungsfrage formuliert, die zur empirisch fundierten Weiterentwicklung der Strand-Map beitragen soll.

II. Im Rahmen der Dissertation erstellte Publikationen

Publikationen in internationalen Zeitschriften (peer-reviewed)

- A. Neumann, S., & Hopf, M. (2011). Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff 'Strahlung'? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*(17). – **published**
- B. Neumann, S., & Hopf, M. (2012). Students' Conceptions About 'Radiation': Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 826-834, doi:10.1007/s10956-012-9369-9. – **published**
- C. Neumann, S., & Hopf, M. (2012). Children's Drawings About "Radiation" - Before and After Fukushima. *Research in Science Education*, doi:10.1007/s11165-012-9320-3. – **published**
- D. Neumann, S., & Hopf, M. (submitted). Students' Ideas about Nuclear Radiation – Before and After Fukushima. *International Journal of Science and Mathematics Education*. – **submitted (Jan 24, 2013)**

Publikationen in Praxiszeitschriften (peer-reviewed)

- E. Neumann, S. (submitted). Three misconceptions about radiation - and what we teachers can do to confront them. *The Physics Teacher*. – **submitted (July 16, 2012)**

Publikationen in sonstigen Praxiszeitschriften (nicht abgedruckt)

Neumann, S., & Hopf, M. (2011). "Ich sehe ja, dass die Tasten strahlen!" - Was sich Schülerinnen und Schüler unter "Handystrahlung" vorstellen. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 60(7), 46-48.

Beiträge in Tagungsbänden (inter)nationaler Konferenzen (nicht abgedruckt)

Neumann, S., & Hopf, M. (2012). Schülervorstellungen zum Thema "Strahlung". Ergebnisse einer Interviewstudie. In S. Bernholt (Ed.), Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht (pp. 227). Münster/New York: LIT-Verlag.

Neumann, S. (2011). Was Schüler/innen mit dem Begriff 'Strahlung' verbinden - Empirische Befunde aus einer Analyse von Kinderzeichnungen. In D. Höttecke (Ed.), Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Münster: Lit-Verlag.

Neumann, S., & Hopf, M. (submitted). Students' Conceptions About Radiation - Selected Results From an Interview Study With 9th-Graders. Paper presented at the World Conference on Physics Education, Istanbul.

A. Neumann, S., & Hopf, M. (2011). Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff ‚Strahlung‘? Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (17). – published

Susanne Neumann, Martin Hopf

Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff ‚Strahlung‘?

What do students associate with the German term ‚Strahlung‘ (=radiation)?

Zusammenfassung

In einer explorativen Studie wurde untersucht, was Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff ‚Strahlung‘ verbinden, bevor sie im Physikunterricht mit dem Thema konfrontiert werden. Zu diesem Zweck wurden Schülerinnen und Schüler der vierten bis sechsten Schulstufe gebeten, Zeichnungen zu diesem Thema anzufertigen. Diese Kinderzeichnungen wurden quantitativ mit Hilfe eines selbst entwickelten Kategoriensystems analysiert. Mit einer Teilgruppe der Probandinnen und Probanden wurden Interviews geführt, um die richtige Interpretation der Zeichnungen zu gewährleisten und nach den Wissensquellen der Kinder zu fragen. Bei der Analyse der Daten zeigte sich, dass die Motive stark altersabhängig waren: Schülerinnen und Schüler der vierten Schulstufe zeichneten zum überwiegenden Teil Quellen sichtbarer Strahlung (Sonne, Taschenlampe, ...). Mit zunehmendem Alter nahm der Anteil derjenigen signifikant zu, die Objekte im Zusammenhang mit unsichtbarer Strahlung (Handys, Atomkraftwerke, ...) wählten.

Schlüsselwörter: Strahlung, Schülervorstellungen, Kinderzeichnungen

Abstract

An explorative study analyzed what students associate with the German term ‚Strahlung‘ (=radiation), before they are confronted with this topic in physics lessons.

Students from grades 4 to 6 were asked to create drawings about this topic. These drawings were quantitatively analyzed using self-created categories. A sub-set of the students was interviewed in order to check the interpretations of the drawings and ask them about their sources of information. The analysis of the data showed that the choice of motifs was strongly dependent on the age of the students: Students attending grade 4 drew, to a high degree, sources of visible radiation (e.g. the Sun, a flashlight, ...). The older the students were, the higher the percentage of drawings that show objects related to invisible radiation (e.g. mobile phones, nuclear power plants, ...).

Keywords: radiation, students' conceptions, children's drawings

1. Theoretischer Hintergrund

Das Lernen von Schülerinnen und Schülern im naturwissenschaftlichen Unterricht wird zu einem wesentlichen Teil dadurch bestimmt, ob deren Vorerfahrungen im Lernprozess berücksichtigt werden. Seit den 70er Jahren bildet daher die Erforschung der Schülerperspektive einen wichtigen Teil der fachdidaktischen Forschung. Neben der Erforschung von Haltungen und Einstellungen der Lernenden spielen dabei insbesondere die kognitiven Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler eine große Rolle. In der deutschen Literatur (wie auch in dem vorliegenden Artikel) werden diese üblicherweise mit dem Begriff ‚Schülervorstellungen‘ bezeichnet.

Duit und Treagust (2003) fassen die Entwicklung der fachdidaktischen Forschung über Schülervorstellungen wie folgt zusammen:

„[...] there are still a remarkable number of studies on students' learning in science that primarily investigate such students' conceptions at the content level. Since the middle of the 1980s investigations of students' conceptions at meta-levels, namely conceptions of the nature of science and views of learning (i.e., meta-cognitive conceptions) also have been given considerable attention.”

Die hohe Bedeutung von Schülervorstellungen sowohl für die naturwissenschaftliche Fachdidaktik als auch für die Unterrichtspraxis ergibt sich dabei aus den Lernprozessen, denen Schülerinnen und Schüler folgen. Geht man von einem konstruktivistischen Ansatz aus (vgl. Duit & Treagust, 2003; Matthews, 1997), müssen sie ihr Wissen unter anderem aus den von der Lehrkraft zur Verfügung gestellten Lernangeboten selbst konstruieren. Dies erfolgt auf Basis der schon vorhandenen kognitiven Strukturen der Schülerinnen und Schüler, die in den Lernprozess miteinbezogen werden. Die Kenntnis dieser Vorstellungen ist daher unerlässlich für eine erfolgreiche Konzeptentwicklung im naturwissenschaftlichen Unterricht.

1.1 Aktuelle Diskussionen zu Schülervorstellungen

Bezüglich der Fragen, welche innere Struktur diesen Vorstellungen allgemein zu Grunde liegt und auf welche Art ein Konzeptwechsel daher bestmöglich bewirkt werden kann, gehen die Meinungen in der fachdidaktischen Forschung auseinander. So zeigen sich in der aktuellen Forschungslandschaft zwei gegensätzliche Ansätze, die in der internationalen Literatur als „Framework Theory Model“ (Vosniadou et al., 2008) bzw. als „Knowledge in Pieces“ (A. diSessa, 2008) bezeichnet werden. Der Unterschied dieser beiden Ansätze lässt sich exemplarisch an einer Studie von Ioannides und Vosniadou (2001) verdeutlichen. Darin untersuchten sie, welche Strukturen im Verständnis der Schülerinnen und Schüler dem Kraftbegriff zu Grunde liegen. Es zeigte sich, dass die meisten Schülerinnen und Schüler nur wenige, wohl definierte und innerlich konsistente Deutungen des Kraftbegriffs zur Erklärung der Phänomene heranzogen. Dieses Ergebnis bestätigte Vosniadous These, dass schon in der Kindheit tief verwurzelte Konzeptstrukturen entstehen. Will man dieser Theorie folgen, so kann Konzeptentwicklung nur dann stattfinden, wenn während des Lernvorgangs diese Konzeptstrukturen aufgebrochen und von Grund auf neu geschaffen werden.

Andrea diSessa, der mit seiner Arbeitsgruppe (A. diSessa, Gillespie, & Esterly, 2004) die Studie von Ioannides und Vosniadou replizieren wollte, kam jedoch – durch eine leichte Modifikation des Settings – zu komplett anderen Ergebnissen. In seiner Studie zeigten die Probandinnen und Probanden in ihren Vorstellungen keinesfalls zusammenhängende

Konzeptstrukturen, sondern vielmehr lose Fragmente, die sie spontan zu neuen Erklärungen zusammenfügten. Diese Fragmente – diSessa nennt sie *p-prims* („Phenomenological Primitives“) – bilden in der Theorie des fragmentierten Wissens („Knowledge in Pieces“) die Basis für eine alternative Erklärung der Konzeptstrukturen (Andrea diSessa, 1993). Legt man diese These dem Verständnis von Konzepten zu Grunde, muss für eine Konzeptentwicklung nicht das gesamte Netzwerk aufgebrochen werden, da die *p-prims* ja in anderen Kontexten fachlich konsistente Erklärungen liefern. Es muss lediglich dafür gesorgt werden, dass diese Basis-Bausteine im richtigen Kontext aktiviert werden. So öffnet diSessas These neue Möglichkeiten zur Interpretation schon lang bekannter Schülervorstellungen. Ein Beispiel dafür gibt David Hammer (1996), der mit dem Knowledge-in-Pieces-Modell das weit verbreitete Misskonzept der Entstehung der Jahreszeiten erklärt. Dabei wird von vielen Schülerinnen und Schülern die Meinung vertreten, der Wechsel der Jahreszeiten entstehe nicht durch die Neigung der Erdoberfläche, sondern durch den wechselnden Abstand der Erde von der Sonne (Sadler, Schneps, & Woll, 1989). Nach Hammer handelt es sich dabei nicht um eine prinzipielle Fehlvorstellung. Die Ursache für die falsche Erklärung liegt vielmehr darin, dass richtige *p-prims* im falschen Zusammenhang aktiviert werden. Der Basis-Baustein „Näher bedeutet stärker“ kann in vielen Kontexten eine brauchbare Erklärung liefern. So wird zum Beispiel die Beobachtung „Je näher ich an einer Schallquelle bin, desto lauter höre ich den Schall.“ intuitiv mit Hilfe des vorher erwähnten *p-prims* verstanden. Für eine Erklärung der Entstehung der Jahreszeiten ist dieses *p-prim* allerdings nicht brauchbar. Um daher einer falschen Erklärung des Phänomens zuvor zu kommen, muss es das Ziel der Lehrkraft sein, die Schülerinnen und Schüler zu einem passenden Einsatz der Basis-Bausteine zu bringen.

Obwohl die Frage, welche innere Struktur Schülervorstellungen aufweisen, in der momentanen Forschungslage noch nicht zufriedenstellend beantwortet werden kann, existiert bereits eine Vielzahl empirischer Forschungsergebnisse zum Thema Prä- und Misskonzepte in den Naturwissenschaften¹.

¹ siehe dazu die von Reinders Duit zusammengestellte Datenbank STCSE (Students' and Teachers' Conceptions and Science Education), verfügbar unter: <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>

1.2 Forschungsstand über Schülervorstellungen zum Thema ‚Strahlung‘

Bei Recherchen zum Thema Schülervorstellungen zum Begriff ‚Strahlung‘ finden sich zwar Anknüpfungspunkte an die Optik, deren Ergebnisse zu Schülervorstellungen in manchen Bereichen wohl auch auf andere Strahlungsarten übertragbar sind (vgl. STCSE, Duit, 2009). Zu anderen Typen von (elektromagnetischer) Strahlung (v.a. UV, Infrarot, langwellige Strahlung) ist jedoch sehr wenig Datenmaterial vorhanden. Zu Schülervorstellungen über den Zusammenhang und die prinzipielle Einschätzung des Gefahrenpotenzials von Strahlung im Allgemeinen lassen sich keine empirischen Untersuchungen finden. Eine Ausnahme stellt der Bereich der ionisierenden Strahlung dar, da dieser im Zusammenhang mit Radioaktivität besonders in den frühen 90er Jahren von einigen Arbeitsgruppen erforscht wurde. Aus den zu diesem Thema vorhandenen Studien lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

Riesch und Westphal (1975) konnten mit einer Interviewstudie (n=24) zeigen, dass 15-jährige Schülerinnen und Schüler den Begriff ‚Radioaktivität‘ stark mit dem Begriff ‚Strahlung‘ verbinden. In den Interviews zeigte sich jedoch, dass viele Jugendliche mit dem Wort ‚Strahlung‘ eigentlich den Transport radioaktiver Quellen meinen. Die Verbreitung dieser Fehlvorstellung, in internationalen Studien als Verwechslung von ‚irradiation‘ vs. ‚contamination‘ bezeichnet, wurde zwei Jahrzehnte später durch andere Studien (Eijkelhof, 1990; Lijnse et al., 1990; Millar & Jarnail Singh, 1996) bestätigt.

Boyes und Stanisstreet (1994) führten eine großangelegte Fragebogenstudie durch (n=1365), in der sie die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern im Alter zwischen 11 und 16 Jahren über den Ursprung, den Transport, den Nutzen und über die Gefahren von Radioaktivität und Strahlung untersuchten. Es konnte gezeigt werden, dass Schülerinnen und Schüler die Quellen ionisierender Strahlung vor allem in Kernkraftwerken sahen und nur zu einem geringen Anteil in natürlichen Quellen wie dies bei kosmischer oder terrestrischer Strahlung der Fall ist. Darüber hinaus wird aus der Untersuchung deutlich, dass Schülerinnen und Schüler die Strahlung, die von radioaktiven Quellen ausgeht, für Umweltprobleme wie den Treibhauseffekt oder den Rückgang der Ozonschicht verantwortlich machten.

Um den Forschungsstand bezüglich Schülervorstellungen zu IR- und UV-Strahlung auszubauen, untersuchten Ashgar, Libarkin und Crockett (2001) mit Hilfe von Fragebögen und Interviews nicht nur das Wissen von Schülerinnen und Schülern, sondern auch das von Lehrkräften. Insgesamt wurden 283 Schülerinnen und Schüler der 6. bis 12. Schulstufe sowie 33 Lehrkräfte über ihr Wissen über IR, UV und sichtbares Licht befragt, mit einer Untergruppe (11 Schülerinnen und Schüler der 7. -8. Schulstufe) wurden detaillierte offene Interviews geführt. Die Ergebnisse zeigen, dass vielen Schülerinnen und Schülern nicht bewusst ist, dass es sich bei diesen Strahlungsarten um unsichtbare Strahlungen handelt. So glaubten 80% der untersuchten Schülerinnen und Schüler, dass es möglich ist Objekte zu sehen, wenn ausschließlich UV-Strahlung vorhanden ist. Noch weniger Vorwissen war bezüglich Infrarot-Strahlung vorhanden, von der die meisten der befragten Schülerinnen und Schüler noch nie etwas gehört hatten. Der physikalische Zusammenhang zwischen UV, IR und anderen elektromagnetischen Strahlungsarten scheint außerdem nicht nur wenigen Schülerinnen und Schülern bekannt zu sein: Auch bei den Lehrkräften stellte die Forschergruppe erhebliche Wissensdefizite fest. So konnten nur 55% der befragten Lehrerinnen und Lehrer eine wissenschaftlich korrekte Definition von UV-Strahlung geben.

Eine portugiesische Studie (Rego & Peralta, 2006) untersuchte schließlich mit Hilfe von Fragebögen das Wissen von 1246 Schülerinnen und Schülern (ab der 7. Schulstufe) und Studierenden über ausgewählte Aspekte des Themas ‚Strahlung‘ (Strahlungsquellen, Auswirkungen auf den menschlichen Körper, Sicherheitsaspekte) . Es zeigte sich, dass diese zwar mit dem Begriff ‚Strahlung‘ vertraut waren, dass jedoch einige Begriffe wie ‚ionisierende Strahlung‘ oder ‚kosmische Strahlung‘ nicht geläufig waren. Außerdem konnte festgestellt werden, dass die Sonne als Strahlungsquelle allgemein bekannt war, während nur wenige Schülerinnen, Schüler und Studierende andere Strahlungsquellen (z.B. Radon, Erdboden, ...) identifizieren konnten.

Viele interessante Forschungsfragen bleiben hingegen noch unbeantwortet, darunter auch die grundlegende Frage, was Schülerinnen und Schüler gegenwärtig überhaupt mit dem Begriff ‚Strahlung‘ verbinden.

2. Fragestellung der Untersuchung

Die Alltagswelt, in der Kinder und Jugendliche heute aufwachsen, hat sich in den letzten Jahrzehnten stark verändert – die erste Konfrontation mit dem Begriff ‚Strahlung‘ erfolgt weit vor einer Behandlung im naturwissenschaftlichen Unterricht. So sind z.B. viele Eltern auf Grund der zahlreichen Medienberichte besorgt über die potenziellen Gefahren von ‚Handystrahlung‘. Auch aus dem Kinderzimmer sind ‚strahlende‘ Alltagsgegenstände nicht mehr wegzudenken, ob dies nun die Fernbedienung ist, der W-Lan-Router oder die Spielkonsole. Ein weiterer Aspekt, der die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zum Thema ‚Strahlung‘ beeinflussen könnte, ist die Tatsache, dass die Generation ihrer Eltern den Unfall von Tschernobyl im Jahre 1986 durch die Medien bewusst miterlebt hatte und eventuell ihre Kinder in diese Richtung verstärkt sensibilisierte². Haben diese Faktoren einen Einfluss darauf, was Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff ‚Strahlung‘ verbinden? Bevor jedoch nach den Ursachen für diese Vorstellungen geforscht werden kann, stellen sich zunächst die grundlegenden Forschungsfragen:

- Was verbinden Schülerinnen und Schüler, die im naturwissenschaftlichen Unterricht (laut Curriculum) noch nicht systematisch mit dem Thema ‚Strahlung‘ konfrontiert worden sind, mit diesem Begriff?
- Sind die Vorstellungen zum Begriff ‚Strahlung‘ abhängig vom Alter der Schülerinnen und Schüler?
- Besteht ein Unterschied zwischen den Geschlechtern in Bezug auf Vorstellungen zum Begriff ‚Strahlung‘?

Die vorliegende explorative Studie soll, angelehnt an die obigen Forschungsfragen, erste Anhaltspunkte über die Vorstellungen von Lernenden zum Thema ‚Strahlung‘ geben. Darüber hinaus soll in diesem Artikel die Methode der Kinderzeichnungen, welche für Studien in der fachdidaktischen Forschung eine sinnvolle Ergänzung zu textbasierten Zugängen sein kann, näher beschrieben werden.

² Hier ist anzumerken, dass die Untersuchung VOR dem Vorfall im japanischen Kernkraftwerk Fukushima durchgeführt wurde.

3. Methoden der Datenerhebung

3.1 Kinderzeichnungen als Methode der naturwissenschaftlichen fachdidaktischen Forschung

Für die Untersuchung der obigen Forschungsfragen wurde die Methode gewählt, Schülerinnen und Schüler der vierten bis sechsten Schulstufe zu bitten, Zeichnungen zum Thema ‚Strahlung‘ anzufertigen. Diese unspezifische Instruktion wurde zunächst gewählt, um das Feld möglichst weit zu explorieren. Doch schon erste Vorstudien zeigten, dass trotz der sehr generellen Instruktion leicht zu interpretierende Ergebnisse auftraten. Daher wurde davon abgesehen, Schülerinnen und Schüler exakter in der Vorgangsweise zu unterweisen. Der Hauptgrund für die Wahl dieser Methode bildete die Vermutung, dass die Versuchsgruppen auf diese Weise sehr leicht für eine Teilnahme an der Studie zu begeistern wären, da Schülerinnen und Schüler dieser Altersstufe erfahrungsgemäß großen Spaß daran haben, sich kreativ zu betätigen. Außerdem konnte mit dieser Methode in relativ kurzer Zeit und mit relativ geringem Ressourceneinsatz eine große Menge an Daten erhoben werden. Überdies verlangte die sehr offen gestellte Forschungsfrage nach einer Methode, die Schülerinnen und Schüler in ihrem Antwortverhalten möglichst wenig einschränkt. So konnte gewährleistet werden, dass viele verschiedene Ideen der Schülerinnen und Schüler erhoben werden. Die vermuteten Vorteile finden sich auch in der Beschreibung der Methode durch White und Gunstone (1992).

Es darf jedoch nicht verschwiegen werden, dass man mit Hilfe dieser Methode nur sehr oberflächliche Vorstellungen erforscht. So ist es naheliegend, dass einige Jugendliche ausschließlich Motive zeichnen könnten, die dem Wort ‚Strahlung‘ ähneln, ohne darüber nachzudenken, ob diese Dinge denn auch von ihrer Bedeutung her etwas mit ‚Strahlung‘ zu tun haben (z.B. Zahlenstrahl, strahlende Gesichtsausdrücke). Eine weitere Gefahr besteht in der Fehlinterpretation der gezeichneten Motive. Um diese zu vermeiden und auch um den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit zu geben, die Motive ihrer Zeichnungen verbal zu ergänzen, wurden zusätzlich Interviews mit einem Teil der Jugendlichen geführt. In der vorliegenden Studie wurden diese Interviews außerdem

dazu eingesetzt, bei den Schülerinnen und Schülern nachzufragen, woher sie ihr Vorwissen über diese Thematik schöpften.

In der psychologischen Literatur zu Kinderzeichnungen liegt der Schwerpunkt vor allem auf der praktischen Interpretation und dem Einsatz von Kinderzeichnungen als Testinstrument für entwicklungspsychologische Einstufungen (z.B. Schuster, 1990). Nur sehr vereinzelt finden sich lernpsychologische Ansätze, die sich auch umgekehrt mit dem Einfluss des Zeichnens auf die Schülerinnen und Schüler selbst befassen (Hope, 2008).

Die Methode, für naturwissenschaftsdidaktische Forschungsfragen Schülerzeichnungen einzusetzen, kam in einigen Bereichen wie der Biologiedidaktik (z.B. Holthusen, 2004; Köse, 2008; Riemeier, 2005) sowie in der Erforschung von Rollenstereotypen ("Draw a Scientist" - Finson, Beaver, & Cramond, 1995; "Draw Yourself as a Teacher" - Markic, 2008) bereits mehrfach zum Einsatz. Auch in anderen Untersuchungen wurde die Methode der Kinderzeichnungen gewählt (Ioannidis & Spiliotopoulou, 1999; Novick & Nussbaum, 1978; Rennie & Jarvis, 1995).

3.2 Detaillierte Erläuterung der angewandten Methode

Zur Datenerhebung wurde folgendes Verfahren verwendet: Das Wort ‚Strahlung‘ wurde von der Lehrkraft an die Tafel geschrieben. Die Schülerinnen und Schüler wurden daraufhin gebeten, eine Zeichnung zu diesem Thema anzufertigen. Dieses Verfahren wurde an sieben Wiener Schulen³ (drei Gymnasien, eine Hauptschule, drei Grundschulen) durchgeführt. Bei den dabei untersuchten Schulstufen handelte es sich um die vierte bis sechste Schulstufe, da die Forschungsfragen sich auf die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern, die im naturwissenschaftlichen Unterricht noch nicht mit dem Thema ‚Strahlung‘ konfrontiert worden waren, beschränkten. Die Schülerinnen und Schüler wurden in ihrer Wahl der Motive dabei auf keine Weise eingeschränkt, auch das Zeichnen mehrerer Motive war erlaubt. Das Zeitlimit, das die Schülerinnen und Schüler für ihre Tätigkeit zur Verfügung hatten, war mit 15 Minuten begrenzt. Zusätzlich

³ Die Schulen repräsentieren zwar keine Zufallsstichprobe. Es wurde aber darauf geachtet, Schulen aus möglichst unterschiedlichen Wiener Bezirken auszuwählen.

wurden die Lehrkräfte darauf hingewiesen, keinerlei thematische Fragen zu beantworten und auch nicht zu erwähnen, dass die Zeichnungen für Forschung im naturwissenschaftlichen Bereich angefertigt werden sollten. Es wurde außerdem darauf geachtet, Lehrerinnen und Lehrer nicht-naturwissenschaftlicher Fächer zu wählen, im Idealfall führte die klassenführende Lehrkraft die Untersuchung durch.

Jedes Blatt wurde schließlich mit dem Vornamen⁴, dem Geschlecht und der Schulstufe des Kindes versehen.

Obwohl erwartet wurde, dass bei einigen Schülerinnen und Schülern nachgefragt werden musste, was das Motiv auf der Zeichnung darstelle, stellte sich sehr schnell heraus, dass die Zahl der Motive beschränkt war und diese im Allgemeinen sehr leicht zu erkennen waren.

Insgesamt konnte auf diese Weise eine Datenbasis von 509 Zeichnungen erreicht werden.

Die detaillierte Aufteilung der Schülerinnen und Schüler auf Schulstufen bzw. Geschlecht ist Abbildung 1 zu entnehmen. Die Verteilung bezüglich des Geschlechts wird dabei sowohl in der Gesamtheit als auch auf der Ebene der Schulstufen als repräsentativ angenommen.

	männlich	weiblich	ohne Angabe	Gesamt
4. Schulstufe	41	46	39	126
5. Schulstufe	91	98	0	189
6. Schulstufe	103	89	2	194
Gesamt	235	233	41	509

Abbildung 1 - Datenbasis

⁴ Das nicht vollständige Zugestehen der Anonymität schien insofern gerechtfertigt, als angenommen werden konnte, dass bei manchen Zeichnungen ein Nachfragen unumgänglich sein würde.

Durch die Analyse der Kinderzeichnungen ergaben sich weiterführende Fragen, deren Beantwortung eine sichere Interpretation der gefundenen Ergebnisse erleichtern sollte. Aus diesem Grund wurden mit 74 Kindern, die Zeichnungen angefertigt hatten, Einzelinterviews durchgeführt. Die Auswahl der interviewten Jugendlichen innerhalb der Untergruppen wurde dabei zufällig vorgenommen.

- Untergruppe 1 umfasste 39 Schülerinnen und Schüler der sechsten Schulstufe⁵, die ausschließlich Motive sichtbarer Strahlung gezeichnet hatten.
- Untergruppe 2 umfasste 35 Schülerinnen und Schüler der sechsten Schulstufe, die ausschließlich Motive unsichtbarer Strahlung gezeichnet hatten.

Alle Interviews hatten zum Ziel, den Schülerinnen und Schülern Gelegenheit zu geben, ihre Zeichnungen selbst zu erklären und Motive im Nachhinein zu ergänzen. Falls dabei keinerlei Quellen unsichtbarer Strahlung genannt wurden, wurden die Schülerinnen und Schüler mit den Begriffen ‚Handystrahlung‘ und ‚Radioaktivität‘ konfrontiert und wurden gebeten, weitere Begriffe zu nennen, die sie mit diesen beiden Wörtern verbinden. Schülerinnen und Schüler der Gruppe 2 wurden darüber hinaus gefragt, woher sie ihre (von der Mehrheit der Schülerinnen und Schüler abweichenden) Vorstellungen über Strahlung hätten. Überdies wurden alle interviewten Schülerinnen und Schüler gebeten, auf einer fünfstufigen Skala einzuschätzen, inwiefern die folgenden drei Aussagen auf sie zuträfen:

- Ich interessiere mich für Naturwissenschaften.
- Ich sehe mir gerne Wissenschaftssendungen wie z.B. Galileo an.
- Ich lese gerne Bücher, die etwas mit Naturwissenschaften zu tun haben.

⁵Der Beweggrund, die Interviewpartnerinnen und -partner ausschließlich aus der sechsten Schulstufe zu wählen, bestand darin, dass in dieser Gruppe die Vielfalt der gezeichneten Motive am größten war. Bei den jüngeren Schülerinnen und Schülern versprach die große Homogenität in den Resultaten keine aussagekräftigen Interviewergebnisse.

Die Interviews wurden digital aufgezeichnet. Vorläufig wurden nur Aussagen der Interviews transkribiert, die für die Suche nach den Informationsquellen der interviewten Schülerinnen und Schüler relevant sind.

3.3 Datenanalyse

Die Zeichnungen wurden kategorienbasiert ausgewertet. Die Bildung von Kategorien sowie die Einordnung der Zeichnungen in die entstandenen Kategorien wurde durch die Mithilfe von drei Peers (einem Fachphysiker, einer Fachdidaktikerin, einer Physik-Lehrkraft) validiert. Dabei wurde von jedem Peer eine Zufallsstichprobe von jeweils 50 Zeichnungen gezogen und versucht, für die Motive dieser Zeichnungen Kategorien zu bilden. Nach dieser Vorgangsweise ergab sich, dass die Peers zu ihren jeweiligen Stichproben gleiche Kategorien bildeten, sodass schließlich folgende fünf Hauptkategorien gewählt wurden:



Abbildung 2 - Fünf Hauptkategorien der Strahlungsmotive

1. Sonne
2. Andere Quellen sichtbarer Strahlung (z.B. Taschenlampe, Glühlampe, Scheinwerfer, Laser)
3. Handy
4. Bildschirme (z.B. Computer, Fernseher)

5. Motive im Zusammenhang mit ‚Radioaktivität‘ (z.B. Kernkraftwerk, Atombombe, Symbol für ionisierende Strahlung)

Andere gezeichnete Motive, wie z.B. Radio, Solarium, oder ‚strahlendes‘ Gesicht, wurden jeweils in weniger als 3 % der Zeichnungen registriert und daher nicht als eigenständige Kategorien geführt.

34% der Kinder wählten Motive, die mehreren Kategorien zugeordnet werden mussten (z.B. eine Zeichnung mit einer Sonne und einem Handy). Welche Kategorie hier die erste Vorstellung des jeweiligen Kindes darstellt, konnte nicht entschieden werden, ein weiterer methodischer Nachteil, der sich im Zuge der Analyse zeigte.

Zur exakten Analyse wurde nun so vorgegangen, dass im Falle mehrerer Kategorien jede Zuordnung gewichtet wurde. Wurde z.B. eine Sonne, ein Handy und ein Atomkraftwerk gezeichnet, wurde jede dieser Kategorien nur mit dem Faktor $1/3$ gewertet. So wurde gewährleistet, dass alle Kinder gleich stark in die Wertung eingehen und sich die gewichteten Prozentwerte aller Kategorien (inkl. der oben nicht angeführten Kategorie ‚Sonstige‘) auf 100% ergänzen. Aus dieser Art von Wertung wird also nicht ersichtlich, wie viele Prozent der Schüler/innen bestimmte Motive gezeichnet haben, sondern welchen gewichteten Prozentsatz die Motive der jeweiligen Kategorien im Vergleich zu den anderen Kategorien einnehmen. In den Ergebnissen wird hierfür der Begriff „gewichteter Anteil“ verwendet, wenn die Ergebnisse auf gewichteten Prozentsätzen basieren.

Für eine detailliertere Auswertung wurden sodann die Kategorien ‚Sonne‘ und ‚andere Quellen sichtbarer Strahlung‘ zur Kategorie „Quellen sichtbarer Strahlung“ zusammengefasst, die Motive ‚Handy‘ und ‚Motive im Zusammenhang mit Radioaktivität‘ zur Kategorie „Quellen unsichtbarer Strahlung“. Die Kategorie ‚Bildschirme‘ musste von der Untersuchung der damit verbundenen Aspekte ausgeschlossen werden, da sie keiner der beiden oben genannten Kategorien zweifelsfrei zugeordnet werden konnte⁶. Motive, die sich nicht in die fünf

⁶ In den Interviews hatte sich gezeigt, dass einige Schülerinnen und Schüler Bildschirme als Quellen sichtbarer Strahlung sehen, andere wiederum als Quellen unsichtbarer Strahlung.

Hauptkategorien zuordnen ließen (z.B. Diamanten, Menschen, Buntstifte, ...) ließen sich zum überwiegenden Teil auch hier nicht zuordnen und wurden ebenso als „fehlende Werte“ geführt.

Die Analyse der Interviews erfolgte im Hinblick auf vier Fragestellungen:

- Wie hoch war die Fehlerquote in den Interpretationen, d.h. wie oft wurde ein abgebildetes Motiv falsch erkannt?
- Unter den Schülerinnen und Schülern der sechsten Schulstufe war der Anteil derjenigen, die ausschließlich Motive sichtbarer Strahlung zeichneten, noch immer recht hoch (44,7%). Wie viel Prozent dieser Schülerinnen und Schüler gelingt es, im Zuge der Interviews ihre Vorstellungen in den unsichtbaren Bereich zu erweitern? (Gruppe 1)
- Was könnte die Ursache dafür sein, dass einige Schülerinnen und Schüler auch noch in der sechsten Schulstufe beim Strahlungsbegriff keine Verbindungen zu unsichtbarer Strahlung herstellen? Spielt dabei der Parameter ‚Interesse an Naturwissenschaften‘ eine Rolle? (Gruppe 1 und 2)
- In welchen Kontexten sammelten Schülerinnen und Schüler, die Quellen unsichtbarer Strahlung gezeichnet hatten, ihre Erfahrungen zu diesem Thema? Was geben sie als Informationsquellen an? (Gruppe 2)

4. Ergebnisse der Untersuchung

4.1 Allgemeine Auswertung

Eine allgemeine Häufigkeitsanalyse der gezeichneten Motive zeigt, dass mit großem Abstand Quellen sichtbarer Strahlung am häufigsten gezeichnet wurden. 69,7% der Schülerinnen und Schüler wählten (teilweise neben andere Motiven) das Motiv ‚Sonne‘,

was diesem Motiv einen gewichteten Anteil von 51,6% gab. Auf einem Viertel der Zeichnungen waren zudem künstliche Lichtquellen zu finden, wie z.B. Scheinwerfer, Taschenlampen oder Glühbirnen, dies entspricht einem gewichteten Anteil von 12,1%. Auch das Handy, das als Motiv auf 21,2% der Zeichnungen auftrat (Gewichteter Anteil: 11,22%), wurde von vielen Schülerinnen und Schülern mit dem Begriff ‚Strahlung‘ verbunden. Begriffe, die mit Radioaktivität in Zusammenhang stehen, wurden von 16,3% der Schülerinnen und Schüler als Motiv gewählt (Gewichteter Anteil: 9,2%). Auf 7,1% der Zeichnungen wurde ein Bildschirm, z.B. der eines PCs oder eines Fernsehers, gezeichnet, ein Motiv, das damit von verhältnismäßig vielen Schülerinnen und Schülern auch in den Zusammenhang mit ‚Strahlung‘ gebracht wird. Da aber selten ein Bildschirm als alleiniges Motiv gewählt wurde, kommt dieser Kategorie nur ein gewichteter Anteil von 3,1% zu (siehe Abb. 3).

Die durchschnittliche Kategorienanzahl pro Zeichnung betrug dabei 1,36 mit einer Standardabweichung von 0,86.

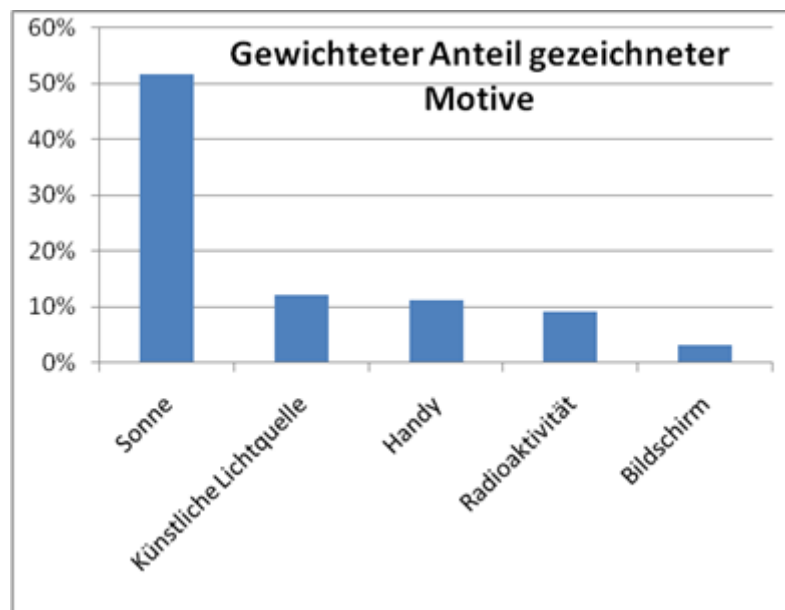


Abbildung 3 – Gewichteter Anteil der Kategorien (Rest auf 100%: „Sonstige“)

4.2 Zusammentreffen bestimmter Motive

Waren auf den Zeichnungen Motive mehrerer Kategorien zu sehen (dies war in 34% der Zeichnungen der Fall), wurden diese dahingehend analysiert, welche Motive besonders häufig gemeinsam auftraten. Wie aus Abbildung 4 ersichtlich, ist dies vor

allein für die Kombination ‚Sonne + Künstliche Lichtquelle‘ der Fall. In mehr als 20% der Zeichnungen war diese Verbindung von Motiven vorhanden. Auch die Kombination ‚Sonne + Handy‘ mit etwa 11 % bzw. ‚Sonne + Motiv im Zusammenhang mit Radioaktivität‘ mit etwa 7% wurde von einigen Schülerinnen und Schülern gewählt. Die Häufigkeit aller anderen Kombinationen lag unter 6 Prozent (siehe Abb. 4).

+	Künstl. LQ	Handy	Bildschirm	Radioakt.
Sonne	20,4%	11,0%	4,1%	7,3%
Künstl. LQ		4,3%	2,2%	2,6%
Handy			5,3%	5,9%
Bildschirm				1,0%

Abbildung 4 - Zusammentreffen der gezeichneten Motive

4.3 Einfluss des Alters der Schülerinnen und Schüler

Schlüsselt man die Daten nach den Altersstufen der Schülerinnen und Schüler auf, ergibt sich ein sehr klares Bild: Je älter die Schülerinnen und Schüler sind, desto weniger oft verbinden sie den Begriff ‚Strahlung‘ mit Quellen sichtbarer Strahlung. Andere Motive wie Handy, Atomkraftwerke und Bildschirme gewinnen stark an Bedeutung. Besonders deutlich wird das am Motiv des Handys, dessen gewichteter Anteil von 1,1% in der vierten Schulstufe auf 24,2% in der sechsten Schulstufe anwächst. Ähnliches ergibt sich bei Gegenständen, die mit Radioaktivität in Verbindung stehen: Der gewichtete Anteil solcher Motive steigt von 2,7% in der vierten Schulstufe auf 15,2% in der sechsten Schulstufe (siehe Abb. 5).

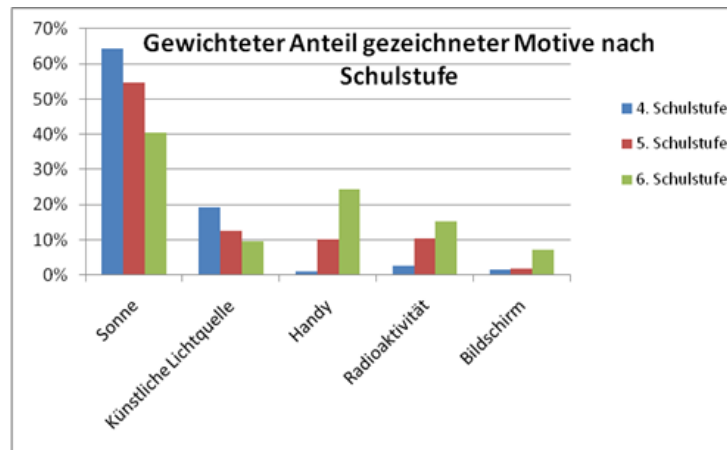


Abbildung 5 – Gewichteter Anteil gezeichneter Motive nach Schulstufe (Rest auf 100%: „Sonstige“)

Noch deutlicher werden diese Ergebnisse, wenn man die Daten dahingehend analysiert, wie viele Schülerinnen und Schüler der jeweiligen Altersstufe ausschließlich Motive gezeichnet haben, die mit sichtbarer Strahlung bzw. unsichtbarer Strahlung im Zusammenhang stehen. Hier ergibt sich ein hochsignifikanter Zusammenhang mit dem Alter der Schülerinnen und Schüler.

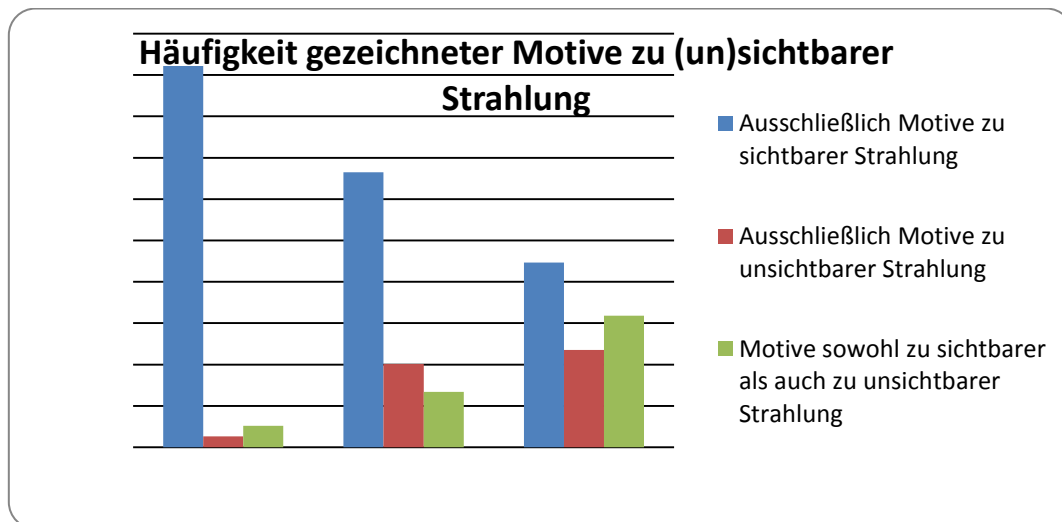


Abbildung 6 – Häufigkeit gezeichneter Motive zu (un)sichtbarer Strahlung

Während Schülerinnen und Schüler der vierten Schulstufe noch fast ausschließlich (92,9%) Motive wählen, die mit sichtbarer Strahlung im Zusammenhang stehen, trifft dies nur noch für weniger als die Hälfte (44,7%) der Schülerinnen und Schüler der

sechsten Schulstufe zu. Die erzielten Werte ergeben einen hochsignifikanten Zusammenhang ($p < 0,01$; $df=2$; $\chi^2=69,4$).

Im direkten Gegensatz dazu (siehe auch Abbildung 6) steht die ausschließliche Wahl von Motiven, die mit unsichtbarer Strahlung zu tun haben. Während in der vierten Schulstufe nur in Einzelfällen (2,6%) ausschließlich Zeichnungen angefertigt wurden, die Motive im Zusammenhang mit unsichtbarer Strahlung zeigten, so trifft dies bereits auf 23,5% der Schülerinnen und Schüler der sechsten Schulstufe zu. Auch hier zeigt sich ein hochsignifikanter Zusammenhang mit dem Alter der Schülerinnen und Schüler ($p < 0,01$; $df=2$; $\chi^2=23,3$).

Aber auch der Anteil der Schülerinnen und Schüler, die in ihren Zeichnungen sowohl Motive sichtbarer als auch unsichtbarer Strahlung zeichneten, steigt im Laufe des untersuchten Zeitraums. Während in der vierten Schulstufe nur 5,2% der Schülerinnen und Schüler dies taten, konnte in der sechsten Schulstufe schon fast in jeder dritten Zeichnung (31,8%) eine Kombination von Motiven dieser beiden Gruppen festgestellt werden. Auch hier besteht ein hochsignifikanter Zusammenhang mit der Schulstufe der Schülerinnen und Schüler ($p < 0,01$; $df=2$; $\chi^2=37,8$).

4.4 Geschlechterspezifische Abhängigkeit

Analysiert man die gezeichneten Motive nach eventuell vorhandenem geschlechterspezifischen Einfluss, zeigt sich nur bei einem Motiv eine signifikante Korrelation: Männliche Schüler verbinden offenbar den Begriff ‚Strahlung‘ häufiger mit ‚Radioaktivität‘ als Schülerinnen ($p < 0,01$; $df=1$; $\chi^2=16,7$). Obwohl das Geschlechterverhältnis über alle Schulstufen annähernd ausgewogen war, stammten mehr als doppelt so viele Zeichnungen, auf denen Motive zur Radioaktivität zu sehen waren, von Schülern wie von Schülerinnen. Bei allen anderen Motiven lässt sich keinerlei signifikanter Zusammenhang mit dem Geschlecht der Schülerinnen und Schüler feststellen.

4.5 Ergebnisse der Interviews

Die Kurzinterviews wurden vor allem bezüglich der vier in Kapitel 3.3 genannten Fragen durchgeführt, die sich bei der Analyse der Zeichnungen ergaben.

- **Wie hoch war die Fehlerquote in den Interpretationen, d.h. wie oft wurde ein abgebildetes Motiv falsch erkannt?**

In sämtlichen geführten Interviews wurden die Schülerinnen und Schüler befragt, ob ihre gewählten Motive richtig erkannt und interpretiert wurden. Dabei zeigte sich, dass nur in einem einzigen Fall ein Schüler nicht mit der Interpretation seiner Zeichnung einverstanden war. Alle anderen interviewten Schülerinnen und Schüler bestätigten, dass die Motive auf ihren Zeichnungen richtig erkannt wurden.

- **Unter den Schülerinnen und Schülern der sechsten Klasse war der Anteil derjenigen, die ausschließlich Motive sichtbarer Strahlung zeichneten, noch immer recht hoch (44,7%). Wie viel Prozent dieser Schülerinnen und Schüler gelingt es, im Zuge der Interviews ihre Vorstellungen in den unsichtbaren Bereich zu erweitern? (Gruppe 1)**

In den Interviews zeigt sich, dass unter den 39 interviewten Schülerinnen und Schülern dieser Gruppe ungefähr die Hälfte (19 Schülerinnen und Schüler) ihre Zeichnungen durch Quellen unsichtbarer Strahlung selbständig ergänzte oder im weiteren Gespräch deutlich machte, dass es auch unsichtbare Strahlungsarten gibt. Die andere Hälfte konnte zwar auch andere Motive nennen, die zur Zeichnung gepasst hätten, jedoch ergänzten sie ihre Zeichnungen nur um weitere Quellen sichtbarer Strahlung. Konfrontiert mit dem Begriff ‚Handystrahlung‘ konnte der Großteil dieser Schülerinnen und Schüler den Begriff überhaupt nicht zuordnen oder sie verbanden ihn mit der sichtbaren Strahlung, die vom Display und den Tasten ausgeht. Ein typischer Schülerkommentar dazu war: „Wenn ich das Licht ausmache, sehe ich ja, dass die Tasten leuchten, ich glaube, das ist Handystrahlung.“. Auch der Begriff ‚Radioaktivität‘ konnte von dieser Schülergruppe

meist nicht richtig eingeordnet werden. So gaben sie entweder an, diesen Begriff noch nie gehört zu haben oder meinten, der Begriff hätte etwas mit Musik und Radio zu tun.

- **Was könnte die Ursache dafür sein, dass einige Schülerinnen und Schüler auch noch in der sechsten Schulstufe beim Strahlungsbegriff keine Verbindungen zu unsichtbarer Strahlung herstellen? Spielt dabei der Parameter ‚Interesse an Naturwissenschaften‘ eine Rolle? (Gruppe 1 und 2)**

Um diese Frage zu beantworten, wurde die Gruppe der interviewten Schülerinnen und Schüler der sechsten Schulstufe in zwei Untergruppen geteilt:

- Schülerinnen und Schüler, die Motive unsichtbarer Strahlung gezeichnet hatten oder diese zumindest in den Interviews ergänzten. (n=54) – Gruppe A
- Schülerinnen und Schüler, die im Rahmen der Interviews keine Anzeichen zeigten, ihre Vorstellungen von Strahlung in den unsichtbaren Bereich zu erweitern. (n=20) – Gruppe B

Analysiert man die Antworten der beiden Gruppen auf die geschlossenen Fragen (Selbsteinschätzung des eigenen Interesses an Naturwissenschaften, Interesse an naturwissenschaftlichen Fernsehsendungen und das Lesen von naturwissenschaftlichen Büchern), so zeigt sich, dass Schülerinnen und Schüler aus Gruppe A ihr Interesse an Naturwissenschaften tendenziell etwas höher bewerteten als dies in der Gruppe B der Fall war, allerdings sind die Unterschiede nicht signifikant. Keinen klaren Unterschied gab es auch bei den Mittelwerten der anderen zwei Fragen: Beide Gruppen ähnelten sich in ihrer Vorliebe für naturwissenschaftliche Fernsehsendungen und das Lesen naturwissenschaftlicher Bücher. Die Frage nach der Ursache der unterschiedlichen Vorstellungen kann also mit Hilfe der eingesetzten Mittel nicht beantwortet werden.

- **In welchen Kontexten sammelten Schülerinnen und Schüler, die Quellen unsichtbarer Strahlung gezeichnet hatten, ihre Erfahrungen zu diesem Thema? Was geben sie als Informationsquellen zum Thema ‚Strahlung‘ an? (Gruppe 2)**

In den offen geführten Interviews wurde schließlich nach möglichen Informationsquellen zum Thema ‚Strahlung‘ gefragt. Insbesondere schien hierbei die Gruppe interessant, die im Gegensatz zu Gleichaltrigen Motive unsichtbarer Strahlung gezeichnet hatten. Alle interviewten Schülerinnen und Schüler der Gruppe 2 (n= 35) konnten Angaben zu dieser Frage machen, die häufig durch ausführliche Anekdoten ergänzt wurden. Da es für die Jugendlichen nicht möglich war zu entscheiden, was ihre erste oder wichtigste Informationsquelle war, waren Mehrfachnennungen möglich, die in der Auswertung auch nicht gereiht werden konnten. Abbildung 7 gibt einen ersten Überblick über die genannten Informationsquellen.

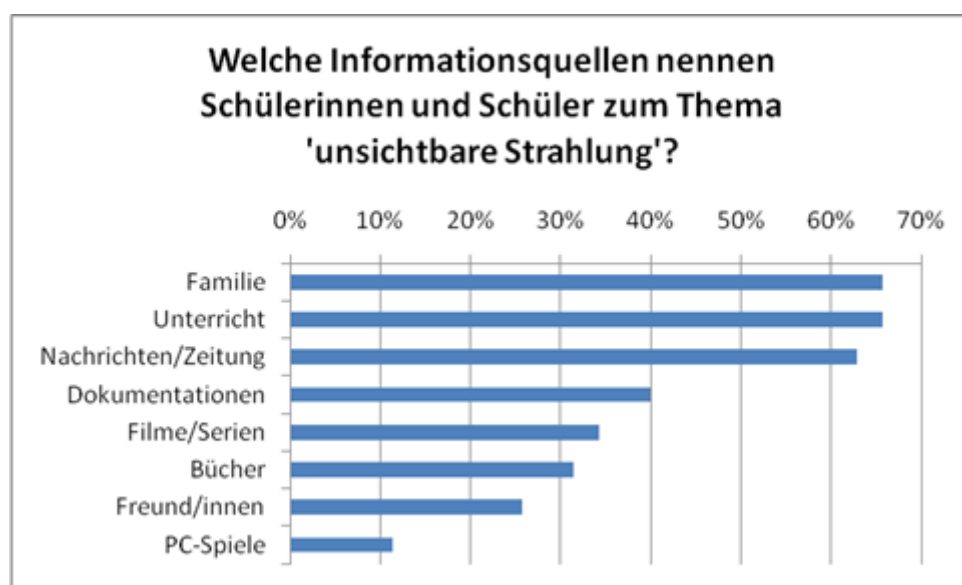


Abbildung 7 – Informationsquellen zum Thema ‚unsichtbare Strahlung‘

An erster Stelle der Wissensquellen (ca. 65%) stehen hierbei Gespräche mit Familienmitgliedern – sehr oft in Verbindung mit etwaigen Gesundheitsrisiken der Handystrahlung oder dem Unfall von Tschernobyl, der in fast allen Interviews zur Sprache kam. Einen genauso großen Einfluss auf das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler scheint nach Angaben der Schülerinnen und Schüler der Schulunterricht zu haben. Ca. 65% der interviewten Schülerinnen und Schüler gaben ihn als Grund für ihr Wissen über nicht sichtbare Strahlung an, wobei hierbei Erzählungen von Lehrkräften (v.a. über den Unfall von Tschernobyl) eine große Rolle spielen. Dabei scheint das Fach von geringem Einfluss zu sein: Viele Schülerinnen und Schüler erzählten von Berichten

ihrer Grundschul-, Geschichte- oder Deutschlehrkräfte. Als Medien, die den Schülerinnen und Schülern als Informationsquelle zu diesem Thema dienten, wurden vor allem Fernsehnachrichten und Zeitungsberichte sowie das Internet genannt. Zudem berichteten hier die Schülerinnen und Schüler oft von Diskussionen über den Neubau von Kernkraftwerken sowie von Berichten im Zusammenhang mit den Jahrestagen von Tschernobyl. Auch Gespräche mit befreundeten Gleichaltrigen waren für ein Viertel der Schülerinnen und Schüler ein Grund, ein Motiv im Zusammenhang mit unsichtbarer Strahlung zu wählen. Dabei standen in den Gesprächen neben der Handystrahlung auch Fragen des Strahlenschutzes im Vordergrund (z.B. „Wie würde meine Familie reagieren, wenn ein Kernkraftwerk explodiert?“). Selbst in typischen Freizeitaktivitäten werden Schülerinnen und Schüler offenbar mit dem Begriff ‚Strahlung‘ konfrontiert. So gaben einige Schülerinnen und Schüler an, den Begriff aus Fernsehserien wie den Simpsons oder aus Computerspielen (z.B. Sims 2, bei dem man seinen Strom im hauseigenen Atomkraftwerk erzeugen muss) zu kennen.

5. Diskussion

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zum Strahlungsbegriff sehr vielfältig sind. Das explorative Design der Studie beschränkt jedoch die Interpretierbarkeit der Ergebnisse. Zunächst ist sicherlich zu diskutieren, inwiefern die Methode der Schülerzeichnungen ein realistisches Bild von den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler vermitteln kann. Bei den interviewten Schülerinnen und Schüler der sechsten Schulstufe konnte festgestellt werden, dass die Motive zwar deren erste Vorstellungen gut wiedergaben, in vielen Fällen jedoch noch um wichtige Begriffe ergänzt wurden. Interessant wäre es auf jeden Fall noch der Hypothese nachzugehen, dass der Grund, warum vor allem jüngere Schülerinnen und Schüler Quellen sichtbarer Strahlung gezeichnet hatten, auch darin liegen könnte, dass diese noch nicht fähig sind, abstrakte Konzepte wie unsichtbare Strahlung zu Papier zu

bringen. Nichts desto trotz stellt diese Methode sicherlich eine interessante Art dar, die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu erforschen.

Der Unterschied in den Ergebnissen der verschiedenen Schulstufen wurde zwar erwartet, dass dieser jedoch so deutlich ausfällt, war überraschend. Auch die weitgehende Unabhängigkeit der Motivwahl bei Mädchen und Burschen ist ein interessantes Ergebnis der Untersuchung. Aus den Interviews lassen sich außerdem einige Hinweise darauf finden, warum das Thema ‚Radioaktivität‘ bei Burschen ein deutlich beliebteres Motiv war als für Mädchen. In den Interviews wurden von Schülern oft Katastrophenfilme und Kriegsdokumentationen erwähnt, was den Schluss nahelegt, dass ein erhöhtes Interesse dafür auch die Vorstellungen zum Strahlungsbegriff beeinflusst. Ein wenig überraschend war allgemein die Tatsache, dass das Thema offenbar weniger emotional besetzt ist als erwartet. Horrorszenarien (Atomkrieg, ‚Verstrahlung‘, ..) wurden nur von sehr wenigen Schülerinnen und Schülern als Motive gewählt – die von den Schülerinnen und Schülern als durchwegs positiv empfundene Sonnenstrahlung überwiegt in allen untersuchten Altersstufen.

Das vielfältige Bild von Strahlung, das Schülerinnen und Schüler vor einem strukturierten naturwissenschaftlichen Unterricht zu diesem Thema haben, macht die Notwendigkeit einer (nicht nur auf Physik bezogenen) fachdidaktischen Forschung in diesem Bereich deutlich. Gerade im Hinblick auf die wachsende Nutzung der Mobilkommunikation und anderer Technologien, die den Begriff ‚Strahlung‘ in den Alltag von Jugendlichen integrieren, ist davon auszugehen, dass die Schülervorstellungen in diesem Bereich einem ständigen Wandel unterworfen sind. Die schon existierenden Studien zu den Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern sollten daher um aktuelle, breit angelegte Untersuchungen, die mit verschiedensten Methoden Schülervorstellungen zum Thema ‚Strahlung‘ erforschen, ergänzt werden.

6. Ausblick

6.1 Welche Bedeutung haben diese Ergebnisse international?

Es wird vermutet, dass die Verbindung der Begriffe ‚Strahlung‘ und ‚Sonne‘ zu einem großen Teil von der deutschen Sprache beeinflusst wird. Im Hinblick auf den alltäglichen Gebrauch des Wortes „Sonnenstrahlung“ und der Phrase „die Sonne strahlt“ scheint der hohe Prozentsatz an Schülerinnen und Schülern der vierten Schulstufe, die Strahlung mit Sonne verbinden, nicht überraschend.

Interessant wäre es daher, diesem Aspekt in einer interkulturellen Studie nachzugehen. Was verbinden Schülerinnen und Schüler anderer Länder mit dem Wort, das in ihrer Sprache im physikalischen Kontext für ‚Strahlung‘ verwendet wird (z.B. dem türkischen ‚radyasyon‘, dem französischen ‚rayonnement‘ oder dem niederländischen ‚straling‘)? Vermutet wird, dass die Wahl der Motive, die Schülerinnen und Schüler zeichnen, stark davon abhängt, in welcher Form der jeweilige Begriff für ‚Strahlung‘ auch in der Alltagssprache verwendet wird. Möglicherweise zeichnen Schülerinnen und Schüler aus Ländern, in denen der Fachbegriff für Strahlung kaum im Alltag verwendet wird (z.B. das englische ‚radiation‘) vermehrt Motive, die mit unsichtbarer Strahlung zu tun haben.

Da der sprachliche Einfluss im Rahmen dieser Studie nicht untersucht werden konnte, können zu dieser Frage keinerlei Aussagen getroffen werden.

6.2 P-prims zum Thema ‚Strahlung‘

Da Schülervorstellungen zum Thema ‚Strahlung‘ noch kaum erforscht sind, wäre ein nächster Schritt, ausführliche Interviews mit Schülerinnen und Schülern zu führen, die bereits mit diesem Thema im naturwissenschaftlichen Unterricht konfrontiert worden sind. Folgt man dem Forschungsansatz von diSessa (siehe Kapitel 1.1), würde es eventuell durch weitere Untersuchungen gelingen, p-prims zum Thema ‚Strahlung‘ ausfindig zu machen und deren Verbreitung bei Schülerinnen und Schülern zu dokumentieren.

6.3 Konsequenzen für den Unterricht

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sollten bei der Einführung des Strahlungsbegriffs im Physikunterricht berücksichtigt werden. So gibt es selbst bei Schülerinnen und Schülern derselben Schulstufe immense Unterschiede in ihren Vorstellungen zu diesem Thema. Der Lehrkraft muss bewusst sein, dass das Vorwissen der einzelnen Lernenden hier vermutlich stark differiert. Keinesfalls kann davon ausgegangen werden, dass Jugendlichen bereits die große Bandbreite des Strahlungsbegriffs bewusst ist, im Gegenteil: Viele Schülerinnen und Schüler, auch noch solche der sechsten Schulstufe, verbinden trotz der medialen Allgegenwärtigkeit von Begriffen wie ‚Handystrahlung‘ und ‚radioaktive Strahlung‘ mit diesem Begriff vor allem die Sonne. Andererseits erscheint dies für den Physikunterricht nicht unbedingt negativ, sollten Schülerinnen und Schüler doch über die Fähigkeit verfügen, sowohl unsichtbare als auch sichtbare Strahlungsarten mit dem physikalischen Strahlungsbegriff zu verbinden. Insofern bietet die deutsche Sprache möglicherweise einen Vorteil, wenn man Schülerinnen und Schüler höherer Schulstufen zu einem differenzierten Bild von Strahlung leiten will.

Aus den Ergebnissen lässt sich insbesondere die Notwendigkeit ableiten, auch schon im ersten Jahr des Physikunterrichts auf dieses Themengebiet einzugehen, da durch die Interviews deutlich hervorkam, wie unsicher manche Schülerinnen und Schüler bei diesem Thema sind und wie groß ihr Bedürfnis nach mehr Information darüber ist. Der naturwissenschaftliche Unterricht muss hier seiner Aufgabe als wichtige und objektive Informationsquelle gerecht werden, keinesfalls sollte dieses Feld den Medien überlassen werden.

Mag. Susanne Neumann

Universität Wien, AECC Physik

Währinger Straße 17, 1090 Wien

susanne.neumann@univie.ac.at

Susanne Neumann ist Universitätsassistentin am Österreichischen Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik (AECC Physik) und unterrichtet seit 9 Jahren an einem Wiener Gymnasium. Ihre Dissertation zum Thema ‚Schülervorstellungen über Strahlung‘ wird vom Leiter des AECC Physik, Prof. Martin Hopf, betreut.

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf

Universität Wien, AECC Physik

Währinger Straße 17, 1090 Wien

martin.hopf@univie.ac.at

Martin Hopf ist Leiter des Österreichischen Kompetenzzentrums für Didaktik der Physik der Universität Wien.

Literatur

Asghar, A., Libarkin, J. C., & Crockett, C. (2001). Invisible Misconceptions: Student understanding of ultraviolet and infrared radiation, GSA Annual Meeting.

Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1994). Children's Ideas about Radioactivity and Radiation: sources, modes of travel, uses and dangers. *Research in Science and Technological Education*, 12(2), 145-160.

diSessa, A. A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(2/3), 105-225.

- diSessa, A. A. (2008). A bird's-eye view of the "pieces" vs. "coherence" controversy (from the "pieces" side of the fence). In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 35-60). New York: Routledge.
- diSessa, A. A., Gillespie, N., & Esterly, J. (2004). Coherence vs. Fragmentation in the Development of the Concept of Force. *Cognitive Science*, 28, 843-900.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Duit, R. (2009). Bibliography - Students' Alternative Frameworks and Science Education Retrieved Jan 04, 2013 <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>
- Eijkelhof, H. (1990). Radiation and Risk in Physics Education. Unpublished Doctoral dissertation, Utrecht.
- Finson, K. D., Beaver, J. B., & Cramond, B. L. (1995). Development and Field Test of a Checklist for the Draw-A-Scientist Test. *School Science and Mathematics*, 95(4), 195-205.
- Hammer, D. (1996). Misconceptions or p-prims. How might alternative perspectives of cognitive structure influence instructional perceptions and intentions. *Journal of the Learning Sciences*, 5(2), 97-127.
- Holthusen, K. (Ed.). (2004). *Konzepte zur Nachhaltigkeit. Analyse von Schülervorstellungen zum Thema Nachhaltigkeit am Beispiel Wald durch Zeichnen im Biologieunterricht*. Dissertation. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Hope, G. (2008). *Thinking and Learning Through Drawing In Primary Classrooms*. London: Sage Publications Ltd.
- Ioannides, C., & Vosniadou, S. (2001). The changing meanings of force. *Cognitive Science Quarterly*, 2(1), 5-62.
- Ioannidis, G. S., & Spiliotopoulou, V. (1999). Children's drawings and stories about energy. In M. Komorek, Behrendt, H., Dahncke, H., Duit, R., Graeber, W., Kross, A. (Ed.), *Research in Science Education - Past, Present, and Future Vol.1* (pp. 95-97). Kiel: IPN Kiel.
- Köse, S. (2008). Diagnosing Student Misconceptions: Using Drawings as a Research Method. *World Applied Sciences Journal*, 3(4), 283-293.

- Lijnse, P. L., Eijkelhof, H. M. C., Klaassen, C. W. J. M., & Scholte, R. L. J. (1990). Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12(1), 67 - 78.
- Markic, S. (Ed.). (2008). *Studies on freshman science student teachers' beliefs about science teaching and learning*. Aachen: Shaker.
- Matthews, M. (1997). Introductory comments on philosophy and constructivism in science education. *Science & Education*, 6(1-2), 5-14.
- Millar, R., & Jarnail Singh, G. (1996). School students' understanding of processes involving radioactive substances and ionizing radiation. *Physics Education*, 31(1), 27-33.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1978). Junior High School pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education*, 62, 273-281.
- Rego, F., & Peralta, L. (2006). Portuguese Students' Knowledge of Radiation Physics. *Physics Education*, 41(3), 259-262.
- Rennie, L., & Jarvis, T. (1995). Children's choice of drawings to communicate their ideas about technology. *Research in Science Education*, 25(3), 239-252.
- Riemeier, T. (2005). Schülervorstellungen von Zellen, Teilung und Wachstum. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 41-56.
- Riesch, W., & Westphal, W. (1975). Modellhafte Schülervorstellungen zur Ausbreitung radioaktiver Strahlung. *Der Physikunterricht*, 9, 75-85.
- Sadler, P. M., Schneps, M. H., & Woll, S. (1989). *A private universe*. Santa Monica, CA: Pyramid Film and Video.
- Schuster, M. (1990). *Psychologie der Kinderzeichnung*. Heidelberg: Springer.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 3-34). New York: Routledge.
- White, R. T., & Gunstone, R. F. (1992). *Probing understanding*. London, New York: Falmer.

B. Neumann, S., & Hopf, M. (2012). Students' Conceptions About 'Radiation': Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students. *Journal of Science Education and Technology*, 1-9, doi:10.1007/s10956-012-9369-9. – published

Students' Conceptions about 'Radiation' - Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students

Susanne Neumann

University of Vienna, Austrian Educational Competence Centre Physics

Porzellangasse 4/2, 1090 Vienna, Austria

susanne.neumann@univie.ac.at

Martin Hopf

University of Vienna, Austrian Educational Competence Centre Physics

Porzellangasse 4/2, 1090 Vienna, Austria

martin.hopf@univie.ac.at

One basis of good teaching is to know about your students' preconceptions. Studies about typical ideas that students bring to the science classroom have been and continue to be a major field in science education research. This study aims to explore associations and ideas that students have regarding 'radiation', a term widely used in various fields and necessary to understand fundamental ideas in science. In an explorative study, the perceptions of 50 high school students were examined using semi-structured interviews. The students were 14 to 16 years old and were chosen from 7 different high schools in an urban area in Austria. Following an interview guideline, students were asked about

their general associations with the term 'radiation' as well as about their general understanding of different types of radiation. A qualitative analysis of these interviews following the method of Flick (2009) revealed that the students' associations were, to a great extent, very different from the scientific use of the term. Several conceptions that could inhibit students' learning processes could be identified. Consequences for the teaching of the topic 'radiation' in science lessons, which are based on these preconceptions, are presented in the conclusion.

radiation – students' conceptions – interviews – UV – infrared

Introduction

In their daily lives, children are frequently confronted with the term 'radiation'. Media reports about nuclear energy, warnings about UV radiation in tanning booths and the on-going discussion about the potential hazards of mobile phones - all of these issues include the term 'radiation' in various contexts. In most countries, children are not presented with an accurate scientific explanation of radiation (e. g. by discussing different types of radiation and introducing the electromagnetic spectrum) until higher school levels.

This seems to be in stark contrast to the fact that many aspects of the topic radiation are well suited for implementing STS (Science, Technology and Society) in science classes (for more on STS cf. Bybee, 1987; DeBoer, 2000). Discussions of nuclear issues, mobile phone radiation, research on infrared scanners, different sources of UV and various uses of radiation in medicine are all possible examples of topics to explore. The benefit of topics like these is that a good foundation in basic physics is necessary in order to understand how these devices work and in order to be able to give reasons why radiation, in these contexts, is harmful or harmless to the human body.

To achieve this aspired knowledge about radiation, students should be provided with learning opportunities that enable them to integrate what they have learned in the classroom with their previous knowledge. This is why we consider it an important task to

collect evidence about widely held beliefs about 'radiation'. Researchers, as well as teachers and curriculum developers should be provided with information about what students in secondary school associate with this term and what conceptions they already have (either formally from school or through their social environment). In a constructivist approach (see e.g., Duit & Treagust, 2003), we assume that only if teachers are aware of these conceptions, they can improve their teaching by taking these students' ideas into account.

Previous Findings

In the context of educational research, students' conceptions are described as "the learner's internal representations constructed from the external representations of entities constructed by other people such as teachers, textbook authors or software designers." (Treagust & Duit, 2008b). Research about these conceptions has become one of the most prominent fields of science education in the last decades (cf. Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994). Studies about preconceptions are abundant, well-documented (cf. Duit, 2009) and range from context-related surveys (e.g., about mechanics, acids or evolution) to students' conceptions on a meta-level (e.g., nature of science or opinions about their own learning processes). Results from research about the status of students' conceptions as well as articles about the theoretical basis of conceptual change are numerous (Find an overview in: Treagust & Duit, 2008b). An essential part in this discussion is the question how students' conceptions should be addressed in science teaching. The classical approach by Posner et al. (1982) suggested confronting students with their misconceptions and provoking dissatisfaction. As studies have shown that mere confrontation does not seem to be sufficient to guarantee conceptual change, three criteria for students' conceptions (intelligibility, plausibility and fruitfulness) have been extracted. These criteria have also been used in empirical studies to characterize students' conceptual status and provide insight into students' conceptual change (e.g., Hewson, 1992; Tsui & Treagust, 2007). While a lot of the ongoing theoretical discussion on conceptual change focuses on cognitive dimensions, Zembylas (2005) argues for an equal status of emotional aspects in this field of research.

In spite of this abundance of publications in the field of students' conceptions, studies about children's ideas of 'radiation' are, in general, very rare compared to other topics⁷. In addition to that, most research focuses on students' conceptions about ionizing radiation, especially nuclear radiation. This research was mainly done when public discussions about nuclear energy began or nuclear accidents renewed researchers' interest in it. It can be assumed that the first study of students' conceptions on ionizing radiation was done by Riesch and Westphal (1975), who interviewed students (n = 58) about their knowledge of radioactive sources and about their propagation and the effects of radiation emitted by them. They found that students did not have a clear model of 'radiation', and that they confused the dissipation of radioactive sources with the process itself. Boyes and Stanisstreet (1994) arrived at a similar outcome in their study using questionnaires (n = 1365) and interviews (n = 60). Their results also showed that students confused the effects of ionizing radiation with other environmental issues like the ozone layer and the greenhouse effect. The fact that students cannot clearly distinguish between the terms 'irradiation' and 'contamination' was discovered in the studies done by the workgroups of Eijkelhof and Millar (Eijkelhof, Klaassen, Lijnse, & Scholte, 1990; Millar & Jarnail Singh, 1996; Millar, Klaassen, & Eijkelhof, 1990), who also traced back some of the misconceptions to unclear media reports by analyzing media releases in detail. Acar Sesen and Ince (2010) took this research to the next step and found out that several scientifically incorrect conceptions about ionizing radiation could be found in internet sources that students used for gathering information.

As far as non-ionizing radiation is concerned, only a few studies about students' conceptions could be found in relevant databases, such as STCSE, ERIC and the Web of Knowledge. Asghar et al. (2001) investigated students' ideas of UV and IR. They used questionnaires for examining a total of 283 US-students in grades 6-12. As a follow-up, they conducted in-depth interviews and a panel discussion. Amongst other findings, they reported that students could not identify IR and UV as types of electromagnetic radiation and often confused the effects of IR and UV with those of visible light. Asghar

⁷ In this literature review, we do not address students' conceptions about visible radiation. In the field of optics, numerous studies about students' ideas can be found (e.g., Galili & Hazan, 2000; Guesne, 1985; Jung, 1987; Watts, 1985)

et al. also included teachers in their study and found that some of these teachers, as well as the students, did not have a clear understanding of this topic.

A Portuguese study (Rego & Peralta, 2006), based on the quantitative analysis of questionnaires (n = 1246), focused on the students' knowledge of radiation in general. In the first part of the questionnaire, students were asked to answer general questions about radiation (e.g., "Have you ever heard of natural radioactivity?") and to identify types of radiation and radiation sources that they were familiar with. In the second part, they were asked to agree or disagree on a five-point scale with certain statements about radiation (e.g., "Radiation can induce cancer but can also cure it."). It became clear that most students are not familiar with the term 'ionizing radiation' and that natural sources of radiation, other than the Sun, were hardly known to them at all.

A first approach in investigating what younger students (9 to 12 years old) associate with the term 'radiation' in general, was provided in an explorative study using children's drawings (Neumann & Hopf, 2011b). Primary and secondary school students (n = 509) were asked to draw what comes to their minds when confronted with the term 'radiation'. One of the main results was that the students' associations depended, to a great extent, on their age. Younger students frequently drew sources of visible radiation, such as the Sun or light bulbs. The older the students were, the more frequently they chose sources of invisible radiation, such as nuclear power plants or mobile phones, as their motifs.

Research Questions

Considering these previous findings, it can be summarized that research about students' conceptions on the topic of 'radiation' is, in general, very limited. In addition to that, the topic of non-ionizing radiation has hardly been addressed at all. Studies about students' conceptions of UV, IR or radiation with lower frequencies are extremely rare. The weakest point, however, seems to be that most of the studies date back to the 1990s or even earlier. Due to current media coverage of issues related to 'radiation', it seems

possible that students' conceptions today are different and more diverse than they were decades ago. This assumption assigns importance to up-to-date results.

As a result of this lack of contemporary research, we planned an explorative study about students' ideas and associations with the term 'radiation'. The following research questions guided us in our study:

- What do Austrian students at the end of their compulsory education associate with the term 'radiation'?
- What conceptions do these students have about certain types of radiation?
- Which conceptions discovered in previous studies are still prevalent, which new conceptions can be found?

Research Method

In order to investigate these research questions, we used semi-structured interviews. As the focus was put on the conceptions students have at the end of their compulsory education (in Austria, this is after 9 years of schooling), fifty 9th grade students in 7 Austrian schools were interviewed. We chose this school level because it is possible for Austrian students to complete their school career after grade 9 and enter the workforce. For this reason, the results are interesting in two ways: First, the conceptual level of students at the potential end of their school careers can be investigated. Second, the results of this study aim at teachers of higher secondary schools to get an impression of the knowledge of their future students. All students interviewed, as well as their parents, had given their informed consent in written form. The students interviewed were 14 to 16 years old ($M = 15.10$, $SD = .614$). The proportion of girls to boys can be considered representative, whereas the choice of schools cannot be seen as a random sample because most of the schools were situated in an urban environment. We tried, however, to include schools of different types and different socio-cultural environments. The semi-structured interviews, which lasted 10-15 minutes, followed an interview

guideline consisting of both open and closed questions. Questions from the interview guideline included⁸:

- What words come to your mind when you hear the word 'radiation'?
- What feelings and emotions come up when you hear the word 'radiation'?
- I am going to show you pictures of different objects. Which of these objects do you associate with the term 'radiation'? Why?
- I am going to list some specific types of radiation. Please tell me whether or not you have heard of them, in what context you have heard of them, and if you think these types of radiation are harmful. Can they be detected by the human eye?
- You read in a magazine that all objects emit radiation. Do you think this could be true? Why (not)?

All interviews were conducted in the German language (which could have had a large impact on some of the results, see the chapter 'Discussion'). The interviews were recorded, partially transcribed, and analyzed quantitatively or qualitatively, depending on the type of question. Categories for quantitative analysis were created by the research team and peer-validated with other researchers in science education. The qualitative results were obtained by content analysis of the transcribed interviews, following the procedure described by Flick (2009) and Mayring (2010) and specified for science education research by Gropengießer (2008).

Findings

Spontaneous associations and emotions regarding 'radiation'

The analysis of the opening question about students' spontaneous associations with the term 'radiation' revealed that, for many of the students interviewed, this term had various meanings. More than half (58%) listed words relating to the category 'nuclear radiation' (e.g., nuclear power plants, Chernobyl, nuclear fission, alpha/beta/gamma-

⁸ The complete questionnaire can be found in the appendix of this article.

radiation). Also, 54% mentioned words related to ‘solar radiation’ (e.g., sunshine, light, ray of sunlight, ...), 28% included the term ‘UV’ in their list of words and 24% mentioned mobile phones. As can be deduced from the figures above, most of the students associated words belonging to more than one category. It is remarkable, however, that 20% of the students exclusively listed terms belonging to the category ‘nuclear radiation’, which demonstrates a rather limited view of the term ‘radiation’. (see Fig. 1)

How many students listed terms in the context of ...	...exclusively?	...with terms of other categories?	...in total?
... nuclear radiation...	20%	36%	56%
... the Sun...	14%	40%	54%
... UV...	4%	24%	28%
... mobile phones...	4%	20%	24%

Fig. 1 Percentages of students who listed terms of specific categories

When asked about the feelings they had when confronted with the word ‘radiation’, the results were fairly clear: The majority of the students (52%) interviewed described their feelings as negative, most of them mentioning their fear in respect to nuclear radiation or potential risks of mobile phone radiation. Only about half as many students (28%) described their feelings as mixed, mainly because they not only see the dangers of certain types of radiation, but also the brightness and warmth of sunlight or beneficial applications in technology and medicine associate with the term. A minority of the students (16%) described their feelings as positive – none of these students had listed any words related to nuclear radiation in the previous question.

General conceptions about ‘radiation’

In addition to these quantitatively analyzed questions, the students interviewed were also asked to freely talk about their conceptions of the term ‘radiation’. This part of the interview was initiated by showing them 18 pictures of everyday objects⁹ (e.g., kids

⁹ For a description of these cards see the appendix of this article.

playing a videogame, a dog, a factory, a campfire, an MP3-player). They first were asked to decide if these pictures have something to do with 'radiation' and to give reasons. Following this assignment, most of the students started freely talking about their conceptions. The most prevalent students' conceptions found by a qualitative content analysis were the following:

- Radiation is not natural.

The conception of radiation as being something artificial and man-made was found amongst many of the interviewed students. They stated, for instance, that radiation does not occur naturally and that you will be exposed to less radiation the further you are away from industries and cities. Several students separated the cards given to them into two categories: what they considered to be natural (e.g., a flower, a dog, a camp fire, stars ...), and what they considered to be artificial (e.g., a factory, a laser pointer, electrical devices ...). Then they stated that they had created these groups because natural objects do not emit radiation.

- Light is different than radiation.

A lot of students mentioned that light sources such as the Sun or light bulbs emit light but not radiation. Some also stated that radiation can be made visible by focusing it with a lens, a process which some students claimed happens inside a laser pointer. In general, there were very few students who described light as a type of radiation.

- All electrical devices emit harmful radiation.

During the interviews it became obvious that, in the opinion of many students, all electrical devices emit some kind of dangerous radiation. The students were confronted with pictures of various electrical devices, such as a mobile phone, an MP3-player and a TV screen, which some of them grouped into one category which they labeled as 'dangerous radiation emitters'. Some of the students mentioned popular rules regarding the handling of mobile phones. They told us, for instance, that their parents made them switch off their mobile phones while they are sleeping. Some of the students, however, also applied these rules to all other electrical devices and said that they would rather not carry their MP3-players in their pants pockets. One student also mentioned that, as

opposed to 100 years ago, all of us are surrounded by so many things that emit harmful radiation – to give examples he listed all kinds of electrical devices.

- Radiation is responsible for many environmental problems.

This is a students' conception which had also been detected (at least regarding ionizing radiation) by Boyes and Stanisstreet (1994). Some of the students interviewed said that radiation was to blame for things like the hole in the ozone layer, climate change, or pollution. There were also others who stated that factories and cars emit radiation (while pointing at the smoke from the factory's chimneys and exhaust fumes from the car which were shown on the cards).

- Radiation is the same as radiating particles.

This conception, which seems to be the basis for a lot of other misconceptions, such as confusing irradiation and contamination (cf. Lijnse et al., 1990), was also found among the students we interviewed. One student, for instance, stated that after a nuclear accident you should try to hunker down and reduce the area exposed to radiation so that as little radiation as possible is able to stick to your clothes. Another student mentioned that in this instance the wearing of a rain coat is advisable so that the radiation can be washed away later.

- Radiation is emitted by living creatures and helps us detect feelings.

The idea that people and animals emit a sort of 'emotional' radiation is a students' conception that most surprised us. From the descriptions of the students, it appeared to us that this emotional radiation could be understood similar to the esoteric concept of an 'aura'. In the interviews, some of the students said that this kind of radiation was a way to find out about the emotional status of other people or their pets. One student, for instance, mentioned that this kind of radiation helps her know how her dog is feeling. However, most of these students who believe in this kind of 'aura' also admitted that there is no scientific way of detecting or measuring this kind of radiation.

Recognition and understanding of specific types of (electromagnetic) radiation

Students were also asked whether or not they had already heard of specific types of (electromagnetic) radiation, where they had heard of them and whether or not they thought these types of radiation were harmful. In addition to that, they were asked if some types of radiation could be detected by the human eye. The results show that most types of (electromagnetic) radiation were well-known to the students (most were recognized by over 90% of the students). Many of them, however, seemed to have major problems identifying light as a form of radiation: Nearly half of the students interviewed (48%) indicated that they had not yet heard anything about visible radiation or that they were not sure about it (see Fig. 2).

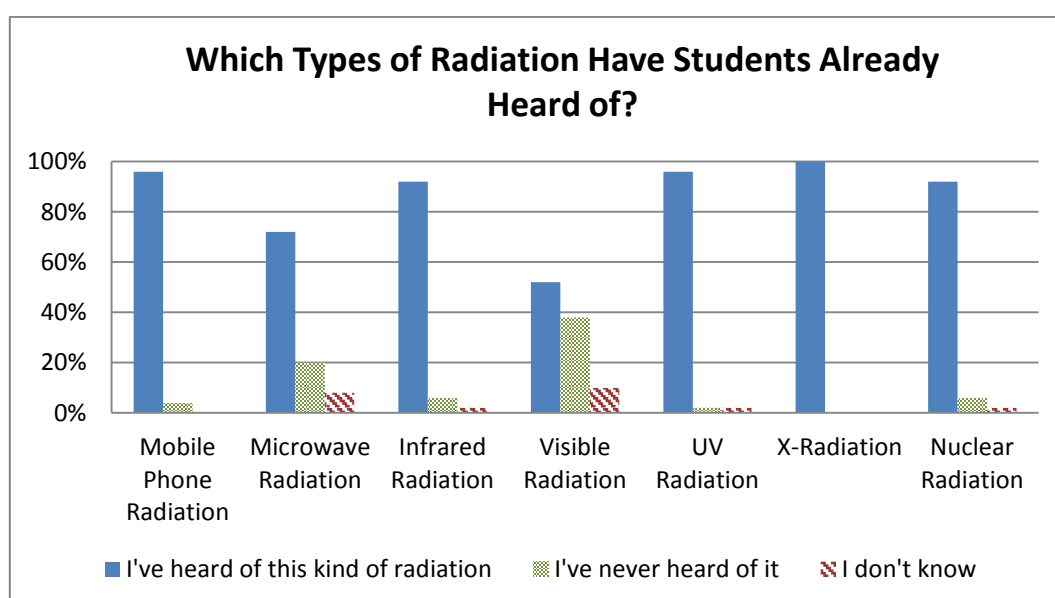


Fig. 2 Recognition of specific types of (electromagnetic) radiation

Relating to infrared radiation, the students were also confronted with the question of whether or not they thought it was visible to the human eye. The vast majority of the students (85%) correctly said that IR was invisible whereas only 60% of the students were able to identify UV as invisible. The question regarding where the students had previously heard about these kinds of radiation could help explain this discrepancy.

An overwhelming majority (see also Fig. 3) indicated that the students knew IR because of its use in transmitting and receiving data from their mobile phones¹⁰. As this is clearly a source of invisible radiation, this could explain why students did not have problems identifying IR radiation as being invisible to the human eye. Some students, however, got confused when they were asked about the visibility of IR radiation. As some of them also associated infrared radiation with IR lamps and IR booths, which emit IR as well as visible red light, some of the students stated that visibility depends on the source of the IR radiation.

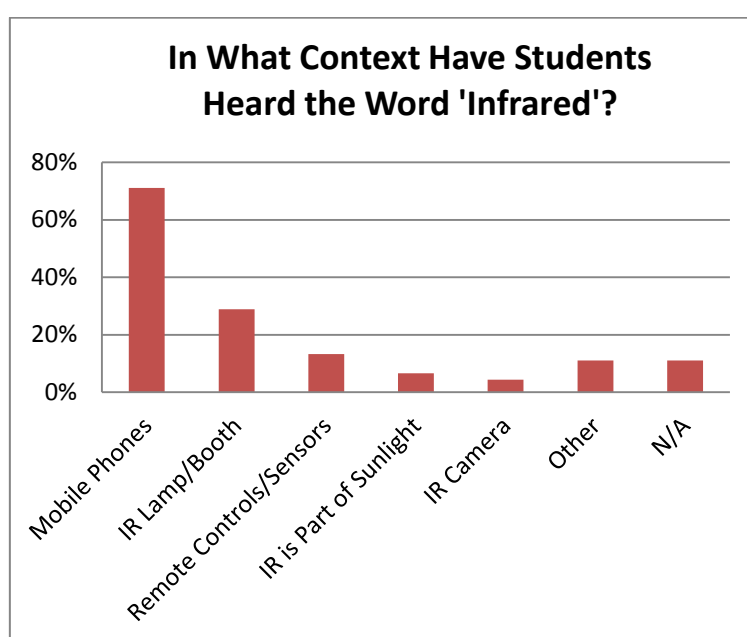


Fig. 3 In what context have students heard the word 'infrared'?

For UV radiation, the question of visibility was not that easy to answer: Forty percent of the students interviewed stated they were not sure about it or incorrectly said that UV radiation was visible. The students' associations with UV radiation might also help us understand why it could be more difficult to judge the visibility of UV radiation than that of IR radiation. When asked about where they had heard the word 'UV', 50% of the students mentioned that UV is part of the radiation that comes from the Sun (see also Fig. 4). Many students also associated words like 'cancer', 'sunblock' or 'tanning booths' with it. Other applications of UV radiation, such as black lights in clubs, using it for

¹⁰ Note that the interviews were conducted in May/June 2010, when IR interfaces were still widely used in mobile phones.

detecting fingerprints, or security features in ID cards were also mentioned. When considering the fact that the sources that are used for all of these applications also emit visible blue radiation, it becomes understandable why students have difficulties in determining the invisibility of UV radiation.

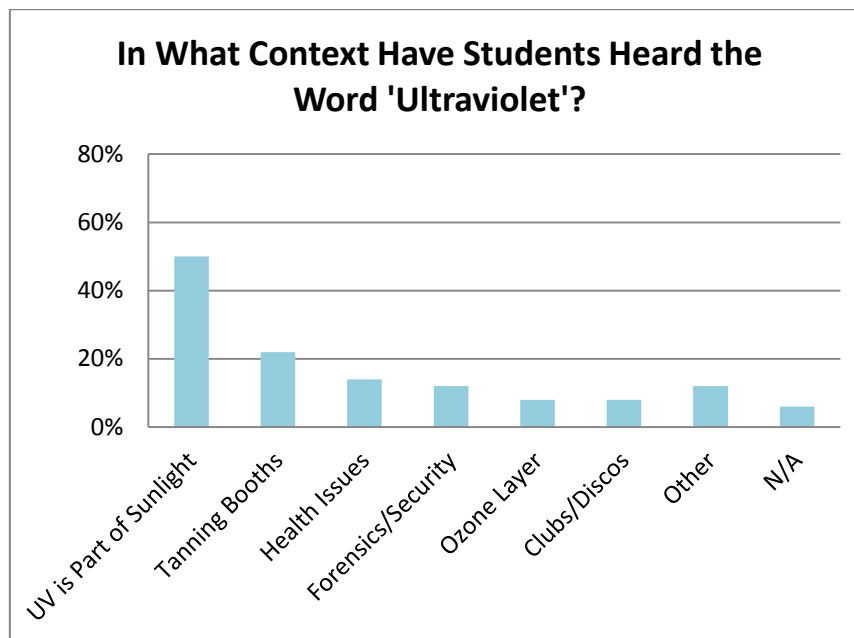


Fig. 4 In what context have students heard the word ,UV'?

Risk perception of different types of (electromagnetic) radiation

Also in this context, the students interviewed were asked about their conception of risk potential of different types of radiation. The results can be seen in Fig. 5.

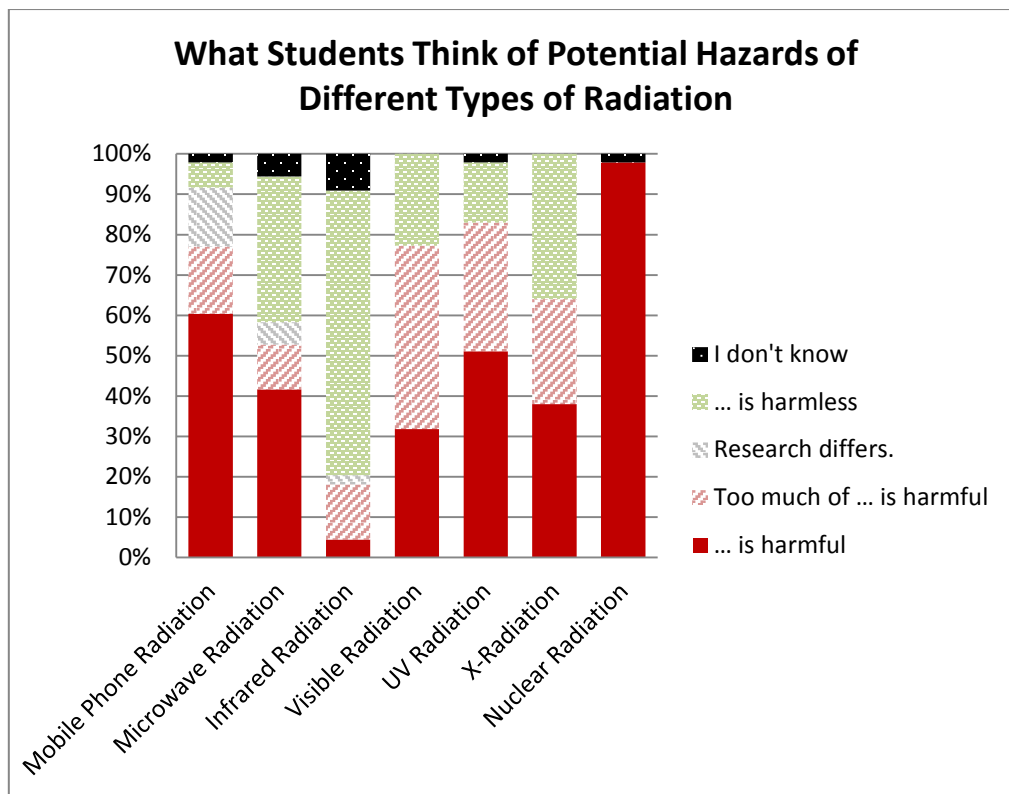


Fig. 5 Students' conceptions of risk potential of radiation

Some results from this analysis are to be highlighted:

There seems to be a wide consensus among the students interviewed about the harm of nuclear radiation. The vast majority (49 out of 50 students) stated that they consider nuclear radiation to be harmful, irrespective of the dose.

A significant number of students (36%) indicated that, in their opinion, X-rays are harmless. Some of them explained their statement by saying that something which is widely used in medicine can't possibly be harmful to the human body.

Nearly three quarters of the students were of the opinion that infrared radiation is harmless to the human body, regardless of the amount. A possible explanation for that will be given in the discussion section of this article.

The students' answers about mobile phone radiation showed the following results: Sixty percent of the students clearly stated that it is harmful, another 17% indicated that too much of this radiation is harmful. Fifteen percent of the students interviewed

commented that they consider it a contentious issue about which researchers are not yet sure. Only 6% of the students said that mobile phone radiation is harmless in their opinion.

Is thermal radiation plausible for students?

In the last question, the students were asked to comment on a statement that can be read in many physics textbooks: “Every object emits radiation.” This fact is crucial to a substantiated understanding of energy and heat transfer. Following the Austrian science curriculum, it can be assumed that most of the 9th grade students who were interviewed had not yet discussed electromagnetic radiation in detail. This gave us a great opportunity to examine whether or not these students would find the statement to be plausible. Although about a quarter of the students said that they would agree with this statement, only 1 out of the interviewed 50 students was able to explain the statement using the concept of ‘thermal radiation’. Some students agreed that it was a correct statement because they believed the term ‘radiation’ referred to nuclear radiation and they blamed environmental problems on the irradiation of our surroundings. About half of the students interviewed (the remaining quarter did not answer the question) stated that they found the statement, “Every object emits radiation.” unbelievable. When giving reasons for their decision, a lot of the previously mentioned students’ conceptions were repeated. Some students, for instance, said that radiation was something artificial and that it’s impossible for natural materials like wood or water to emit radiation. Other students explained their disagreement with the statement by stating that only electrical devices could emit radiation and that, without being connected to a power supply, it would be impossible for things to radiate. Statements of the other extreme could also be found. According to some students, only living things could emit radiation – inorganic materials could not possibly radiate.

Discussion

The analysis of the 50 interviews detected a wide range of students' conceptions about radiation, some of which had been partially found in previous studies, some of which were new.

The students' spontaneous associations with the term 'radiation' have shown a broad spectrum of semantic fields. In the context of teaching science, it seems very important to be aware of these associations – especially the fact that there are also some students whose associations are limited to nuclear radiation¹¹. Concerning these associations, one major issue that has to be discussed here is also the question of whether or not the German language influenced the results. It appears very clear to us that, especially in the context of the associations, language does play an important role. It seems highly probable that students of other countries with other native languages would have answered differently when asked about their associations with the term 'radiation'. In the German language the term 'Strahlung', which means radiation, is often used in everyday language when talking about the Sun. The sentence "The Sun is shining", for instance, could be translated into German as "The Sun is radiating". This could explain why so many students interviewed associated the Sun when confronted with the term 'radiation'. Results from these questions are, thus, able to show the enormous impact of language on students' associations.

Furthermore, the study shows interesting results regarding the features of different kinds of radiation. It was revealed that students' opinions about the visibility and potential hazards of certain kinds of radiation were strongly influenced by their associations.

Students, who associated infrared radiation with the signal transfer of their cell phone, for instance, clearly stated that this kind of radiation was invisible to the human eye. Students, whose first associations with infrared radiation were related to heat lamps

¹¹ This seems to be especially remarkable at first sight, as Austria does not have any nuclear power plants. As a result, the Austrian public as well as Austrian media appear to be very concerned about the nuclear power plants in the neighbor countries with the result of a high level of media coverage about nuclear energy.

and booths, however, tended to describe IR as 'red' and therefore visible. Also when asked about their opinions of the potential hazards of radiation, students seemed to be largely influenced by specific associations. Students, who stated that they knew the term UV-radiation because it is used in detecting security features in bank notes, for instance, tended to rate the risk much lower than those who associated UV-radiation with tanning booths.

Comparing these results with the findings of Asghar et al. (2001), it is obvious that the associations found for UV in our study are very similar to the results by Asghar et al. They reported that most students were aware that the Sun is a source of UV radiation and frequently associated words like 'skin damage' and 'ozone layer' with this term. However, associations with positive effects or applications of UV, similar to our results, were not prevalent.

In contrast to Asghar et al., the students who were interviewed in our study had a rather clear concept of the nature of IR. Although hardly anyone described it as a type of electromagnetic radiation, nearly all of them considered themselves familiar with the term and could indicate where he/she had heard of it. Most students also answered correctly that IR was invisible to the human eye. The previously described students' associations could offer a good explanation for the inconsistency of the two studies. It seems plausible that students of today are confronted with the term 'IR' in their surroundings more often than a decade ago, and that most of them know about invisible ways of transferring signals via IR. On the other hand, it should be expected that these ideas will continue to change. As some of the interviewed students already described IR as an outdated technology for mobile phones, the answers of future students might differ greatly from our results.

Concerning the potential hazards of infrared radiation, most students rated IR as harmful, independent of the dose. One possible explanation for this finding can, again, be proposed when considering the connections that students associate with the term 'infrared'. As previously reported, most students know IR as a transmission technology for signals (in mobile phones and remote controls) and as heat lamps and booths. As

students obviously associate situations in which they are only exposed to low doses of IR, the further mentioned result seems to be comprehensible.

One of the most important results of our study appears to be the students' ideas that we found in the analysis of the open questions. When comparing our results to the study of Rego and Peralta (2006), the students' ideas, which were examined in both studies, are, to a large extent, compatible. When asked to identify types of radiation which they had already heard of, the Portuguese students, as well as the Austrian students in our study, showed a very high level of knowledge concerning X-rays, UV and IR. Visible radiation, however, seemed to be unfamiliar to a lot of students interviewed during both studies. Rego and Peralta also reported that the percentage of students identifying food, soil, or radon as sources of radiation was very low. The main source of radiation for the Portuguese students was the Sun (with over 90% agreement). This interesting result seems to be consistent with the general students' ideas in our study that radiation either comes from the Sun or is considered to be artificial (power plants, electrical appliances, ...).

As a lot of students seem to associate the term 'radiation' mainly with nuclear radiation, some results of our study can also be compared with studies of students' conceptions about radioactivity. Boyes and Stanisstreet (1994), for instance, also revealed that the phenomenon of natural background radiation is widely unknown to students and that students would consider high-tech or man-made sources of radiation rather than natural sources. When asked about the origin of sources of radioactivity, a non-negligible part of the students mentioned factories and acid rain and quite a few students argued that radioactivity is responsible for the greenhouse effect and/or the damage to the ozone layer. These misconceptions could also be found in our study.

Another question arises from the results of the study: To what degree do emotional aspects influence students' conceptual change? Zembylas (2005) makes a good case for allowing equal attention to the affective dimensions of conceptual change. The above mentioned results about students' positive and negative attitudes towards the term 'radiation' not only lead to the question of how these emotions influence students'

cognitive conceptual change, but it could also be interesting to examine the conceptual change in the students' attitudes regarding 'radiation'.

Conclusion

The results of the study show that the conceptions of most students about the topic 'radiation' differ a lot from the scientific view. Teachers have to be aware that students tend to associate 'radiation' with something artificial and harmful – only very few students seem to have a neutral conception of this term. However, students' conceptions in this field seem to be largely influenced by the students' associations. This provides a good opportunity for teachers to confront their learners with the bias of the scientific view and the everyday use of the term 'radiation'. This could be done by discussing newspaper articles or confronting students with everyday objects that students associate with 'radiation'. Following the results of this study, it seems to be crucial for teachers to balance the bias of the students' associations in various ways. Suggestions for application in the science classroom could include the following:

- The narrow use of the term 'radiation' in everyday language should be discussed and broadened by emphasizing that light is also a type of radiation.
- The natural occurrence of different kinds of radiation (from thermal radiation through light, to nuclear background radiation) should be discussed in order to combat the students' conceptions about radiation being artificial and man-made.
- Teachers should not only focus on the potential hazards of various kinds of radiation, but should also discuss positive aspects of radiation. This includes beneficial applications of radiation in medicine and technology as well as the positive natural occurrences of different kinds of radiation.
- The concept of thermal radiation seems to be especially difficult for students to adapt to. Nevertheless, we emphasize the importance of this idea, not only to combat the described students' conceptions but also as a basis for a deeper understanding of various ideas in science, such as the conservation of energy.

Integrity of research and reporting

As mentioned in the text, all students interviewed as well as their parents had given their informed consent in written form. In addition to that, the authors declare that they have no conflict of interest.

References

- Acar Sesen, B., & Ince, E. (2010). Internet as a Source of Misconception: "Radiation and Radioactivity". *Turkish Online Journal of Educational Technology - TOJET*, 9(4), 94-100.
- Asghar, A., Libarkin, J. C., & Crockett, C. (2001). Invisible Misconceptions: Student understanding of ultraviolet and infrared radiation. *GSA Annual Meeting*.
- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1994). Children's Ideas about Radioactivity and Radiation: sources, modes of travel, uses and dangers. *Research in Science and Technological Education*, 12(2), 145-160.
- Bybee, R. W. (1987). Science education and the science-technology-society (S-T-S) theme. *Science Education*, 71(5), 667-683, doi:10.1002/sce.3730710504.
- Bibliography - Students' Alternative Frameworks and Science Education (2009). <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>.
- DeBoer, G. E. (2000). Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 582-601.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Eijkelhof, H., Klaassen, K., Lijnse, P., & Scholte, R. L. J. (1990). Perceived Incidence and Importance of Lay-Ideas on Ionizing Radiation: Results of a Delphi-Study among Radiation-Experts. *Science Education*, 74(2), 183-195.
- Flick, U. (2009). *An introduction to qualitative research*. Los Angeles, London: SAGE.

- Galili, I., & Hazan, A. (2000). Learners' knowledge in optics: Interpretations, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22(1), 57-88.
- Gropengießer, H. (2008). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In P. Mayring, & M. Glaeser-Zikuda (Eds.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (2nd ed., pp. 172-189). Weinheim, Basel: Beltz.
- Guesne, E. (1985). Light. In R. Driver, Guesne, E., Tiberghien, A. (Ed.), *Children's ideas in science* (pp. 10-33). Milton Keynes: Open University Press.
- Hewson, P. W., Hennessey, M. G. (1992). Making status explicit: A case study of conceptual change. In R. Duit, Goldberg, F., Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 176-187). Kiel: IPN.
- Jung, W. (1987). Understanding students' understanding: the case of elementary optics. In J. Novak (Ed.), *Proceedings of the 2. Int. Seminar "Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics", Vol. III* (pp. 268-277). Ithaca: Cornell University.
- Lijnse, P. L., Eijkelhof, H. M. C., Klaassen, C. W. J. M., & Scholte, R. L. J. (1990). Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12(1), 67 - 78.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (11th ed.). Weinheim: Beltz.
- Millar, R., & Jarnail Singh, G. (1996). School students' understanding of processes involving radioactive substances and ionizing radiation. *Physics Education*, 31(1), 27-33.
- Millar, R., Klaassen, K., & Eijkelhof, H. (1990). Teaching about Radioactivity and Ionising Radiation: An Alternative Approach. *Physics Education*, 25(6), 338-342.
- Neumann, S., & Hopf, M. (2011). Was verbinden Schüler/innen mit dem Begriff ‚Strahlung‘? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*(17).
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & W.A., G. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Rego, F., & Peralta, L. (2006). Portuguese Students' Knowledge of Radiation Physics. *Physics Education*, 41(3), 259-262.

- Riesch, W., & Westphal, W. (1975). Modellhafte Schülervorstellungen zur Ausbreitung radioaktiver Strahlung. *Der Physikunterricht*, 9, 75-85.
- Treagust, D. F., & Duit, R. (2008). Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges of science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3(2), 297-328.
- Tsui, C.-Y., & Treagust, D. F. (2007). Understanding genetics: Analysis of secondary students' conceptual status. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 205-235.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). New York: Macmillan.
- Watts, M. (1985). Students' conceptions of light - a case study. *Physics Education*, 20, 183-187.
- Zembylas, M. (2005). Three Perspectives on Linking the Cognitive and the Emotional in Science Learning: Conceptual Change, Socio-Constructivism and Poststructuralism. *Studies in Science Education*, 41(1), 91-115.

Appendix

Interview Guideline

Question 1: Please list some words that spontaneously come to your mind when you hear the term 'radiation'?

Question 2: When confronted with the term 'radiation', what feelings do you have? Why?

Question 3: I am going to show you pictures of different objects. Which of these objects do you associate with the term 'radiation'? Why?

The pictures associated with this question showed the following motifs (due to copy rights, these pictures cannot be published but can be sent upon request): an X-ray photograph of a foot, a mobile phone, a computer screen with keyboard and mouse, a factory, windmills, a flower, a dog, a campfire, a nuclear power plant, stars in the night sky, a beach with a sunshade, an I-Pod, a TV-set and a child watching TV, a man, a woman in a tanning booth, kids playing a video game console, a mobile phone tower, a laser pointer

Question 4: I am going to list some specific types of radiation (mobile phone radiation, microwave radiation, infrared radiation, visible radiation, UV radiation, X-radiation, nuclear radiation). Please tell me whether or not you have heard of them, in what context you have heard of them, and if you think these types of radiation are harmful. Can they be detected by the human eye?

Question 5: Have you already discussed 'radiation' in physics class or in any other subject? Tell me what you have discussed.

Question 6: Do you think you should protect yourself against radiation? Why (not)? How can you do that?

Question 7: On this sheet of paper, please draw an object that emits radiation.

Question 8: You read in a magazine that all objects emit radiation. Do you think this could be true? Why (not)?

C. Neumann, S., & Hopf, M. (2012). Children's Drawings About "Radiation"
- Before and After Fukushima. *Research in Science Education*,
doi:10.1007/s11165-012-9320-3. – published

Abstract

Although the term "radiation" has a fixed place in everyday life as well as in the media, there is very little empirical research on students' conceptions about this topic. In our study we wanted to find out what students associate with this term. In 2009, we asked 509 students (between grade 4 and grade 6) from 7 different schools to draw pictures related to "radiation". This method of children's drawings was supported by short interviews (n = 74). The motifs appearing in the drawings were analyzed and we investigated whether or not the age and the sex of the children had any influence on the choice of motifs. One major result was that the older the students were, the more likely they were to choose sources of invisible radiation (nuclear power plants, mobile phones) as their motifs. Eight months after the tragic events in Fukushima (and at the same time two years after the 2009 data collection), we replicated the study. This time, we received 516 drawings from the same schools as in the 2009 study (supported by 33 interviews). This replicative trend study made it possible to compare the choice of motifs and discover possible differences. The results of this analysis showed that the drawings of 2011 included significantly more motifs related to radioactivity. This difference was prevalent in the drawings regardless of sex or age differences. Direct references to the Fukushima accident could be found in both the drawings and interviews.

Susanne Neumann

University of Vienna, Austrian Educational Competence Centre Physics

Porzellangasse 4/2, 1090 Vienna, Austria

Tel: 0043-1-4277-71103

susanne.neumann@univie.ac.at

Martin Hopf

University of Vienna, Austrian Educational Competence Centre Physics

Porzellangasse 4/2, 1090 Vienna, Austria

Tel: 0043-1-4277-71110

martin.hopf@univie.ac.at

Keywords: students' conceptions, radiation, radioactivity, children's drawings

Introduction

In 2011, the media was brimming with articles about the nuclear disaster in Fukushima. This was not the first time that the word *radiation* was prevalent in the media: The public debate about building new nuclear power plants, the discussion about whether or not teenagers should be allowed to use tanning booths, reports about potential hazards of using mobile phones are only three examples of topics covered by the media which are closely connected to the term *radiation*. Our everyday lives also seem to be full of situations in which we encounter the word *radiation*. We feel the heat coming from radiators although we are not touching them, we go to the doctor to have an X-ray done, and we play video games that can track our movements using radiation (fortunately for us they use a type of radiation other than X-rays).

Situations in which we use the word *radiation* are not limited to our everyday lives. This term plays a vital role in understanding the relationships between different fields of science. The principle of the conservation of energy (including thermal radiation and heat transfer) as well as numerous technical applications (from satellites to medical devices) can only be fully understood based on a clear comprehension of the topic *radiation*.

The fact that a lot of people (including journalists) seem to have an insufficient, or inaccurate, knowledge of the term radiation can be clearly seen in media reports which often include incorrect details about topics such as radioactivity. Not only do the misconceptions of the authors lead to mistakes in news reports but the reverse is also true. Many misconceptions that our students have about different aspects of *radiation* can apparently be tracked down to erroneous media reports (Acar Sesen & Ince, 2010; Lijnse et al., 1990).

When we consider how important a conceptual understanding of the topic *radiation* is for our students, it seems peculiar that there are not many empirically validated lesson concepts and relatively few research studies in science education that focus on this topic. Our study aims to make a small contribution toward filling this gap.

Previous Findings

In order to create suitable learning environments for students, teachers have to know what kind of ideas their students bring into the science classroom. Research in science education acknowledges that these ideas are one basis upon which good lesson concepts are built. As a result, there is a plethora of interesting studies and well-grounded, frequently replicated results regarding students' conceptions – especially in the field of classical physics (e.g. optics, mechanics and electromagnetism), where these results are extremely well-documented (for a summary cf. Driver, 1985; Duit, 2009). This type of research has also started to emerge in other domains outside of science education (Limon, 2002).

Despite the large quantity of research articles about students' conceptions in various fields of science, students' ideas about radiation appear to be relatively unexamined. Among the relevant studies, the majority focus on students' conceptions about nuclear radiation. The accident in Chernobyl seems to have especially sparked interest in these issues, as there were several publications of research results in this field in the early 90s. The workgroups of Millar and Eijkelhof, for instance, discovered several students' conceptions about radioactivity (Millar & Jarnail Singh, 1996; Millar et al., 1990), some of which could be linked to incorrect media-reports (Lijnse et al., 1990). A widespread misconception, for example, seems to be the confusion of the two words *contamination* and *irradiation*. A lot of students, for instance, thought that radiation could accumulate in the human body or in food that is irradiated. These research results appear to be consistent with the findings of Boyes and Stanisstreet (1994) which also exhibit students' unclear concepts about nuclear radiation's impact on environmental issues (such as the ozone layer or global climate change).

Research focusing on students' ideas about other types of radiation than nuclear radiation – we omit visible radiation here – is very rare. A study in the field of astronomy education investigated students' as well as teachers' understanding about ultraviolet and infrared radiation (Libarkin et al., 2011). Using questionnaires (n = 283 students and 33 teachers) and in-depth interviews (n = 11 students), the authors came to the

conclusion that a lot of students (as well as some teachers) didn't have a clear concept of the nature of these types of radiation. Nearly 80 % of the students who filled out the questionnaires, for instance, claimed that it is possible to see objects in the presence of ultraviolet light alone. Regarding infrared radiation, the researchers found in initial conversations with the students that most of them had not heard of this term at all. This is why they decided not to ask specific questions about IR. Students in this study did however seem to be quite well-informed about the Sun being a major source of UV radiation and were aware of the potential harm of this type of radiation. None of the students (and only one teacher) reported positive effects of UV radiation. This negative bias regarding radiation was replicated in a study done by Neumann and Hopf (Neumann & Hopf, 2012b). In order to find out what 9th-grade students know about radiation in general, and different types of radiation in particular, Neumann and Hopf conducted 50 semi-structured interviews. They were able to detect several wide-spread students' conceptions which appeared to be fundamental to understanding learning difficulties about the topic *radiation*. When asked about their first associations and feelings regarding the term *radiation*, many students reported solely negative aspects and emotions. Also, the majority of students thought that radiation is exclusively man-made and only comes from "artificial" sources. The concepts of natural background radiation as well as the idea that light and heat are also types of radiation seemed to be hardly understood. One of science's key ideas, namely that all objects emit thermal radiation, was found to be totally implausible for the large majority of students.

In the present study, which was conducted parallel to the interview study by Neumann and Hopf, we attempted to find out whether or not children's associations with the term *radiation* have changed, before and after the Fukushima accident. Although there are some studies from behavioral psychology that described changes in people's attitudes before and after Chernobyl (Klingman, Goldstein, & Lerner, 1991; Verplanken, 1989) as well as the Three-Mile-Island accident (Handford et al., 1986), only one study could be found that investigated these differences from a science education perspective (Brown, Henderson, & Armstrong, 1987). Brown and colleagues examined how children's drawings (n = 213) of nuclear power plants changed before and after Chernobyl. They showed that after Chernobyl, children drew more realistic pictures of nuclear power

plants (including cooling towers, pipes and smoke) than they did before the accident, when motifs tended to include bombs and rockets.

Research Questions

The aim of our study was two-fold:

In 2009, we were mainly interested in using the method of children's drawings to find out about children's associations with the term *radiation* in general. Our research questions, therefore included:

- What do younger students (between 9 and 12 years old¹²) associate with the term *radiation* before having learned about it in the science classroom?
- Do these associations vary according to age?
- Do boys and girls associate different things with the term *radiation*?

The results of this first step of our study have been published in the German science education journal *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* (Neumann & Hopf, 2011b).

Fifteen months after this investigation, the accident at Fukushima happened, followed by extensive media coverage¹³. This event led to the following research question:

- How much did the Fukushima disaster influence students' associations with the term *radiation*?

Thus we replicated the study of 2009 and, in doing so, added a trend study aspect to our first investigation.

¹² In Austria, this is equal to students in grade-4 to grade-6. The Austrian science curriculum introduces the concept of radiation in grade-7 (heat radiation) and in grade-8 (nuclear radiation).

¹³ Journalists agree that in Austria (a country with no nuclear power plants and a population vastly opposed to the use of nuclear power), media reports in March/April 2011 were disproportionately covering the Fukushima disaster with nearly exclusive focus on the nuclear aspect and neglecting the role of the preceding earthquake and Tsunami, which killed more than 19,000 people.

Research Method

As we were interested in exploring the associations of younger students (9 to 12 years old), we needed to find a method which would be both informative and efficient for us, as well as motivating and fun for the children. The method of asking students to produce drawings and then analyzing the motifs they had chosen appeared to satisfactorily fulfill these criteria. .

In psychology research, using children's drawings has a long tradition. Drawings have been and continue to be widely used to analyze the developmental stage and emotional states of children (Thomas & Silk, 1990). Also in learning psychology and teaching practice, drawings are recommended to investigate students' understanding (Hope, 2008; White & Gunstone, 1992). In science education research, children's drawings can be found as part of the research design in several studies: The famous "Draw-A-Scientist" test (Chambers, 1983; Finson, 2002) was used to find out about students' preconceptions about the nature of science. Markic (2008) used drawings to analyze science student teachers' beliefs about learning and teaching. Also in the content field, drawings have been implemented in various fields of science education, for instance biology education (Dikmenli, 2010), environmental science education (Barraza, 1999), technology education (Rennie & Jarvis, 1995) and Earth science education (Dove, Everett, & Preece, 1999). In most of the studies, the main reason for including drawings in the research design was the assumption that drawings would leave the students more chances to express hidden ideas as opposed to writing texts or answering interview questions, situations in which they might be prone to just repeat sentences that they have already heard.

As a matter of course, this method also has its limitations. First of all, drawings might only reveal superficial associations without giving more insight into deeper thoughts and reasons why the examined students chose certain motifs. Secondly, children might deliberately choose things that are easy to draw while omitting other associations which are equally important to them but are more difficult to draw. Furthermore, interpreting drawings can be very challenging for the researcher. In the following paragraphs we will

outline our research design and describe our efforts to confront the limitations described above.

To investigate what Austrian students associate with the term *radiation*, our procedure was as follows: We asked teachers of subjects other than science to hand out blank sheets of paper to each student and write the word *Strahlung* (the German word for *radiation*, as used in the term *elektromagnetische Strahlung*) on the board of the classroom. Then the teachers asked the students to draw whatever comes to their minds when they hear this word. The teachers were asked to refuse to answer subject-specific questions from the students and to emphasize the importance of the students own thoughts in order to minimize copying their neighbors. The students were allowed to draw as many motifs as they wanted. After 10-15 minutes, the students were asked to write their first names, their sex and their school grade on their sheets and the teachers collected the drawings.

In the first part of the study (December 2009), we received a total of 509 drawings from 7 different schools. As it was impossible to get a random sample which would be representative for Austria, we tried to make the sample as diverse as possible by including different types of schools from different areas in Vienna with students of different socio-economic backgrounds.

In the second part of the study (December 2011, nine months after the accident in Fukushima), we asked the same schools that had already participated in the first part of the study to repeat the exact same procedure. As the students who participated in the two parts of the study were not the same, our study can be seen as a longitudinal trend study. For the second part, we received a total of 516 drawings. Also, for instance, we attempted to keep as many parameters of the study the same e.g. if in school X, two classes of 5th graders and one class of 6th graders participated in the first part of the study, then in the second part of the study, two classes of 5th graders and one class of 6th graders took part.

All in all we analyzed a data base of $n = 1025$ children's drawings.

A comparison of the data base of the first and second part of the study, as well as the data base of the two parts of the study combined can be found in Table 1, Table 2 and Table 3.

2009	male	female	not specified	total
4th grade	41	46	39	126
5th grade	91	98	0	189
6th grade	103	89	2	194
total	235	233	41	509

Table 1 - Data base of the 2009 study

2011	male	female	not specified	total
4th grade	44	67	18	129
5th grade	88	96	5	189
6th grade	73	121	4	198
total	205	284	27	516

Table 2 - Data base of the 2011 study

2009 + 2011	male	female	not specified	total
4th grade	85	113	57	255
5th grade	179	194	5	378
6th grade	176	210	6	392
total	440	517	68	1025

Table 3 - Data base of the two parts of the study combined

When we tested whether or not our samples from 2009 and 2011 were comparable, we got an acceptable result for the overall number of students per grade (for instance 126 4th graders in 2009 compared to 129 4th graders in 2011). However, the proportion of boys to girls in 2009 turned out not to be comparable with the ratio in 2011 (A χ^2 -test examining the null hypothesis that the ratio is comparable gave a $p < .01$ and suggested that this hypothesis should therefore be rejected). This is why we drew a random sample from the girls' drawings of the 2011 data set in order to reduce their number in the sample so that in the new data set the boy-girl ratio was the same as in 2009. For 4th

grade, for example, we reduced the number of 67 initial drawings to 49 random ones so that in 2009 and in 2011, the ratio of boys and girls was kept the same. When we analyzed the results, it turned out that the majority of results changed very little (in one case however, the measured effects were a little bit stronger, see the chapter “Comparison: Before and After Fukushima”). Therefore, we decided to use the complete data base of all drawings that we collected.

In both parts of the study, the motifs of the drawings were analyzed using a category system that had been developed in the first part of the study. This category system was peer-validated by two other researchers in science education and one physics high school teacher. The main categories were found to be:

- the Sun
- artificial sources of light (e.g. flashlights, light bulbs, ...)
- motifs related to radioactivity (e.g. nuclear power plants, symbol of ionizing radiation, ...)
- mobile phones
- monitors (e.g. PC monitors, TV screens)

Other motifs were chosen in less than 3% of the drawings, so they were omitted from the main categories. Fig. 1 gives an impression of typical motifs belonging to the five main categories.



Fig 1 Examples of motifs drawn by the students

Also, in both parts of the study, in order to combat the possibility that the drawings were too superficial, the analysis was supported by short, semi-structured interviews with a sub-set of the students. In 2009, 74 children from different schools were interviewed in order to verify the correct interpretation and get some additional in-depth information. In 2011, the number of interviews conducted was 33. We confined ourselves to only about half the number of interviews in the second part of the study, since a preliminary analysis already showed repeating phenomena. The classes of the interviewed children were chosen randomly and all 107 children who were interviewed were volunteers. All the interviews were digitally recorded and partially transcribed.

Findings

Before comparing the differences that we found between the 2009 (“before Fukushima”) and the 2011 (“after Fukushima”) study, we would like to give an overview of the results we found within the entire sample. This will provide a good starting point for the subsequent comparison.

A first frequency analysis of the motifs drawn by the students (of both studies combined) provided a clear picture: An overwhelming majority of students (69.4 % of all students) included the Sun in their drawings¹⁴. Artificial light sources, such as headlamps or flashlights, were chosen by roughly a quarter of the students (25.4 %). Objects related to the topic radioactivity (e.g. nuclear power plants) appeared in 24.4 % of the drawings while mobile phones were the motifs in 17.6 % of the drawings. Computer monitors and TV screens were only chosen by 7.3 % of the students (see fig. 2).

¹⁴Students were free to draw more than one motif. In 43.5 % of the drawings these motifs belonged to more than one category and were also classified into more than one category. This is why, both in 2009 and in 2011, the percentages add up to more than 100%.

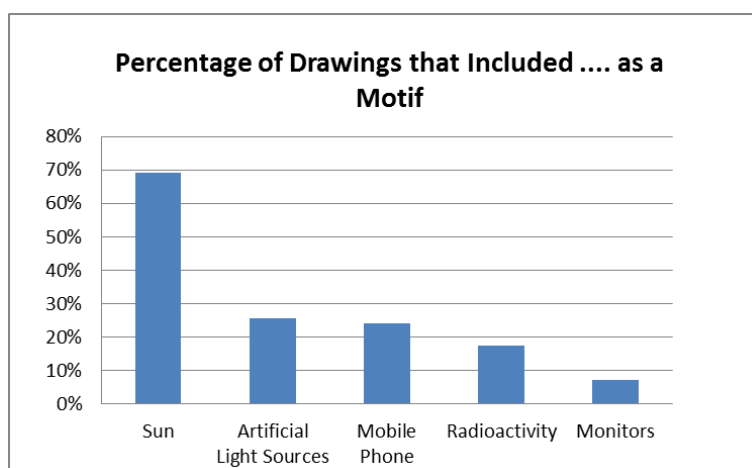


Fig. 2 Frequency analysis of the chosen motifs

Comparison: Students of different ages

Let us now investigate how the choice of motifs varied with age. We examined children who attended grade 4, grade 5 and grade 6 with an age range of 9-12 years old. The analysis of our 1025 drawings showed a clear result that could be found in four of the five main categories (see also fig. 3): The older the students were, the less frequently they drew the Sun and artificial light sources but rather tended to include nuclear power plants and mobile phones in their drawings. Whereas 84.7 % of the 4th graders drew a Sun, this percentage dropped to 63.5 % in grade 6 (A χ^2 test detected a high significance with $\chi^2 = 30.4$, $df = 2$, $p < .01$). The percentage of students who chose artificial light sources as one of their motifs in grade 4 decreased from 44.7 % to 17.6 % in grade 6 ($\chi^2 = 70.0$, $df = 2$, $p < 0.01$). While the frequency of these categories declined the older the students got, the opposite could be detected for motifs that are related to radioactivity: in this category, the percentage increased from 8.2 % to 36.2 % ($\chi^2 = 69.3$, $df = 2$, $p < .01$). The same applies to mobile phones, which were only chosen by 8.6 % of the grade 4-students, but by 36.2 % of the students of grade 6 ($\chi^2 = 42.5$, $df = 2$, $p < .01$). No significant change could be detected for the category “monitors”.

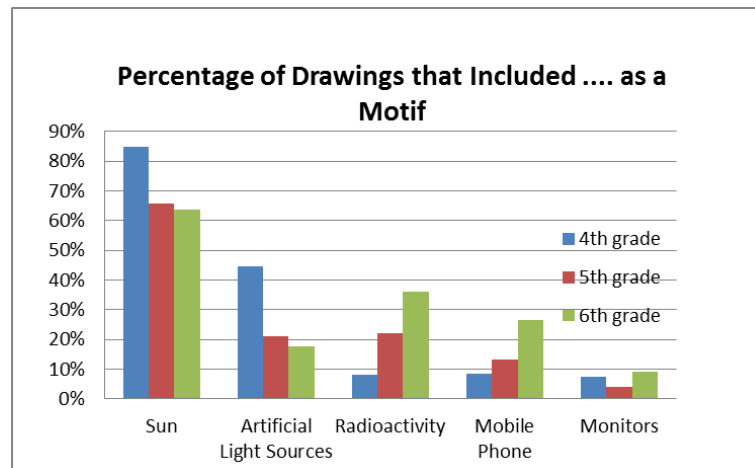


Fig. 3 Frequency analysis of motifs, analyzed by grades

Comparison: Boys vs. Girls

When we analyzed the data in order to see whether or not any differences between male and female students could be detected, we found that slightly more girls chose the Sun as one of their motifs ($\chi^2 = 4.2$, $df = 1$, $p < .05$) than boys did. The same was true for artificial light sources ($\chi^2 = 4.3$, $df = 1$, $p < .05$). The opposite was found for motifs that were related to the topic radioactivity: A highly significant difference between boys and girls could be detected. Whereas 31.9 % of the boys chose a motif related to this topic, only 19.1 % of the girls did ($\chi^2 = 21.0$, $df = 1$, $p < 0.01$). No significant difference could be detected for the categories “mobile phone” and “monitors” (see also fig. 4).

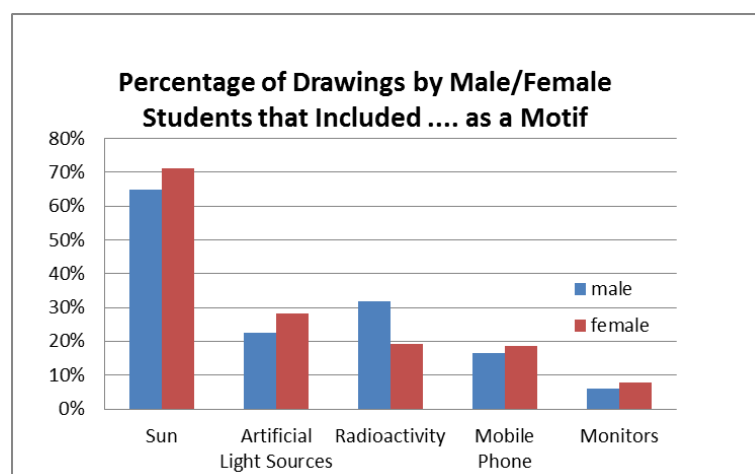


Fig. 4 Frequency analysis of motifs, according to sex

To ensure that these results were not influenced by the age of the students, we had to look at the male-female ratio of each grade. In 4th grade the ratio was found to be approximately 1 to 1.33. In 5th grade the ratio was 1 to 1.08 and in 6th grade the ratio was 1 to 1.19. Although our sample showed a varying proportion of boys and girls throughout the different grades (with a considerably higher percentage of girls in all grades), a separate analysis of sex differences among the different grades showed similar results: The difference between boys and girls in the category “radioactivity” could still be found to be significant, even when separated by grades¹⁵ (5th grade: $\chi^2 = 19.5$, $df = 1$, $p < .01$; 6th grade: $\chi^2 = 5.2$, $df = 1$, $p < .05$). The difference between boys and girls in the category “Sun” was, however, not significant any more in neither of the grades, the differences in the category “Artificial Light Sources” stayed significant in 5th ($\chi^2 = 4.5$, $df = 1$, $p < .05$) and 6th grade ($\chi^2 = 4.0$, $df = 1$, $p < .05$), when analyzed separately.

Comparison: Before and After Fukushima

The last research question was motivated by the tragic events in Fukushima in March 2011. In order to compare the results from the first and the second part of the research study separately, we first had to look at the data base. Although the students who drew pictures for us were from the same schools in both parts of the study, we were not able to get the same proportion of boys and girls among the different classes. In all grades, the percentage of girls is a little bit higher in the 2011 study than it was in the 2009-study. This is, as described in the section “Research Method”, something that would only aggravate the results that we are now going to present (see also fig. 5):

In two categories (Sun and monitors), there was no significant difference between the results of the 2009 study and the 2011 study. The category “Artificial Light Sources” showed a slight increase ($\chi^2 = 7.3$, $df = 1$; $p < .01$). Also, significantly fewer students drew mobile phones in the second part of the study ($\chi^2 = 12.2$, $df = 1$; $p < .01$). Regarding

¹⁵ Except for grade 4, where no significant change could be found due to the low absolute number of drawings in the 4th grade which included motifs related to radioactivity (11 boys and 8 girls).

nuclear radiation, the opposite was found: The number of students who chose a motif related to radioactivity (e.g. a nuclear power plant) in 2011 was much higher than it was in 2009. The percentage of drawings that included an object of that category nearly doubled from 16.3 % in 2009 to 31.4 % in 2011. This change was found to be highly significant ($\chi^2 = 32.3$, $df = 1$; $p < .01$). This compelling difference led us to investigate the matter further.

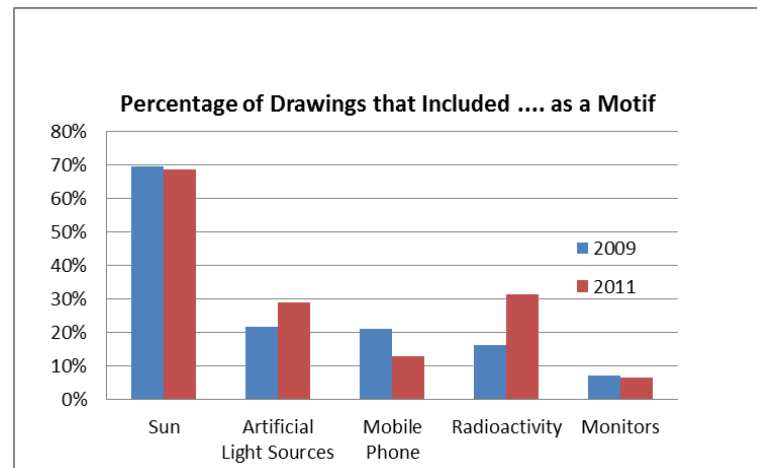


Fig. 5 Frequency analysis of motifs, before and after Fukushima

When confronted with these results, we decided to attempt to discover whether or not the differences between the 2009 study and the 2011 study could also be detected when examining students of different grades and different sex.

In all of the grades, differences between the percentages of 2009 and those of 2011 proved to be (highly) significant (4th grade: $\chi^2 = 5.5$, $df = 1$; $p < .05$; 5th grade: $\chi^2 = 15.7$, $df = 1$; $p < .01$; 6th grade: $\chi^2 = 14.7$, $df = 1$; $p < .01$) which is shown in fig. 6.

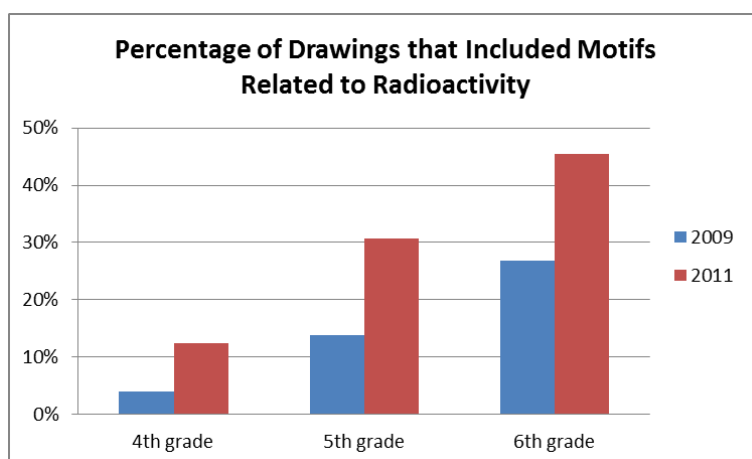


Fig. 6 Motifs related to radioactivity, before and after Fukushima

Also, it appeared that for boys and girls a significantly higher percentage of children drew motifs that relate to radioactivity in 2011 compared with the boys and girls in the 2009 study (male: $\chi^2 = 12.0$, $df = 1$; $p < .01$; female: $\chi^2 = 21.1$, $df = 1$; $p < .01$) which is shown in fig. 7.

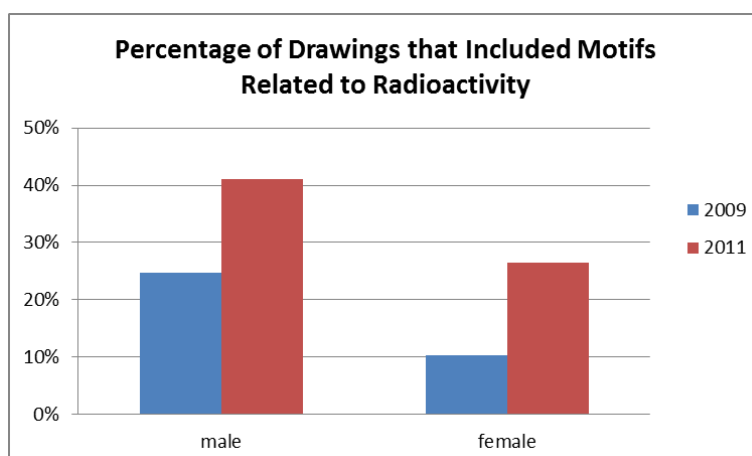


Fig. 7 Motifs related to radioactivity, before and after Fukushima

When we looked at the actual motifs that students drew related to radioactivity, we found that the overwhelming majority (197 drawings which amounts to 81.4 % of the drawings referring to nuclear radiation) included motifs in negative contexts such as explosions and motifs that showed potentially negative impacts on human health (see fig. 8). This was particularly true for the 2011 drawings where a lot of nuclear power plants showed references to the nuclear disaster in Japan (e.g. a Japanese flag, the name “Fukushima”, ...). However, there were only three drawings that could be clearly interpreted as showing positive aspects of radioactivity. Forty-one drawings that showed

motifs related to nuclear radiation were categorized as neutral (e.g. nuclear power plants without any hazardous visual reference).



Fig. 8 Examples of drawings related to radioactivity – from nuclear waste to uranium mining

Results from the interviews

After conducting the frequency analysis of the drawings, a subset of the 1025 children who were involved in the “Draw something that you associate with the word *radiation*” studies was asked to participate in short interviews. The total number of children interviewed was 107 (74 in the 2009 study and 33 in the 2011 study). In both studies, the sample of interviewed students was representative with regard to the ratio of boys to girls (38 boys vs. 36 girls in 2009 and 15 boys vs. 18 girls in 2011) and the distribution of chosen motifs (e.g. 52 students in the 2009 interviews chose the Sun as a motif). In spite of the fact that we could not include all seven schools due to organizational issues, the three where we conducted the interviews represent an acceptable cross-section of varying socioeconomic backgrounds.

In order to verify the correct interpretation of the motifs, the children participating in the interviews were first shown their drawings and asked if the researchers’ interpretations were correct. In 104 of the 107 interviews, children approved of the

interpretations. They were then asked if they would like to add other things that they associate with the word *radiation*. Mostly, only objects from the same category were listed, for instance, other artificial sources of light. Some students, however (especially the older ones) could expand their associations to different categories, including radioactivity. This reaction occurred more frequently in the 2011 study than in the 2009 study.

Students were also asked about adjectives they would associate with the term *radiation*. The results of this question varied a lot: from “warm” and “bright” to “harmful” and “bad”. A strong correlation to the drawn motifs could be seen however. While a vast majority (64.6 %) of those students who had only chosen visible sources of radiation in their drawings (e.g. the Sun, artificial light sources) associated radiation with exclusively positive adjectives, students who had drawn motifs related to radioactivity tended to associate solely negative adjectives (no student in this category listed exclusively positive adjectives). Also, students were divided in the question of whether or not radiation is visible. 83.3 % of the children who had drawn motifs related to light stated that radiation can be seen, whereas 96.7 % of the students who drew objects like nuclear power plants stated that radiation is, by all means, invisible. Interestingly, some of the interviewed children contended that what they called “mobile phone radiation” would be the visible light from the monitor of the mobile phone. Statements like “Of course I’ve heard of mobile phone radiation. After all, I can see the screen in the dark because of this kind of radiation.” were occasionally found.

In the 2011 study, we also asked those students who did not come up with it on their own, whether or not they had heard of the events in Fukushima. Almost everybody (90.9 % of the interviewed students) affirmed that they knew or at least had heard something about this issue. However, there were some children who either had not heard of Fukushima at all or could not relate the events of Fukushima to the term *radiation*. What could be observed was that those children tended to come from schools with a lot of underprivileged students. Those children who had heard something about Fukushima were usually well informed and most of them could tell us not only about the potential hazards of nuclear radiation and but also ways to protect oneself. Some of those students even differentiated between visible radiation and invisible radiation, generally

assuming that visible radiation is positive and invisible radiation is negative. When asked about their sources of information, most of them listed the media and the parents. For this group of children, school only played a minor role as a source of information.

Discussion

One of the most important issues that needs to be discussed here is the impact of the German language on the results. The reader might have wondered about the fact that so many students, especially the younger ones, drew motifs related to the Sun or other sources of visible radiation. We assume that these results are strongly influenced by the German language since the German word *Strahlung* (=radiation) is commonly used in everyday speech, especially in connection with the word "Sun". Keeping this in mind, the results seem to be more comprehensible. The term "Sonnenstrahlung" for "sunshine" and the phrase "Die Sonne strahlt." meaning: "The Sun is shining." are frequently used in the German language and might explain the close connection between radiation and the Sun that appeared in the drawings. As this issue seems to be of high importance for the interpretation of the study, we asked teachers in two other countries (Turkey and Spain) to participate in our study with students of the same age groups in some of their classrooms. The participating teachers in both countries agreed on the proper translation of the scientific term *radiation* into their language and then asked a group of approximately 100 students in their countries to draw something they associate with the term. The results were very different from our general outcome: The percentage of students in those countries who associated the Sun with the term *radiation* (in the corresponding language) was very low. We therefore assume that language is an important impact factor when we investigate associations of students and that the results of a study replicated in different countries might not lead to the same results.

One of the major results of our study was that when we compared the 2009 and the 2011 study, significant changes could be observed: The results of the analysis showed that, in the 2011 part of the study, students were much more likely to draw objects related to nuclear power than in 2009. This suggests that students' associations with the term *radiation* had changed over time. The analysis of the interviews reinforced our

hypothesis that the reason for this change in the students' associations could be found in the tragic events of Fukushima. The interviews also showed that this shift in associations seemed to apply particularly to students from privileged backgrounds who had probably been confronted with these issues within their families more often than children from an underprivileged background.

In the analysis of the study, we did not place emphasis on the changes that appeared in the category "mobile phones". Although this change was not as clear as the one in the category "radioactivity", the percentage of children who drew mobile phones when confronted with the term *radiation* in 2011 was significantly lower than in the first study. According to the analysis of the interviews, the tendency to associate mobile phones with possible hazards was found to have decreased from 2009 to 2011. One possible explanation could be that the media coverage about potential dangers of mobile phones could have decreased in those two years. Also, those students who tended to be well-informed by media and their social environment could have switched their attention from one potential hazard to the other: The interviews of 2009 showed that students who drew mobile phones seemed to do this because they remembered their parents' and the media's warnings about the potential dangers of radiation coming from mobile phones. It would be possible that the minds of those students were now more occupied by the potential dangers of nuclear radiation.

Although our study only investigated the students' associations, we found evidence that these associations apparently influence the students' general conceptions of the topic *radiation*. When we interviewed students who primarily drew sources of invisible radiation, we came across the conception that no radiation can be detected by naked human eye. Also, most of those students thought that radiation, in general, is only produced by artificial sources and is not natural but man-made. These students' conceptions conform to the misconceptions that Neumann and Hopf had found (Neumann & Hopf, 2012b). On the other hand, those students who only chose motifs that relate to light sources, tended to hold the conception that radiation is always something nice and warm and visible to the naked eye. These students tended to claim that potential hazards from radiation can, for instance, only occur when you look into the Sun for a long time. This misconception was primarily found among younger

students and, thus, was not included in Neumann & Hopf (2012b) as this study investigated the conceptions of older students (9th grade).

Conclusion

Our study not only shows what young children associate with the term *radiation*, but also gives an overview of how these associations changed before and after Fukushima. The percentage of children who decided to draw motifs related to radioactivity nearly doubled. The interviews confirmed our hypothesis that these changes could be attributed to the Fukushima events and the extensive media coverage about this topic. During the interviews it became apparent to us that a lot of teachers had addressed the Fukushima events in their classroom which shows that, to a certain extent, environmental and society-related issues are being discussed in schools. Seen from a science education perspective, this seems to be a very satisfactory result. However, teachers apparently did not succeed in discussing broader aspects of the term 'radiation' since the drawings, as well as the interviews, revealed that a lot of students had changed their associations clearly to the nuclear aspect of radiation but were not able to keep different aspects of radiation in their minds. As the term "Strahlung" in the German language is so closely connected to the Sun, this could provide great opportunities to explain different aspects of radiation. We would recommend using this connection as a starting point when introducing the topic *radiation*.

Although the majority of the students stated that they had heard a lot about Fukushima on TV or in newspaper articles, there were still some children who said that this topic had not come up in their social environment they had not heard about this topic from their social environment. Those children who usually came from schools with students of underprivileged backgrounds admitted that their only place for information about this topic was at school. This result shows the important role that schools play for some children, as this might be their only chance to get unbiased, accurate information in different fields.

The question now arises whether or not it is really necessary to know about students' associations, especially when we know that these associations, to a large extent, depend on the linguistic and cultural background of the student. We believe that knowledge about students' associations with a specific scientific term is crucial in order to create learning environments that elicit the students' prior knowledge and are, therefore, conducive to learning. From the interviews, we saw that the students' associations were closely related to the students' conceptions in general and therefore might be decisive in the learning process.

What students associate with specific terms is only one aspect of students' conceptions. We argue, however, that examining students' associations forms a good starting point for investigating students' conceptions. Having analyzed the first part of the study helped our workgroup create a questionnaire for in-depth interviews about students' conceptions. We believe that examining students' associations might also help in other fields of science education in order to get a first impression about what is on our students' minds.

References

- Acar Sesen, B., & Ince, E. (2010). Internet as a Source of Misconception: "Radiation and Radioactivity". *Turkish Online Journal of Educational Technology - TOJET*, 9(4), 94-100.
- Barraza, L. (1999). Children's Drawings About the Environment. *Environmental Education Research*, 5(1), 49-66. doi: 10.1080/1350462990050103
- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1994). Children's Ideas about Radioactivity and Radiation: sources, modes of travel, uses and dangers. *Research in Science and Technological Education*, 12(2), 145-160.
- Brown, J. M., Henderson, J., & Armstrong, M. P. (1987). Children's perceptions of nuclear power stations as revealed through their drawings. *Journal of Environmental Psychology*, 7(3), 189-199. doi: 10.1016/s0272-4944(87)80029-4
- Chambers, D. W. (1983). Stereotypic images of the scientist: The draw-a-scientist test. *Science Education*, 67(2), 255-265.

- Dikmenli, M. (2010). Misconceptions of cell division held by student teachers in biology: A drawing analysis. *Scientific Research and Essays*, 5(2), 235-247.
- Dove, J. E., Everett, L. A., & Preece, P. F. W. (1999). Exploring a hydrological concept through children's drawings. *International Journal of Science Education*, 21(5), 485-497. doi: 10.1080/095006999290534
- Driver, R. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes [u.a.]: Open Univ. Press.
- Duit, R. (2009). Bibliography - Students' Alternative Frameworks and Science Education <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>
- Finson, K. D. (2002). Drawing a Scientist: What We Do and Do Not Know After Fifty Years of Drawings. *School Science and Mathematics*, 102(7), 335-345. doi: 10.1111/j.1949-8594.2002.tb18217.x
- Handford, H. A., Mayes, S. D., Mattison, R. E., Humphrey li, F. J., Bagnato, S., Bixler, E. O., & Kales, J. D. (1986). Child and Parent Reaction to the Three Mile Island Nuclear Accident. *Journal of the American Academy of Child Psychiatry*, 25(3), 346-356. doi: 10.1016/s0002-7138(09)60256-9
- Hope, G. (2008). *Thinking and Learning Through Drawing In Primary Classrooms*. London: Sage Publications Ltd.
- Klingman, A., Goldstein, Z., & Lerner, P. (1991). Adolescents' response to nuclear threat: Before and after the chernobyl accident. *Journal of Youth and Adolescence*, 20(5), 519-530. doi: 10.1007/bf01540635
- Libarkin, J., Asghar, A., Crockett, C., & Sadler, P. (2011). Invisible misconceptions: student understanding of ultraviolet and infrared radiation. *Astron Educ Rev*, 10(1).
- Lijnse, P. L., Eijkelhof, H. M. C., Klaassen, C. W. J. M., & Scholte, R. L. J. (1990). Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12(1), 67 - 78.
- Limon, M. (2002). Conceptual Change in History. *Reconsidering conceptual change: issues in theory and practice*, 259.
- Markic, S. (Ed.). (2008). *Studies on freshman science student teachers' beliefs about science teaching and learning*. Aachen: Shaker.
- Millar, R., & Jarnail Singh, G. (1996). School students' understanding of processes involving radioactive substances and ionizing radiation. *Physics Education*, 31(1), 27-33.

- Millar, R., Klaassen, K., & Eijkelhof, H. (1990). Teaching about Radioactivity and Ionising Radiation: An Alternative Approach. *Physics Education*, 25(6), 338-342.
- Neumann, S., & Hopf, M. (2011b). Was verbinden Schüler/innen mit dem Begriff ‚Strahlung‘? Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften(17).
- Neumann, S., & Hopf, M. (2012). Students’ Conceptions About ‘Radiation’: Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students. *Journal of Science Education and Technology*, 1-9. doi: 10.1007/s10956-012-9369-9
- Rennie, L., & Jarvis, T. (1995). Children's choice of drawings to communicate their ideas about technology. *Research in Science Education*, 25(3), 239-252.
- Thomas, G. V., & Silk, A. M. J. (1990). *An introduction to the psychology of children's drawings*: New York, NY, US: New York University Press.
- Verplanken, B. (1989). Beliefs, attitudes, and intentions toward nuclear energy before and after Chernobyl in a longitudinal within-subjects design. *Environment and Behavior*, 21(4), 371-392.
- White, R. T., & Gunstone, R. F. (1992). *Probing understanding*. London, New York: Falmer.

D. Neumann, S., & Hopf, M. (submitted). Students' Ideas about Nuclear Radiation – Before and After Fukushima. *International Journal of Science and Mathematics Education*. – submitted

Students' Ideas about Nuclear Radiation – Before and After Fukushima

Susanne Neumann & Martin Hopf

University of Vienna, Austrian Educational Competence Centre Physics

Porzellangasse 4/2, 1090 Vienna, Austria

This article presents the results of a trend study investigating what students associate with the term *radiation* and what ideas they have about this topic. The first part of the interview study was conducted in June 2010 and its major results were reported in a previously published article (SELF-CITATION). The findings showed that a lot of students had ideas about radiation that were not consistent with scientific concepts about this topic. The majority of students, for instance, generally perceived radiation, as something artificial and harmful. Light and heat radiation were not considered types of radiation by most of the students. Also, very few students reported about the natural occurrence of nuclear radiation. Two years later (June 2012), the interview study was replicated under similar preconditions in order to get an impression about a possible shift in possible changes of students' ideas. The goal of our study was also to investigate whether or not these shifts in students' perceptions could be linked to the tragic events of Fukushima (March 2011) which were extensively covered by the media and, according to information gathered during our interviews, also presented and discussed in science lessons. During the second phase of the interviews, 43 students were taken from the same 7 schools as in the 2010 party of the study. We also used the same interview guideline as in the 2010 study, made audio recordings, and partially transcribed the interviews. The outcomes of our comparison study showed that, compared to the students interviewed in 2010, a significantly higher percentage of students exclusively

associated nuclear radiation with the term *radiation* and their emotions towards the topic were more negative than those of the students in the first part of the study. A lot of students used the events in Fukushima as an example when talking about their feelings and associations. In the analysis of our open questions, we also found that, although a lot of teachers had included the events at Fukushima when discussing the topic *radiation*, many students had problems aligning their scientific knowledge to facts they had heard in media reports.

radiation – Fukushima - students' conceptions – interviews – trend study

Introduction

In science education, the enormous impact of students' own ideas on their learning has been recognized for a long time (Wandersee et al., 1994). A large number of research studies have found students' conceptions in many fields of science education that potentially influence students' learning. Also, theoretical models of the structure of these conceptions as well as strategies for conceptual change have been and continue to be published (Treagust & Duit, 2008a).

Students' conceptions about radiation in general

Studies about students' conceptions about *radiation* are, compared to research in other fields of science education, rather rare. Most of these studies focus on nuclear radiation. Only very few studies can be found that investigate students' conceptions about the topic *radiation* in general.

Florbela Rego and Luis Peralta (2006) used questionnaires to find out what students knew about this topic. In the questionnaire, which was administered to 1246 students, the researchers included general questions about radiation (e.g., "*Do all types of radiation produce the same effect in the human body?*") and also asked the students whether or not they had already heard of different kinds of radiation. In the second part of the questionnaires, the students were asked to state whether or not they thought

that certain statements about radiation were correct. These statements included sentences such as: “*Nowadays people are continuously exposed to several types of radiation*” or “*In some jobs and sports, people are more exposed to radiation*”. The results revealed that although 87.2% of students in grades 7 to 9 had heard of radiation, very few students were familiar with the term *ionizing radiation*. Even at university level, this figure turned out to be as low as 27.3%. Also, a minority of the students were able to identify what was meant by the term *visible radiation*. The second part of the questionnaire demonstrated that, although most students know that radiation has medical applications, they do not know about the differences between various kinds of radiation.

Since so little research could be found about students’ conceptions about radiation in general, our workgroup decided to perform an explorative study (SELF-CITATION) that investigated children’s associations with the term radiation at a rather young age (9 to 12 years old). All in all, 1026 students were asked to draw whatever images they associate with this word. Using a self-created and peer-evaluated category system, it turned out that the chosen motifs depended strongly on the age of the children. The vast majority of younger children drew sources of visible radiation (the Sun, flash lights), possibly influenced by the close connection of the German word *Strahlung* (meaning *radiation*) and the Sun. Older children in our study tended to include sources of invisible radiation such as mobile phones and nuclear power plants. Short interviews with a subset of the students contributed to a larger more detailed picture about general associations with the term radiation and the impression that the picture changes from ‘warm and pleasant’ to ‘dangerous and artificial’ was confirmed by the interview results.

Based on these findings, our workgroup carried out an interview study (SELF-CITATION) in which we investigated the previous knowledge and conceptions of 9th graders, an age level that corresponds to the end of compulsory education in our country. We included questions about their first associations with the term radiation and about corresponding emotions. The students were also asked to state whether or not they had heard about different kinds of radiation and what they knew about those types. Also, the concept of thermal radiation (“All bodies emit radiation”) was tested. One phase of the interview was dedicated to the students speaking freely about their conceptions. This phase was

initiated with cards showing different objects from everyday life, such as plants, animals or computers. The students were asked to rate which of these objects they would link to the term *radiation* and to explain in detail why (or why not). The main results of this study include the fact that the students' associations and emotions regarding the term *radiation* have very little to do with the scientific definition of the term. A lot of students were of the opinion that radiation is, at any rate, dangerous for the human body and that human beings should try to avoid exposure to radiation by all means. Also, many students thought that radiation is something artificial. The concept that light and heat are also types of radiation that are indubitably conducive to human life, was hardly known to any of the students interviewed. This interview study founded the base for a trend study on which we would like to report in this article.

Students' conceptions about specific kinds of radiation

The numbers of studies that have investigated students' conceptions about different kinds of radiation greatly vary, depending on the type of radiation. One of the most explored areas is students' ideas regarding light and optics (cf. Guesne, 1985; Jung, 1987; Smith, 1987; Watts, 1985). As these studies typically focus on students' conceptions about optics (shadows, mirrors, images, ...) and do not investigate conceptions about light as a form of radiation, we will omit the results of these studies in this paper.

Research results about students' ideas regarding UV and IR radiation are very scarce. One of the few studies was carried out by Libarkin et al. (2011) who examined 283 students in grades 6 to 12, using questionnaires, in-depth interviews and a panel discussion. One of their results was that students confused ultraviolet radiation with visible light, stating, for instance, that in the presence of UV one can see objects. With IR radiation, the researchers encountered problems investigating the corresponding students' conceptions because only very few students were familiar with this term. In our interview study (SELF-CITATION), we also included questions about UV and IR and found out that the students' conceptions about these types of radiation were dependent on the context in which students would place these types of radiation. UV,

for instance, was sometimes rated as blue and harmless. This was mainly the case for students who associated UV with disco lights or dentist treatments. Infrared radiation was overwhelmingly linked to the wireless data transfer on mobile phones and thus perceived as invisible and harmless.

More interest has been drawn to students' conceptions about nuclear radiation. Especially in the aftermath of after the reactor accident in Chernobyl, some studies investigating students' ideas about nuclear radiation were conducted. Harrie Eijkelhof published the results of several studies in his doctoral thesis (Eijkelhof, 1990) and together with other researchers, such as Robert Millar, Piet Lijnse and Cees Klaassen, in several articles (e.g. Eijkelhof et al., 1990; Lijnse et al., 1990; Millar et al., 1990). After a Delphi study using questionnaires answered by 63 experts on radiation, the workgroup scoured newspapers to detect alternative conceptions about radiation risks. Also, they administered questionnaires to high-school students and conducted in-depth interviews. Using these methods, they found a number of ideas that students and the general public have about nuclear radiation, e.g. the idea that food which is exposed to ionizing radiation stores this radiation or the idea that radiation could accumulate in a human body. Also, they demonstrated that a lot of students have scientifically unacceptable ideas about the transfer of radioactive substances and the process of radiation. For example, many students apparently believed that radiation itself could be spread by the wind or that human beings could be contaminated with radiation.

Edward Boyes and Martin Stanisstreet (1994) investigated students' conceptions about nuclear radiation by analyzing 1365 closed-form questionnaires, followed by interviews with a sub-set of 60 randomly chosen students. One of their major findings was that only very few students knew about natural sources of radioactivity. A lot of students also deemed radioactivity responsible for exacerbating the greenhouse effect and the depletion of the ozone layer.

When doing research about students' ideas about nuclear radiation, the field of risk perception also plays a vital role. Paul Slovic (1996) was able to find factors that influence how the public views the use of nuclear radiation arising from human activities. He showed that whether or not people rate radiation as harmful primarily

depends not on the type of radiation but on the context in which the radiation is used. A lot of people, for instance, rated ionizing radiation for medical purposes as harmless whereas in the context of food irradiation it was rated as harmful.

Few studies, evidently, have been able to investigate pre/post-effects of nuclear accidents on risk perceptions or on students' conceptions about radiation. Klingman, Goldstein and Lerner (1991) were interested in how the Chernobyl accident influenced the attitudes of 96 students related to nuclear threat. By administering a questionnaire (the Nuclear Threat Index) before and after the incident, they were able to find that the older the students were, the more pessimistic they became regarding nuclear issues after Chernobyl. The older students did, however, report fewer nuclear-related activities (e.g. talking to their parents or searching for information) than the younger students after Chernobyl. When analyzing the changes before and after Chernobyl, they also found that the number of nuclear-related activities had decreased, a fact that the authors of the study suggested to trace back to a possible saturation of information by the extensive media coverage. Cees Midden and Bas Verplanken (1990) published a study in which they reported how the nuclear attitudes of adults and their perceptions of risks and benefits of nuclear technology changed a certain period after the Chernobyl accident. One of the results was that those people who supported nuclear power turned out to be less stable in their attitudes than those who opposed this technology.

At the beginning of our research related to students' ideas about radiation, our workgroup only aimed to contribute to science education research in the field of students' conceptions. After the tragic events of Fukushima, however, we decided to take this opportunity to start two trend studies that will support and enhance the few existing pre/post-studies about children's associations with the term radiation as well as about older students' attitudes towards nuclear issues.

First, we replicated the analysis of children's drawings as described above. Pre/Post-effects relating to the events at Fukushima included the fact that students of all investigated age levels, girls as well as boys, chose more motifs related to nuclear issues. In the interviews, we found that most students had heard of the events in Fukushima

and often referred to this accident when talking about nuclear radiation (SELF-CITATION).

The design and results of our second trend study (replication of the interview study) will be the focus of this article.

Research Questions

Our trend study had two major aims: First, it was self-evident that we wanted to test whether or not certain students' ideas about radiation, in general, remained the same and would also be shown in a replicative study two years after the original study. In this article, however, we would like to present and discuss the second aim of our trend study: to find out about students' ideas about nuclear radiation. We will therefore omit reporting the stability of conceptions about other types of radiation such as ultraviolet and infrared.

The research questions that we aspired to answer were the following:

- How did students' perceptions about radiation (especially nuclear radiation) change in a trend study before and after Fukushima?
- Which evidence can be found that these changes originated (at least partially) from the media reports or other sources as a result of the events at Fukushima?

Research Design

Our study was designed as a trend study based upon one of our previously published investigations (SELF-CITATION). We chose June 2012 as the date for the second part of our study, exactly two years after the first part and fifteen months after the nuclear disaster in Fukushima. We selected this date for two reasons: First, the date should not be too close to the tragic incident but approximately one year afterward, in order to excite long-term memories of the interviewed students. Second, the setting of the

interviews should be as similar as possible to the first part of the study. Choosing the same month allowed for similar background conditions in the students' private lives and school environment, e.g. no more exams and/or the students' anticipation of the summer break.



Fig.1: Timeline of Research Design

In order to keep the preconditions as similar as possible, we aimed to include students of the same schools as in the first part of the study. From the eight schools which participated in 2010 (all of them in urban areas, but different types of schools from different districts), seven schools agreed to participate again. One school, however, could not take part in the 2012 study. This is why we removed the data of this school from the 2010 database. All in all, in the second part of our study, we conducted interviews with 43 students attending grade 9 with a mean age of $m = 15.6$ ($s = 0.6$). The students selected for the interviews were taught by the same teachers as in 2010. The science curriculum had not been changed in the meantime. However, we were not able to account for changes in the individual teaching methods of the teachers or the specific content of the science lessons that each of the students had already attended. We have to concede that these variables could have changed in the time between the two studies. We asked the teachers to select students from their classes with diverse school performances so that we would get a mixture of over- as well as underachieving students in each school. Also, the girls-boys ratio was selected to be comparable in the two studies as well as representative of the total student population in Austria. All participating students volunteered to take part in the interviews.

	male	female	total
Interview Study (Part I) - 2010	22	21	43
Interview Study (Part II) - 2012	23	20	43

Table 1: Database 2010 vs. 2012

The semi-structured interviews followed exactly the same interview guideline as 2010. The person conducting the interviews was also the same as in 2010. The complete interview guideline can be found in the appendix of this article. In our first study, we created the interview guideline and had it peer-evaluated. After three test runs followed by emendations of the questions and their specific order, the guideline was completed and was not altered again before the 2012 study. All interviews were audio-recorded and partially transcribed. The category system that underlies the analysis of the semi-open questions had already been developed and peer-evaluated during the first part of the study and was re-used in the 2012 study.

Results

As an opening question in the interviews, we asked the students to simply **list some words that spontaneously came to their mind when they heard the term *radiation***. For this part of the study it was especially interesting to analyze how many students listed words that were related to nuclear radiation and how many listed words exclusively in this category. In order to get an impression of the variety of words that we classified into this category, we list some frequently mentioned words in fig. 2.

nuclear power plant, Fukushima, Chernobyl, radioactivity, half-life, alpha/beta/gamma radiation, atomic bomb, radiation sickness, irradiation, nuclear meltdown ...

Fig.2: Sample of Words from Category "Nuclear Radiation"

The analysis (see fig. 3) showed that in the second part of our study, 90.7 % of the students spontaneously associated words related to nuclear radiation with the term

radiation. This figure is significantly higher than the percentage of the 2010 study (65.1%). A χ^2 -test gave a significance level of $\chi^2 = 8.17$, $df = 1$, $p < .01$. The difference between the two parts of the study was even stronger when we compared the number of students who only associated words related to nuclear radiation and did not list other words (unlike, for instance, students who listed nuclear power plants and UV-radiation). The percentage of those students significantly increased from 23.3 % in 2010 to 60.5 % in 2012 ($\chi^2 = 12.23$, $df = 1$, $p < .01$).

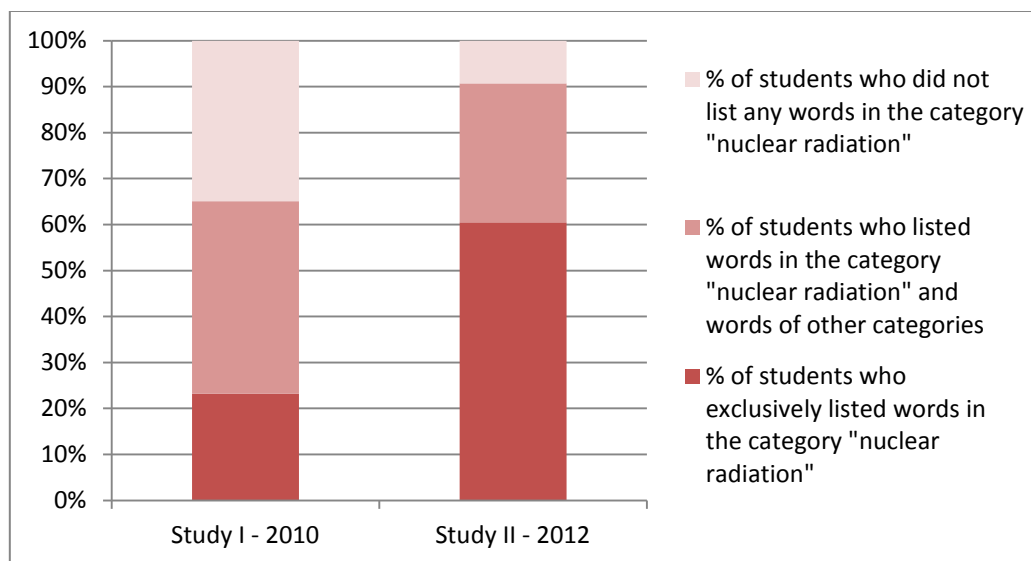


Fig.3: How Many Students Associated Words Related to Nuclear Radiation?

We also analyzed the frequency of specific words that were listed in both studies. Fig. 4 cites the ten most frequently associated words in study I and study II, respectively. It can be seen how the absolute frequency of (nearly all) words related to nuclear radiation increased in the 2012 study and the frequency of words related to other aspects of radiation (the Sun, UV, mobile phones) decreased.

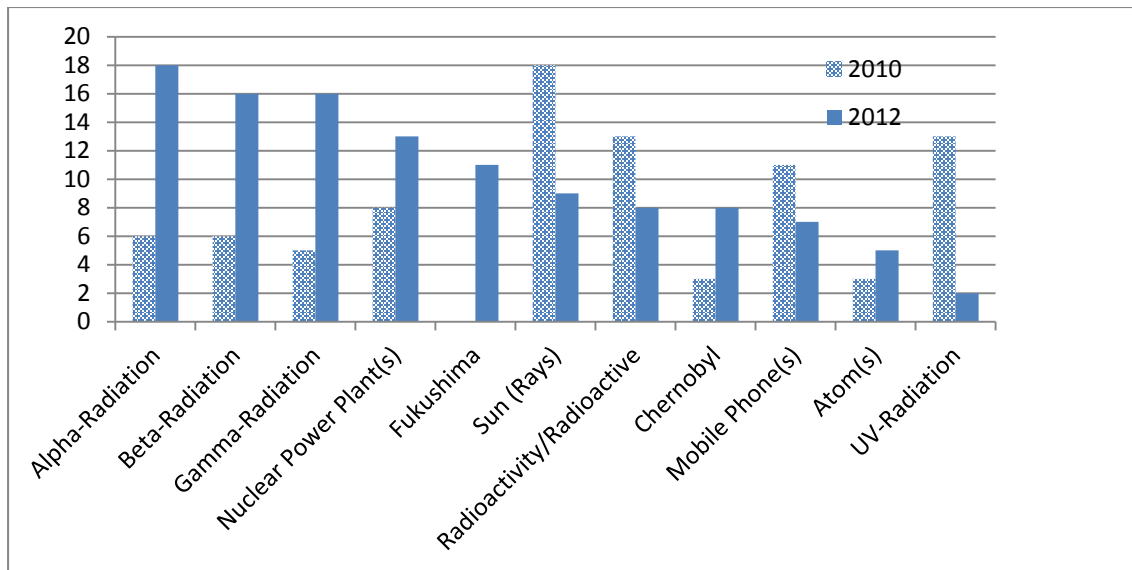


Fig.4: Specific Words Associated With "Radiation"

In order to find out more about the students' spontaneous associations, we then asked them to tell us about the **feelings they have when confronted with the term radiation** and to give reasons why. Fig. 5 shows that a difference between the two parts of the studies could be found. In 2012, 11.6 % more students reported that they associated negative feelings with the term radiation, while 11.6 % fewer students reported to have mixed feelings. These differences, however, were not found to be significant and, thus, only show a trend in our sample.

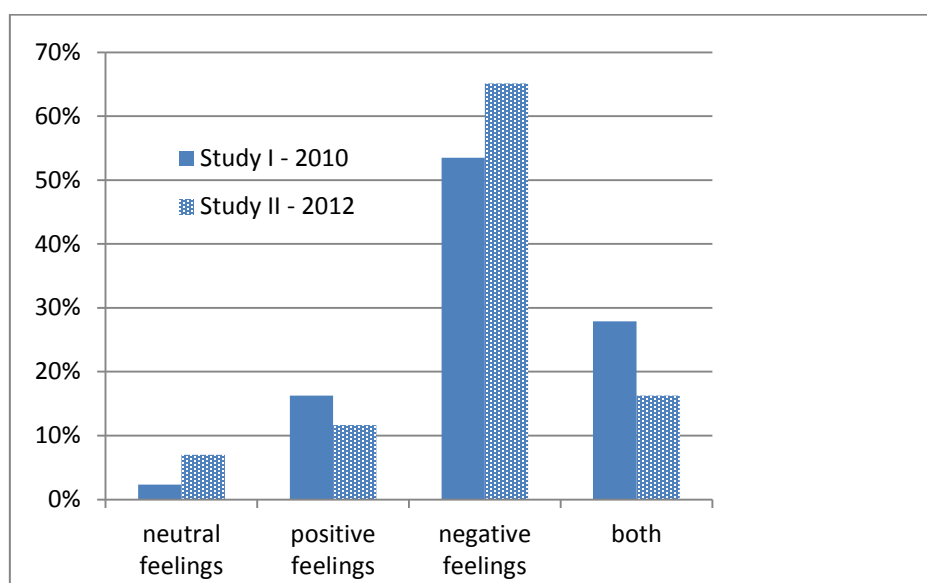


Fig.5: What Feelings Do Students Have When Confronted with the Term Radiation?

The interview guideline also included a section where the students were asked whether or not they had heard of different types of radiation, e.g. infrared, ultraviolet, X-rays and nuclear radiation. Then, the students were asked to **rate the risk potential** of those types of radiation. As there were no substantial differences detected between the 2010- and the 2012-study, we would like to refer the reader to our previous article (SELF-CITATION) in order to find out about students' ideas about risk potential. In this article, we would like to report only one finding related to the students' perception of risk potential. In this context, we present the findings based on the combined sample of 2010 and 2012 (although the same idea can also be found in both samples independently).

The interviewed students demonstrated a very different reaction pattern when asked to rate the risk potential of X-rays and nuclear radiation, respectively (see also fig. 6). Although 38.4 % of the students characterized X-rays as harmless for the human body, none of the 86 students suggested that about nuclear radiation. For the vast majority of students (92.4 %) there was no doubt about the hazardous nature of nuclear radiation, while only 32.6 % considered X-rays to be unrestrictedly harmful.

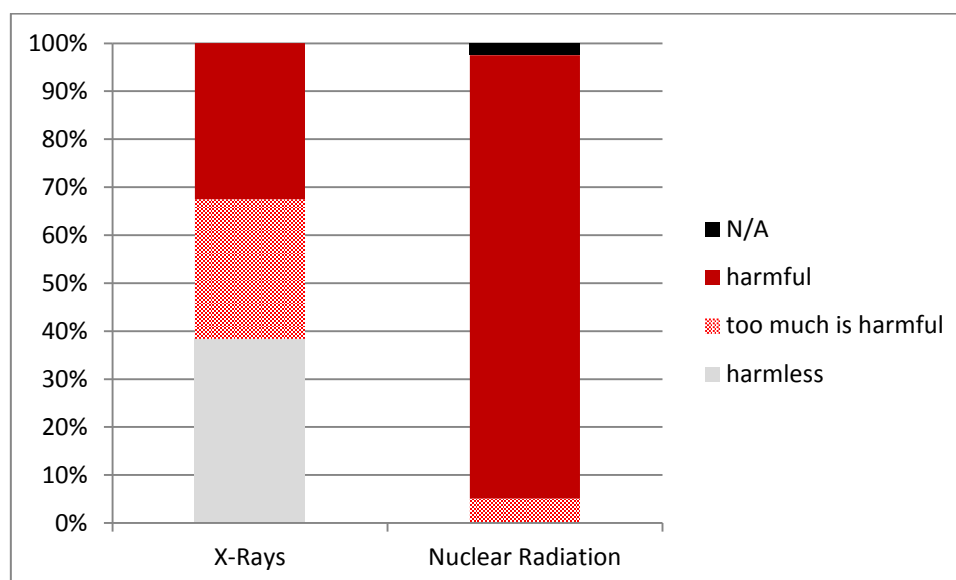


Fig.6: How Students Rated the Risk Potential of Specific Types of Radiation

To get an impression of the arguments that the interviewed students used, we would like to present some typical comments from those students who rated X-rays as harmless:

“I don’t think that X-rays are harmful. If they were, we would not use them in medicine.”
(I 35, Study 2010)

“Of course, they are not harmful. I have done it a million times and it’s perfectly okay.” (I 36, Study 2010).

“X-rays? No, they are not dangerous.” – “Why don’t you think so?” – “Why should they be? What you do, is only taking pictures, pictures of your bones.” (I 12, Study 2012)

In our interviews, we also asked the students if they could **remember any topics related to radiation** that had been discussed previously **in school**. In the Austrian science curriculum the topic of radioactivity is explicitly planned for grade 8, so we could expect the majority of our interviewees (all of them attending grade 9) to have heard about nuclear radiation in school. The fact that the accident in Fukushima had happened a year previously, when the interviewed students were attending grade 8, could have given the teachers an opportunity to connect the curricular topic to current events. What we found was that 37 out of the 43 interviewed students remembered that they had discussed the topic radioactivity in science lessons, 13 of these students explicitly mentioned that the accident of Fukushima had been a specific theme in science lessons. Some of the students even told us about cross-curricular activities and projects centered around the incident at Fukushima, which also involved subjects other than science.

The major aim of the interviews, in both parts of the study, was to detect students’ conceptions about radiation. This is why we also included open questions (see questionnaire in the appendix) that would give the students the chance to talk freely about their ideas related to the topic. When we analyzed the answers of those questions we also discovered several ideas about nuclear radiation that we find worth reporting. For students’ conceptions about radiation in general and types of radiation other than nuclear, we would like to refer the reader to the analysis of our first study (SELF-

CITATION). All students' ideas presented in the previously cited article, for instance, the idea that radiation is always something harmful and artificial or the idea that light is not a type of radiation, were discovered again in the 2012-interviews. Therefore we are now only going to present those **students' conceptions that relate to nuclear radiation**. All of the following students' conceptions could be found in the 2010- as well as in the 2012-study.

- **There are no positive aspects of nuclear radiation.**

A very remarkable result of our interviews was the fact that, when students talked about nuclear radiation, most of them only mentioned its negative aspects. Overall, there was only one student who argued that nuclear radiation is also used in medicine (although in the same statement, she confused it with chemotherapy). All of the other interviewees only talked about the hazardous aspects, usually illustrating their point by listing accidents in nuclear power plants (Chernobyl, Fukushima). It cannot be ignored, however, that all of the reported students' comments are only statements that they delivered unsolicitedly because the interview guideline did not contain specific questions about positive aspects of nuclear radiation.

- **Radiation is confused with radioactive substances.**

This students' idea, which has also been identified in previous studies (Boyes & Stanisstreet, 1994; Eijkelhof, 1990) cannot only be explained by a technically incorrect use of the words but several comments from the interviewed students show that the scientific concepts behind these words were not understood. A lot of students, for instance, were able to remember that gamma radiation can penetrate thick walls. However, their confusing the differences between radiation and radioactive particles made it impossible for them to explain why the wearing of raincoats is recommended after a nuclear accident.

"I've heard that there are those plastic suits you should wear, but to be honest I think this is a lie because nuclear radiation goes through that material anyway." (I 23, Study 2010)

"If I eat, let's say, mushrooms [after a nuclear breakdown], I would have the radiation inside of me." (I 4, Study 2012)

"On the news I saw that the workers in Fukushima were wearing those masks so that they would not inhale the radiation." (I 41, Study 2012)

- **The statement "All objects emit radiation." is true because nowadays everything is contaminated with nuclear radiation.**

Although our purpose for testing this statement was to find out whether or not students consider thermal radiation plausible, we discovered that some students affirm this statement not because they had a profound understanding of thermal radiation, but rather because they attributed it to nuclear radiation.

"Why should I not believe that the table, for instance, emits radiation? It is made of wood and that's definitely contaminated with a little bit of radioactive radiation." (I 20, Study 2010)

"I think that has changed over time. A Hundred years ago, of course, there was not so much radiation. But nowadays everything contains radiation. A little bit at least." (I 8, Study 2012)

"I also think that flowers emit a little bit of radiation, especially if they grow in the neighborhood of Fukushima." (I 25, Study 2012)

- **Gamma radiation consists of waves, every other type of radiation travels in a straight line**

One question included in our interview guideline requested that the students draw an object that emits radiation. We were not only interested in the objects that students would choose to depict, but also in the way that students would use to illustrate the

process of emitting radiation. What we found was that most students used sun-ray like straight lines for picturing the process of emitting radiation independent from the object they drew (e.g. mobile phones, nuclear power plants, nuclear waste), see fig. 7.

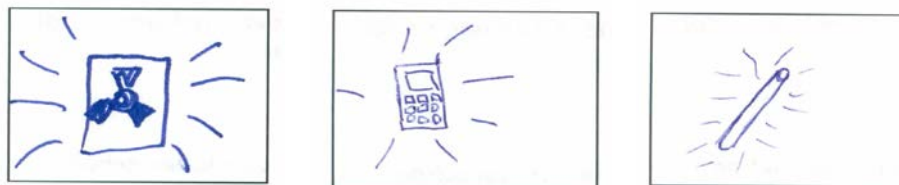


Fig.7: How Students Depicted the Process of Emitting Radiation

Some students, however, included waves in their drawings. If this was the case, we asked them why they chose this way of illustrating radiation. None of the interviewed students could give a scientifically satisfactory answer.

“Of course this radiation wants to go in a straight line. But there are molecules in the air and so the radiation is bent around them like this (showing a wavy motion with his hand).” (I 5, Study 2010)

“It depends on the kind of radiation. It’s only gamma radiation that travels up and down like a wave. Everything else spreads out in straight lines.” (I 41, Study 2010)

“I really have no idea why I drew a wave. I think I’ve seen it in my physics text book that gamma travels up and down and has a wavelength, right? And alpha radiation goes straight, just like light coming from a laser.” (I 14, Study 2012)

The analysis of the open questions also made it possible to investigate whether or not the interviewed students in the 2012 study would **refer to the accident in Fukushima** when talking about nuclear radiation. We already showed in this chapter that 11 out of the 43 interviewed students included the word *Fukushima* in their spontaneous associations with the term *radiation*. Also, 13 students (7 of which had not listed Fukushima as one of their associations) mentioned Fukushima after having been asked about radiation topics discussed in school. In addition to that, we also found evidence in

the open questions for the hypothesis that students referred to the Fukushima accident when talking about nuclear radiation. They told us about media reports, discussions with their parents and documentaries they watched about the disaster. It seems noteworthy to mention that a lot of students used Fukushima to illustrate their specific ideas and conceptions about nuclear radiation described above.

“It’s clear that nuclear radiation is a bad thing. Everybody knows about this thing that happened in Fukushima.” (I 3, Study 2012)

“Radiation is something we cannot see with our eyes. That makes it so difficult to detect it. Just like in Fukushima when the workers needed measuring devices.” (I 37, Study 2012)

“On the news, I saw that the workers in Fukushima were wearing those masks so that they would not inhale the radiation.” (I 41, Study 2012)

Discussion

From the results described above, it seems to be conclusive that students tend to equate the term *radiation* with nuclear radiation. The results also show that this has been ever more since the events of Fukushima.

The outcomes of our study demonstrate that the term (*nuclear*) *radiation* seems to be nearly exclusively associated with negative emotions. Students in our interview associated accidents in nuclear power plants and hazards of nuclear waste with the term. In our opinion, however, students should also be familiar with applications of nuclear radiation that are beneficial to mankind so that their feelings will not solely tend to the negative side. From the interviews, it seems to be apparent that the risk perception of the students was closely related to the students’ knowledge about applications in technology and medicine. X-rays were rated much less hazardous than nuclear radiation because students associated benefits for mankind with this kind of radiation. This result is consistent with the outcomes of Slovic’s study (1996) which

found that the general public's attitude about ionizing radiation is largely dependent on the context.

The interviews also revealed how large the impact of media reports on students' perceptions is. Nearly all of the students reported that they had heard about the Fukushima incident in the media. Also, the families and friend circles seemed to be a major source of students' knowledge. It should not be concealed, however, that a lot of students also stated that they had discussed this topic in school. This demonstrates that a lot of teachers were able to successfully implement current issues into their science teaching.

In spite of the fact that a large number of science teachers had obviously included Fukushima in their lessons, it seems disturbing to see how many students showed major difficulties when trying to align the facts about nuclear radiation (which they apparently had learned in school) with facts they heard from various media reports. This inconsistency could result from the way teachers used the news reports: If they only implemented the Fukushima incident as an impulse for their teaching and did not thoroughly draw relationships between the news reports and the scientific background, this could have led to the learning difficulties found among the interviewed students.

Conclusions and Implications

Both our previous interview study (SELF-CITATION) as well as the current study show how biased the majority of students are regarding the term *radiation*. For most of the students interviewed, the term radiation was equivalent with what scientists call nuclear radiation. This leads to the results that could be shown in both interview studies, in 2010 as well as in 2012: A lot of students are convinced that radiation is, under any circumstances, harmful and should be avoided by any means. Radiation is also seen as something artificial that could not occur without man-made technology. From a science education perspective, these results appear to be problematic as one aim in science learning should be to perceive radiation as a neutral term. Besides nuclear radiation, students should be aware of other types of radiation (such as light, infrared radiation, ...)

and of the natural occurrence of different types of radiation. Considering these widespread students' ideas, the topic *radiation* should be addressed in detail in the science classroom. Teachers should be aware of the associations and the pre-existing knowledge that students bring with them. General suggestions for effectively introducing and explaining the topic *radiation* can already be found in (SELF-CITATION). In this article, we would like to add some ideas for teaching *nuclear radiation* in the science classroom. Some aspects that teachers should focus on are the following:

Nuclear radiation is only one of many different types of radiation.

Since the majority of the students in our study equated *radiation* with *nuclear radiation*, it seems to be absolutely necessary to introduce and discuss other types of radiation when talking about nuclear radiation. This will make it easier for students to broaden their associations with the word *radiation*. Introducing light and thermal radiation as part of the electromagnetic spectrum will help the students to understand that radiation is not necessarily harmful nor invisible.

The sources of nuclear radiation are, to a very large extent, of natural origin.

Most of the students have already heard something about nuclear radiation, mostly in the context of nuclear power plants or nuclear weapons. However, it is highly probably that they are completely oblivious to nuclear background radiation which comes from natural sources like from the soil and from space. As this is the major source of nuclear radiation that people on Earth are exposed to, it is very important for teachers to make their students familiar with those natural sources. Having discussed nuclear background radiation, students will find it easier to not exclusively perceive nuclear radiation as something artificial and man-made.

In technology and medicine, the use of nuclear radiation is beneficial to human beings.

In our study, the majority of students reported their negative emotions regarding the term *radiation*. Also, when discussing nuclear radiation, they almost always mentioned negative aspects of nuclear radiation, for instance (e.g. accidents that happened in nuclear power plants). We assume that these biased emotions towards nuclear radiation stem not only from media reports but are also generated and/or reinforced in the

science classrooms. Beneficial applications of nuclear radiation seem to take up very little time, if any, in science lessons.

Apart from finding out about students' conceptions about (nuclear) radiation, the trend aspect in our study also allowed us to investigate how these ideas changed over time. Our results, thus, contribute to the knowledge gained from other pre/post-studies that investigated the change in people's attitudes towards nuclear radiation before and after nuclear accidents (cf. Klingman et al., 1991). In this context, it also seems striking how much students' conceptions can be influenced by current events and media reports. Evidently, the topic *radiation* might easily be assumed to be one of the science topics where students' associations and conceptions change rapidly due to the prominent role of this term in the students' everyday lives. We suggest, however, that this is not the only topic in which students' ideas might vary over time and it could be interesting to see more trend studies in various fields of research on students' conceptions.

Appendix

Interview Guideline

Question 1: Please list some words that spontaneously come to your mind when you hear the term 'radiation'?

Question 2: When confronted with the term 'radiation', what feelings do you have? Why?

Question 3: I am going to show you pictures of different objects. Which of these objects do you associate with the term 'radiation'? Why?

The pictures associated with this question showed the following motifs (due to copyright, these pictures cannot be published but can be sent upon request): an X-ray photograph of a foot, a mobile phone, a computer screen with keyboard and mouse, a factory, windmills, a flower, a dog, a campfire, a nuclear power plant, stars in the night sky, a beach with a sunshade, an I-Pod, a TV-set and a child watching TV, a man, a

woman in a tanning booth, kids playing a video game console, a mobile phone tower, a laser pointer

Question 4: I am going to list some specific types of radiation (mobile phone radiation, microwave radiation, infrared radiation, visible radiation, UV radiation, X-radiation, nuclear radiation). Please tell me whether or not you have heard of them, in what context you have heard of them, and if you think these types of radiation are harmful. Can they be detected by the human eye?

Question 5: Have you already discussed 'radiation' in physics class or in any other subject? Tell me what you have discussed.

Question 6: Do you think you should protect yourself against radiation? Why (not)? How can you do that?

Question 7: On this sheet of paper, please draw an object that emits radiation.

Question 8: You read in a magazine that all objects emit radiation. Do you think this could be true? Why (not)?

References

- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1994). Children's Ideas about Radioactivity and Radiation: sources, modes of travel, uses and dangers. *Research in Science and Technological Education*, 12(2), 145-160.
- Eijkelhof, H. (1990). *Radiation and Risk in Physics Education*. Unpublished Dotoral dissertation, Utrecht.
- Eijkelhof, H., Klaassen, K., Lijnse, P., & Scholte, R. L. J. (1990). Perceived Incidence and Importance of Lay-Ideas on Ionizing Radiation: Results of a Delphi-Study among Radiation-Experts. *Science Education*, 74(2), 183-195.

- Guesne, E. (1985). Light. In R. Driver, Guesne, E. , Tiberghien, A. (Ed.), *Children's ideas in science* (pp. 10-33). Milton Keynes: Open University Press.
- Jung, W. (1987). Understanding students' understanding: the case of elementary optics. In J. Novak (Ed.), *Proceedings of the 2. Int. Seminar "Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics"*, Vol. III (pp. 268-277). Ithaca: Cornell University.
- Klingman, A., Goldstein, Z., & Lerner, P. (1991). Adolescents' response to nuclear threat: Before and after the chernobyl accident. *Journal of Youth and Adolescence*, 20(5), 519-530.
- Libarkin, J., Asghar, A., Crockett, C., & Sadler, P. (2011). Invisible misconceptions: student understanding of ultraviolet and infrared radiation. *Astron Educ Rev*, 10(1).
- Lijnse, P. L., Eijkelhof, H. M. C., Klaassen, C. W. J. M., & Scholte, R. L. J. (1990). Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12(1), 67 - 78.
- Midden, C. J. H., & Verplanken, B. (1990). The stability of nuclear attitudes after chernobyl. *Journal of Environmental Psychology*, 10(2), 111-119.
- Millar, R., Klaassen, K., & Eijkelhof, H. (1990). Teaching about Radioactivity and Ionising Radiation: An Alternative Approach. *Physics Education*, 25(6), 338-342.
- Rego, F., & Peralta, L. (2006). Portuguese Students' Knowledge of Radiation Physics. *Physics Education*, 41(3), 259-262.
- Slovic, P. (1996). Perception of risk from radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, 68(3-4), 165.
- Smith, D. C. (1987). Primary teachers' misconceptions about light and shadows. In J. Novak (Ed.), *Proceedings of the 2. Int. Seminar "Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics"*, Vol. II (pp. 461-476). Ithaca: Cornell University.

- Treagust, D. F., & Duit, R. (2008). Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3(2), 297-328.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). New York: Macmillan.
- Watts, M. (1985). Students' conceptions of light - a case study. *Physics Education*, 20, 183-187.

Three misconceptions about radiation – and what we teachers can do to confront them

During the last few years teaching physics I have been noticing that my students have become more and more interested in the topic radiation. Mobile phones, modern game consoles and WiFi – all of these devices involving some kind of radiation are part of our students' everyday lives. Students are also frequently confronted in the media with debates relating to different types of radiation: What are the effects of nuclear contamination going to be after the Fukushima accident? Can radiation from mobile phones really cause cancer? Should the use of tanning booths be forbidden for teenagers? Although students seem to be very motivated to learn about the topic radiation, I have encountered several misconceptions about this topic that my students bring into the physics classroom. Some of these misconceptions might be caused by biased media reports while others can be attributed to a different usage of the word *radiation* in everyday language (when compared to the scientific usage of this term). In this paper, I would like to present the most common misconceptions about *radiation* that I have encountered in my physics courses and I would like to give some ideas how to confront these ideas in teaching. A detailed description of these misconceptions discovered through empirical research can be found in one of my research articles¹⁶.

Radiation is artificial.

A lot of my students (and also the students who participated in our interview study mentioned above) think that radiation is a direct result of technological progress. Students sometimes assume that living far away from congested urban and industrial areas will greatly reduce radiation exposure or that some centuries ago there was no

¹⁶ Susanne Neumann, Martin Hopf, "Students' Conceptions About 'Radiation': Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students," *Journal of Science Education and Technology*, 2012, p. 1-9.

radiation at all. They perceive radiation as something that is produced by electrical devices or comes from nuclear power plants. These kinds of students find it very hard to believe that all objects emit radiation as a result of their temperatures. Paul Hewitt¹⁷ clearly illustrated not only how difficult this concept is for most students to understand, but for adults as well. Also the idea that most of the nuclear radiation that we are exposed to comes from natural sources does not seem plausible to these students.

A possible source of this misconception could lie in the linguistic difference between everyday language and scientific language (see fig. 1). The term *radiation*, when used in media reports and daily speech, mostly refers to nuclear radiation and reports about nuclear radiation are usually confined to debates about nuclear power plants. The topic of natural background radiation, on the other hand, can hardly ever be seen in the media.



Fig. 1 - What is on our students' minds when we teach about radiation?

Another reason why so many students believe this conception might also be the way we teach about radiation in school. The focus (at least in most European curricula) seems to be on nuclear radiation and the first (and sometimes only) measuring device for radiation levels that students see is a Geiger-Mueller tube.

¹⁷Paul Hewitt, "Which of these continually emits electromagnetic radiation?," *The Physics Teacher* 40, p.

Being aware of this student conception, I try to put an emphasis on the natural occurrence of nuclear radiation when teaching nuclear physics. I also focus on the fact that even human beings emit nuclear radiation and that this phenomenon can be used for C-14 dating. Even more promising when dealing with this misconception, to me, is the idea of using infrared cameras.¹⁸ With their help it is easy to show that all objects (houses, human beings, animals, plants and even cold objects like ice cubes) emit radiation.

Radiation is harmful.

Let me suggest the following quick assignment: Ask your students to raise their hands if their first associations with the term *radiation* are predominantly positive. You will probably end up with the vast majority of students not raising their hands or even staring at you in bewilderment. Obviously, the scientifically neutral word *radiation* has a frightening connotation for the majority of people. Why is that? Maybe, an analysis of media reports can provide us with an answer¹⁹.

Articles about the potential hazards of mobile phone radiation and the aftermath of Fukushima clearly outnumber the reports about beneficial aspects of radiation. And, of course, what does not show up in the media at all is the fact that human life would be impossible without radiation from the visible part of the spectrum as well as the heat transport by radiation.

So, let's take a peek into the science classroom. Which topics do we discuss when we teach about radiation? Clearly, potential harms of different kinds of radiation as well as

¹⁸ A number of articles about the use of IR cameras in science classes have been published. See, for instance:

- Michael Vollmer et al., "There is more to see than eyes can detect," *The Physics Teacher* 39, p. 371-376.
- Charles Xie & Edmund Hazzard, "Infrared Imaging for Inquiry-Based Learning". *The Physics Teacher* 49, p. 368-37.
- Mills Allan, "An inexpensive digital infrared camera", *Physics Education* 47, p. 297.

¹⁹ See, for instance: James S. Dickson, "Radiation meets food," *Physics Today*, 65, p. 66-67.

safety measures are inevitable contents of our courses. But do we really put an equal emphasis on beneficial applications in everyday life, medicine and technology? Do we really make it clear to our students that, without infrared radiation, life on Earth would be impossible?

Teaching our students a differentiated concept about *radiation* could be a powerful tool to foster their critical thinking abilities (and, of course, also their content knowledge). Students should learn that, in most situations, it does not make sense to label something as generally harmful or harmless. IR-radiation of low intensity will give you the perfect steak at your barbecue party, whereas a high intensity will burn your skin. Visible radiation of rather low intensity will help you perceive your environment, whereas a high intensity will be harmful to your eyes.

In order to stimulate the students' minds and to promote discussions in the science classroom, I often hand out a sheet to my students with statements like "Visible radiation is harmless" or "We should avoid UV-radiation by all means" and ask the students to decide if they agree or disagree with those statements²⁰. The more students discuss their opinions with their peers, the more likely they are to come up with differentiated views about these statements.

Radiation is invisible.

The idea that light itself is a type of radiation and is, therefore, very closely related to X-rays or microwaves, is a very difficult concept for my students to fully understand. Light, in their opinion, is very different from radiation: it is visible, whereas my students usually consider radiation to be invisible, and light seems to be exclusively associated with positive emotions. In many classroom situations I have heard my students talking about light and radiation as different concepts. When I ask them if stars emit radiation, for instance, most of them would answer that stars emit different kinds of invisible radiation and also light, but would usually not consider light to be a specific type of radiation. An exception seems to be the light coming from lasers: for some students,

²⁰ The worksheet can be sent on request via e-mail (susanne.neumann@univie.ac.at).

light emitted by lasers is a type of radiation, but those students would usually not say this about light coming from light bulbs.

A very interesting classroom discussion might also be sparked by asking the question of whether or not ultraviolet and infrared radiations are visible. The surprising thing to me was that you will find it easy to predict your students' answers if you first ask them about their associations with those terms. These students who associate infrared radiation with heat lamps usually tend to describe infrared as "red light" and therefore visible. Students, however, whose first associations have something to do with the way IR is used in transferring data via their mobile phones, for instance, will not find it hard to attribute invisibility to IR. The same seems to be true for UV: Those students who have seen UV lamps that also emit blue light will find it quite hard to understand that UV is actually invisible.

How can we make it easier for our students to understand that there is invisible as well as visible radiation? Several teaching ideas about the electromagnetic spectrum can be found and are often used in the science classroom²¹. When showing rainbow experiments, for instance, I always try to address the idea of IR, UV and other types of radiation, and stress out that light is just one small sector of the spectrum that we human beings happen to be able to perceive. In order to show students that IR cannot be detected with the human eye, I recommend the implementation of IR-diodes²². In a science fair, we used IR-diodes in a poster: For several multiple-choice questions on the poster, we put an IR-diode as a bulletin point next to each answer (see fig. 2). The IR-diodes next to the right answer were connected to a power source and therefore were not perceived to be lit up with the naked eye. When people passing by viewed the diodes through their mobile phone camera however, they could check their answers since most digital cameras are sensitive to the IR part of the spectrum.

²¹ Hakan Isik & Kemal Yurumezoglu, "Two Simple Activities to Bring Rainbows into the Classroom," *The Physics Teacher* 50, p. 38-39.

²² James O'Connell, "Decoding the TV remote control," *The Physics Teacher* 38, p. 6.



Fig. 2 - An interactive poster using IR diodes.

Further Reading

Being aware of the ideas that are on our students' mind is a crucial point in supporting our students in their learning progress. To find out more about students' conceptions in science, I recommend Rosalind Driver's book "Children's Ideas In Science"²³, which provides an excellent overview of this field.

Susanne Neumann has been teaching physics in an Austrian secondary school for 10 years. She is currently pursuing her PhD in science education research at the Austrian Educational Competence Centre Physics (University of Vienna).

University of Vienna, AECC Physics; susanne.neumann@univie.ac.at

²³ Rosalind Driver, Edith Guesne & Andrée Tiberghien, "Children's ideas in science" (Open University Press, Milton Keynes, Philadelphia, 1985).

III. Diskussion und Ausblick

Wie aus den bereits publizierten bzw. zur Publikation eingereichten Zeitschriftenartikeln A bis E hervorgeht, konnte das Dissertationsprojekt wesentlich dazu beitragen die Forschungslücke im Bereich Schülervorstellungen zum Thema *Strahlung* zu verkleinern.

In einem ersten Schritt wurde mit Hilfe von Kinderzeichnungen untersucht, was Schülerinnen und Schüler der 4. bis 6. Schulstufe mit dem Begriff *Strahlung* verbinden, bevor dieses Thema im naturwissenschaftlichen Unterricht behandelt wurde. Dazu wurden die Motive in 509 von Kindern der genannten Altersgruppe angefertigten Zeichnungen nach einem peer-evaluierten Kategoriensystem ausgewertet. Es stellte sich heraus, dass die Probandinnen und Probanden bevorzugt Quellen sichtbarer Strahlung (z.B. Sonne, Taschenlampen, ...) als Motive für ihre Zeichnungen wählten. Je älter die Schülerinnen und Schüler jedoch waren, desto häufiger zeichneten sie ausschließlich oder zusätzlich Quellen unsichtbarer Strahlung, wie z.B. Kernkraftwerke und Mobiltelefone. Eine Abhängigkeit der Motivwahl vom Geschlecht wurde nur in einer Kategorie („Motive im Zusammenhang mit nuklearer Strahlung“) festgestellt. Es zeigte sich außerdem, dass die Erstsprache der Kinder großen Einfluss auf die gezeichneten Motive hat. So scheint die sprachlich enge Verbindung der in der deutschen Sprache geläufigen Phrase „Die Sonne strahlt“ und „Sonnenstrahlung“ eine gute Erklärung für die in unserer Studie so häufigen Verbindung der Begriffe „Strahlung“ und „Sonne“ zu sein. Bei einer Replikation der Studie im kleineren Maßstab in anderen Ländern (Türkei, Spanien) wählten nur sehr wenige Kinder die Sonne als Motiv.

Die Entscheidung, die erste Forschungsfrage durch die Analyse der Motive in Kinderzeichnungen zu beantworten, ermöglichte es die relativ jungen Probandinnen und Probanden mit einer Methode zu beforschen, die ihrem Alter angemessen war. Zeichnungen anzufertigen ist nicht nur eine Aktivität, die von Kindern dieses Alters üblicherweise gerne durchgeführt wird. Die Methode benötigt auch nur ein Mindestmaß an Instruktion durch die Lehrkraft, bzw. die Forscherinnen und Forscher. Dies war von größter Wichtigkeit, um einen möglichst authentischen Eindruck über die Assoziationen

der Kinder zu bekommen. Als weiterer Vorteil der Kinderzeichnungsmethode kann die Tatsache gesehen werden, dass die Schülerinnen und Schüler dabei nicht gezwungen waren sich sprachlich, und schon gar nicht in schriftlicher Form, auszudrücken. Das scheint insbesondere im Hinblick auf das Alter der untersuchten Gruppe von Bedeutung.

Ein Kritikpunkt der Methode liegt einerseits in der Frage der korrekten Interpretation der gewählten Motive. Es ist nicht unmittelbar klar, ob die analysierenden Forscherinnen und Forscher die Zeichnungen richtig interpretierten. Um die Validität in dieser Richtung zu erhöhen, wurde die Kinderzeichnungsmethode durch die Durchführung von Kurzinterviews mit einer Teilmenge der Probandinnen und Probanden ergänzt. Am Beginn dieser Interviews wurde die Bedeutung der gewählten Motive mit den Schülerinnen und Schülern abgeklärt. Insgesamt zeigte sich ein sehr hoher Übereinstimmungsgrad zwischen den Aussagen der Kinder und den Interpretationen der Forschenden. Als wesentliche Frage bleibt zu diskutieren, ob die gezeichneten Motive die Assoziationen der Schülerinnen und Schüler gut abbilden. Auch hier zeigten die Kurzinterviews, dass es in diesem Zusammenhang große Übereinstimmungen gab. Ein klarer Nachteil der Kinderzeichnungen war allerdings die Tatsache, dass eine Erforschung des tiefergehenden Verständnisses der Assoziationen nicht möglich war. Teilweise konnte dieser Nachteil durch einige Fragen in den Kurzinterviews, z.B. nach den Wissensquellen, abgefedert werden. Da sich trotzdem zeigte, dass zwar die Assoziationen relativ klar abgebildet werden konnten, einige Fragen jedoch auch durch die Grenzen der Methode entstanden, wurde bei der Beantwortung der zweiten Forschungsfrage bewusst eine andere Methode gewählt.

Die zweite Studie des Dissertationsprojekts untersuchte, welche aus der Literatur schon bekannten Schülervorstellungen im Bereich *Strahlung* bei Jugendlichen der 9. Schulstufe dokumentiert werden können und welche noch nicht bekannten Vorstellungen gefunden werden können. Im Rahmen dieser Studie wurden 50 Interviews mit Jugendlichen, die die 9. Schulstufe in verschiedenen Schultypen besuchten, geführt. Teile der Interviews wurden transkribiert und bezüglich mehrerer Fragestellungen analysiert. In einer ersten Frage wurden die Jugendlichen gefragt, was sie mit dem Begriff *Strahlung* verbinden. Es zeigten sich Ergebnisse, die mit denjenigen aus der ersten Studie (Kinderzeichnungsstudie) konsistent waren: Die Jugendlichen nannten

zwar auch Quellen sichtbarer Strahlung, häufiger traten jedoch Assoziationen mit nuklearer Strahlung auf, wie es schon bei den älteren Kindern in der ersten Studie der Fall war. Viele der Jugendlichen verbanden sogar ausschließlich Begriffe mit dem Wort *Strahlung*, die im Zusammenhang mit nuklearer Strahlung standen. Aus den Interviewteilen, die die Jugendlichen zum freien Sprechen über ihre Vorstellungen animierten, konnten viele schon bekannte, aber auch neue Schülervorstellungen extrahiert werden. So waren viele Jugendliche der Auffassung, dass Strahlung prinzipiell etwas Gefährliches ist und der Menschheit schadet. Anwendungsbereiche verschiedenster Strahlungsarten, die z.B. in Medizin und Technik zum Nutzen für den Einzelnen und die Gesellschaft eingesetzt werden, wurden nur von sehr wenigen Jugendlichen thematisiert. Viele der interviewten Schülerinnen und Schüler verstanden Strahlung außerdem als etwas Künstliches und empfanden es als unplausibel, dass natürliche Objekte Strahlung aussenden würden. Licht und Wärmestrahlung wurde nur von einem kleinen Teil der interviewten Jugendlichen als Strahlungsarten wahrgenommen. Viele Jugendliche behaupteten hingegen, dass nur elektronische Geräte Strahlung aussenden könnten bzw. dass alle solche Geräte gefährliche Strahlung aussenden würden. Die Interviews zeigten auch, wie stark Assoziationen und Kontexte die Vorstellungen der interviewten Personen beeinflussten: So werteten diejenigen Jugendlichen, die den Begriff UV-Strahlung vor allem mit Begriffen wie „Sicherheitsmerkmale an Geldscheinen“ oder „Schwarzlicht in Diskotheken“ verbanden, die Gefährlichkeit von UV-Strahlung deutlich geringer als diejenigen, die „Solarien“ und „Sonnencreme“ mit dem Begriff verbanden. Auch die Beurteilung, ob UV- und Infrarotstrahlung für das menschliche Auge sichtbar sind, wurde stark von den Kontexten und ersten Assoziationen der Jugendlichen beeinflusst. Jugendliche, die mit Infrarot-Strahlung vor allem Wärmelampen und Infrarotkabinen verbanden, bezeichneten diese Art von Strahlung tendenziell als sichtbar, während diejenigen, die angaben, Infrarotstrahlung im Zusammenhang mit drahtloser Übertragung zu kennen, die Nichtsichtbarkeit dieser Strahlungsart anerkannten.

Das halb-offene Interview als Methode für die Untersuchung der zweiten Forschungsfrage stellte sich im Nachhinein betrachtet als sehr geeignet dar. Der Gesprächsverlauf der einzelnen Interviews war größtenteils ähnlich, die Methode

erlaubte es jedoch auf die Aussagen der Jugendlichen Rücksicht zu nehmen und im Bedarfsfall den Verlauf des Interviews ein wenig abzuändern. Die relativ offenen Fragestellungen machten die Analyse zwar aufwändig, die vielfältigen Resultate sprechen jedoch eindeutig für die Wahl dieser Methode. Trotz der Durchführung von Probeinterviews und der Weiterentwicklung des Interviewleitfadens stellten sich im Nachhinein einige Fragen als zu strikt bzw. zu vage formuliert heraus. Um Konsistenz zu gewährleisten, wurden diese Fragen im Zuge der Trendstudie zu Forschungsfrage 3 nicht geändert.

Mit Hilfe der Trendstudie (Forschungsfrage 3) sollte die Frage beantwortet werden, ob sich nach den Ereignissen in Fukushima (2010) die Vorstellungen und Assoziationen von Kinder und Jugendlichen hinsichtlich des Begriffs *Strahlung* geändert hätten. Zu diesem Zweck wurde die Kinderzeichnungs- und Interviewstudie mit jeweils ähnlichen Kohorten zwei Jahre nach der ersten Durchführung bzw. ca. ein Jahr nach den Ereignissen in Fukushima repliziert. Es zeigte sich, dass die Motive, die die Kinder im zweiten Teil der Studie zeichneten (also nach den Ereignissen von Fukushima), deutlich öfter im Zusammenhang mit nuklearer Strahlung standen. Auch in den Interviews ließen sich viele Bezüge zu den Ereignissen in Fukushima nachweisen. Da sich die Trendstudie auf dieselben Methoden wie Forschungsfrage 1 und 2 stützte, entsprechen Nutzen und Kritik der Methoden dem oben Genannten. Es wurde versucht, dem Design der ersten beiden Studien möglichst nahe zu kommen, um eine Vergleichbarkeit der Aussagen zu gewährleisten. Der organisatorische Aufwand, ähnliche Bedingungen für die zweite Trendstudie herzustellen, war relativ groß. Eine Vergleichbarkeit ließ sich jedoch nur in diesem Rahmen erreichen.

Alle vier Studien (Kinderzeichnungsstudie, Interviewstudie, Trendstudie 1 und Trendstudie 2) vermitteln einen ersten Eindruck, was jüngere, aber auch ältere Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff *Strahlung* verbinden und welche Alltagsvorstellungen sie zu diesem Themenbereich in den Unterricht bringen. Die Altersabhängigkeit der Assoziationen und der vermutete Einfluss der Erstsprache bieten interessante Einblicke in die Gedankenwelt von Schülerinnen und Schülern. Wie sehr

Assoziationen und Kontexte die Vorstellungen von Lernenden beeinflussen, wurde insbesondere durch die Interviewstudie deutlich.

Obwohl im Forschungsdesign versucht wurde, mögliche Nachteile bestimmter Forschungsmethoden durch die Kombination verschiedener Methoden (z.B. die Methode der Kinderzeichnungen in Kombination mit Kurzinterviews) gering zu halten, wurden doch die Grenzen der Methoden deutlich. Es muss dementsprechend darauf geachtet werden, die Ergebnisse nur in engem Zusammenhang zu diskutieren. Da es sich bei der untersuchten Population auch nicht um eine repräsentative Stichprobe handelt – die Probandinnen und Probanden kamen ausschließlich aus dem urbanen Raum und nur aus Klassen, die sich freiwillig für eine Teilnahme meldeten –, können die Ergebnisse selbstverständlich nicht verallgemeinert werden. Dennoch scheint es gelungen zu sein, einen ersten Eindruck über Schülervorstellungen zum Thema *Strahlung* zu gewinnen.

Eine weitere Einschränkung, die sich durch den Einfluss der Sprache auf die Assoziationen der Schülerinnen und Schüler ergibt, könnte die mangelnde internationale Vergleichbarkeit sein, insbesondere bei der Kinderzeichnungsstudie. Eine Replikation der Studie in anderen Ländern wäre in dieser Hinsicht spannend.

Auch wenn die Ergebnisse der Studie nur begrenzte Aussagen zulassen, lässt sich die Relevanz für die Unterrichtspraxis klar sehen. Viele wissenschaftlich nicht akzeptable Schülervorstellungen, die in den Interviews zu Tage getreten sind, stellen potenzielle Lernschwierigkeiten für den naturwissenschaftlichen Unterricht dar. Wenn es vielen Lernenden schwer fällt, den Begriff *Strahlung* z.B. auch mit Licht und Wärme zu verbinden und sie es für unmöglich halten, dass auch „natürliche“ Dinge thermische Strahlung aussenden, so werden die Herausforderungen deutlich, mit denen Lehrkräfte bei der Behandlung dieser Themen im Unterricht konfrontiert sind. Eine (weitere) Dissemination der Forschungsergebnisse in die Schulpraxis erscheint unter diesem Aspekt dringlich.

Im Laufe der durchgeführten Untersuchungen ergaben sich viele weitere Forschungsfragen, die in vielfältiger Weise das Thema aufgreifen und in verschiedene Richtungen weiterführen. Zu einigen dieser Forschungsfelder haben sich bereits

Studierende gefunden, die sich im Rahmen ihrer Abschlussarbeiten mit diesen und weiteren Fragen auseinandersetzen (werden).

- Inwiefern werden die Vorstellungen zum Thema *Strahlung* durch die Erstsprache der Probandinnen und Probanden beeinflusst? Eine internationale Replikation der Kinderzeichnungsstudie wäre an dieser Stelle interessant.
- Welche positiven Aspekte und Anwendungsbereiche von nuklearer Strahlung (z.B. in Medizin und Technik) werden im naturwissenschaftlichen Unterricht tatsächlich thematisiert? Das sehr einseitige Wissen über nukleare Strahlung, auf das die Interviews mit Jugendlichen verweisen, wirft diese Frage auf.
- Welche Lernschwierigkeiten zu thermischer Strahlung lassen sich finden? Die Interviewstudie hat hier erste Ansatzpunkte und Ideen aufgezeigt.
- Welche Unterrichtskonzepte bieten sich an, um einen Konzeptwechsel über thermische Strahlung bei Schülerinnen und Schülern zu ermöglichen? Eventuell könnten der Einsatz von Wärmebildkameras und die Diskussion der Funktion von IR-Thermometern hier Vorteile bringen.
- Welche Lernziele zum Thema *Strahlung* werden von Lehrkräften als besonders wichtig angesehen? Wie kann die normativ entwickelte Strand-Map in dieser Hinsicht weiterentwickelt werden?

Auch die Entwicklung eines Testinstruments, wie es zu Schülervorstellungen anderer Themenbereiche schon existiert, wäre ein interessanter, nächster Schritt. Ziel wäre es, mit diesem Testinstrument das konzeptuelle Verständnis von Schülerinnen und Schülern zum Thema *Strahlung* prüfen zu können.

Abschließend betrachtet bietet die Erforschung von Schülervorstellungen im Themenbereich *Strahlung* ausreichend Möglichkeiten für weitere Studien. Insbesondere sollte mittelfristig auch eine Entwicklung von forschungsbasierten Unterrichtsmaterialien, die die in den Studien gefundenen Lernschwierigkeiten berücksichtigen, angestrebt werden. Die in dieser Dissertation vorgestellten Forschungsergebnisse können auch in diesem Zusammenhang einen ersten Ausgangspunkt bilden.

IV. Danksagung

Ich möchte mich in diesem Rahmen bei all denen bedanken, die mich auf meinem Weg zur Dissertation unterstützt haben.

Martin Hopf, meinem Betreuer, gebührt Dank nicht nur dafür, dass er mich überhaupt erst motiviert hat in die fachdidaktische Forschung einzusteigen. Als Leiter des AECC Physik hat er es auch ermöglicht, dass ich meine Forschungstätigkeit mit vielen anderen interessanten und bereichernden Aufgaben verbinden konnte. So konnte ich durch die Mitwirkung in verschiedenen Arbeitsgruppen einen Einblick in die Entwicklung von Bildungsstandards und in andere Themen der Schulentwicklung erlangen. Die Gestaltung von Lehrveranstaltungen und die Mitbetreuung von Diplomarbeiten gestatteten es mir außerdem in der universitären Lehre mitzuwirken. Nicht zuletzt wurden die Verbreitung meiner Forschungsergebnisse und Weiterentwicklung meines Forschungsdesigns durch die Teilnahme an internationalen Seminaren und Konferenzen sowie durch die Dissemination bei Lehrerfortbildungen gefördert. Trotz all dieser Aktivitäten hatte ich immer reichlich Zeit mich meinen direkten Forschungsarbeiten zu widmen. Für die exzellente Betreuung, auf die ich mich dabei stützen konnte, möchte ich mich von ganzem Herzen bei Martin Hopf bedanken.

Dem Team des AECC Physik, insbesondere Ingrid Krumphals, Claudia Haagen-Schützenhöfer und Marianne Korner, möchte ich für die großartige Zusammenarbeit danken, ebenso wie den vielen Lehrkräften und deren Schülerinnen und Schülern, die bei den Studien mitgewirkt haben.

Nicht zuletzt gehen ganz spezielle Dankesworte an Anthony Oliveras, dessen ideeller Beitrag zu dieser Dissertation weit über das *proofreading* hinausging.

V. Literaturverzeichnis

- Abd-El-Khalick, F., Lederman, N. G. (1998). Improving science teachers' conceptions of the nature of science. *Paper presented at the annual meeting NARST, San Diego, 1998*, 1-66.
- Abimbola, I. O. (1988). The problem of terminology in the study of student conceptions in science. *Science Education*, 72(2), 175-184.
- Acar Sesen, B., & Ince, E. (2010). Internet as a Source of Misconception: "Radiation and Radioactivity". *Turkish Online Journal of Educational Technology - TOJET*, 9(4), 94-100.
- Asghar, A., Libarkin, J. C., & Crockett, C. (2001). *Invisible Misconceptions: Student understanding of ultraviolet and infrared radiation*. GSA Annual Meeting.
- Barraza, L. (1999). Children's Drawings About the Environment. *Environmental Education Research*, 5(1), 49-66. doi: 10.1080/1350462990050103
- Bolhuis, S., & Voeten, M. J. M. (2004). Teachers' conceptions of student learning and own learning. *Teachers and Teaching*, 10(1), 77-98. doi: 10.1080/13540600320000170936
- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1994). Children's Ideas about Radioactivity and Radiation: sources, modes of travel, uses and dangers. *Research in Science and Technological Education*, 12(2), 145-160.
- Bransford, J. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*: National Academies Press.
- Brown, J. M., Henderson, J., & Armstrong, M. P. (1987). Children's perceptions of nuclear power stations as revealed through their drawings. *Journal of Environmental Psychology*, 7(3), 189-199. doi: 10.1016/s0272-4944(87)80029-4
- Bybee, R. W. (1987). Science education and the science-technology-society (S-T-S) theme. *Science Education*, 71(5), 667-683. doi: 10.1002/sce.3730710504
- Chambers, D. W. (1983). Stereotypic images of the scientist: The draw-a-scientist test. *Science Education*, 67(2), 255-265.

- DeBoer, G. E. (2000). Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 582-601.
- Dikmenli, M. (2010). Misconceptions of cell division held by student teachers in biology: A drawing analysis. *Scientific Research and Essays*, 5(2), 235-247.
- diSessa, A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(2/3), 105-225.
- diSessa, A. (2008). A bird's-eye view of the "pieces" vs. "coherence" controversy (from the "pieces" side of the fence). In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 35-60). New York: Routledge.
- diSessa, A., Gillespie, N., & Esterly, J. (2004). Coherence vs. Fragmentation in the Development of the Concept of Force. *Cognitive Science*, 28, 843-900.
- Dove, J. E., Everett, L. A., & Preece, P. F. W. (1999). Exploring a hydrological concept through children's drawings. *International Journal of Science Education*, 21(5), 485-497. doi: 10.1080/095006999290534
- Driver, R. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes Open Univ. Press.
- Duit, R. (2009). Bibliography - Students' Alternative Frameworks and Science Education Retrieved Jan 04, 2013 <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>
- Duit, R., Treagust, D., & Widodo, A. (2008). Teaching science for conceptual change: Theory and practice. *International handbook of research on conceptual change*, 629-646.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (1998). Learning in science - From behaviourism towards social constructivism and beyond. In B. J. Fraser, Tobin, K. G. (Ed.), *International handbook of Science Education, Part 1* (pp. 3-25). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Press.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Eijkelhof, H. (1990). *Radiation and Risk in Physics Education*. Doctoral dissertation, Utrecht.

- Eijkelhof, H., Klaassen, K., Lijnse, P., & Scholte, R. L. J. (1990). Perceived Incidence and Importance of Lay-Ideas on Ionizing Radiation: Results of a Delphi-Study among Radiation-Experts. *Science Education*, 74(2), 183-195.
- Finson, K. D. (2002). Drawing a Scientist: What We Do and Do Not Know After Fifty Years of Drawings. *School Science and Mathematics*, 102(7), 335-345. doi: 10.1111/j.1949-8594.2002.tb18217.x
- Finson, K. D., Beaver, J. B., & Cramond, B. L. (1995). Development and Field Test of a Checklist for the Draw-A-Scientist Test. *School Science and Mathematics*, 95(4), 195-205. doi: 10.1111/j.1949-8594.1995.tb15762.x
- Flick, U. (2009). *An introduction to qualitative research*. Los Angeles, London: SAGE.
- Galili, I., & Hazan, A. (2000). Learners' knowledge in optics: Interpretations, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22(1), 57-88.
- Gerstenmaier, J., & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 867-888.
- Gropengießer, H. (2008). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In P. Mayring & M. Glaeser-Zikuda (Eds.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (2nd ed., pp. 172-189). Weinheim, Basel: Beltz.
- Guesne, E. (1985). Light. In R. Driver, Guesne, E., Tiberghien, A. (Ed.), *Children's ideas in science* (pp. 10-33). Milton Keynes: Open University Press.
- Hammer, D. (1996). Misconceptions or p-prims. How might alternative perspectives of cognitive structure influence instructional perceptions and intentions. *Journal of the Learning Sciences*, 5(2), 97-127.
- Handford, H. A., Mayes, S. D., Mattison, R. E., Humphrey li, F. J., Bagnato, S., Bixler, E. O., & Kales, J. D. (1986). Child and Parent Reaction to the Three Mile Island Nuclear Accident. *Journal of the American Academy of Child Psychiatry*, 25(3), 346-356. doi: 10.1016/s0002-7138(09)60256-9
- Hewson, P. W., Hennessey, M. G. (1992). Making status explicit: A case study of conceptual change. In R. Duit, Goldberg, F., Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 176-187). Kiel: IPN.
- Holthusen, K. (Ed.). (2004). *Konzepte zur Nachhaltigkeit. Analyse von Schülervorstellungen zum Thema Nachhaltigkeit am Beispiel Wald durch Zeichnen im Biologieunterricht. Dissertation*. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.

- Hope, G. (2008). *Thinking and Learning Through Drawing In Primary Classrooms*. London: Sage Publications Ltd.
- Ioannides, C., & Vosniadou, S. (2001). The changing meanings of force. *Cognitive Science Quarterly*, 2(1), 5-62.
- Ioannidis, G. S., & Spiliotopoulou, V. (1999). Children's drawings and stories about energy. In M. Komorek, Behrendt, H. , Dahncke, H. , Duit, R. , Graeber, W. , Kross, A. (Ed.), *Research in Science Education - Past, Present, and Future Vol.1* (pp. 95-97). Kiel: IPN Kiel.
- Jung, W. (1987). Understanding students' understanding: the case of elementary optics. In J. Novak (Ed.), *Proceedings of the 2. Int. Seminar "Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics"*, Vol. III (pp. 268-277). Ithaca: Cornell University.
- Klingman, A., Goldstein, Z., & Lerner, P. (1991). Adolescents' response to nuclear threat: Before and after the chernobyl accident. *Journal of Youth and Adolescence*, 20(5), 519-530. doi: 10.1007/bf01540635
- Köse, S. (2008). Diagnosing Student Misconceptions: Using Drawings as a Research Method. *World Applied Sciences Journal*, 3(4), 283-293.
- Libarkin, J., Asghar, A., Crockett, C., & Sadler, P. (2011). Invisible misconceptions: student understanding of ultraviolet and infrared radiation. *Astron Educ Rev*, 10(1).
- Lijnse, P. L., Eijkelhof, H. M. C., Klaassen, C. W. J. M., & Scholte, R. L. J. (1990). Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12(1), 67 - 78.
- Limon, M. (2002). Conceptual Change in History. *Reconsidering conceptual change: issues in theory and practice*, 259.
- Limón, M. (2002). Conceptual Change in History; Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice. In M. Limón & L. Mason (Eds.), (pp. 259-289): Springer Netherlands.
- Markic, S. (Ed.). (2008). *Studies on freshman science student teachers' beliefs about science teaching and learning*. Aachen: Shaker.
- Matthews, M. (1997). Introductory comments on philosophy and constructivism in science education. *Science & Education*, 6(1-2), 5-14.

- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (11th ed.). Weinheim: Beltz.
- Midden, C. J. H., & Verplanken, B. (1990). The stability of nuclear attitudes after chernobyl. *Journal of Environmental Psychology*, 10(2), 111-119. doi: 10.1016/s0272-4944(05)80122-7
- Millar, R., & Jarnail Singh, G. (1996). School students' understanding of processes involving radioactive substances and ionizing radiation. *Physics Education*, 31(1), 27-33.
- Millar, R., Klaassen, K., & Eijkelhof, H. (1990). Teaching about Radioactivity and Ionising Radiation: An Alternative Approach. *Physics Education*, 25(6), 338-342.
- Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.). (2004). *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis.
- Neumann, S. (submitted). Three misconceptions about radiation - and what we teachers can do to confront them. *The Physics Teacher*.
- Neumann, S., & Hopf, M. (2011a). "Ich sehe ja, dass die Tasten strahlen!" - Was sich Schülerinnen und Schüler unter "Handystrahlung" vorstellen. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 60(7), 46-48.
- Neumann, S., & Hopf, M. (2011b). Was verbinden Schüler/innen mit dem Begriff ‚Strahlung‘? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*(17).
- Neumann, S., & Hopf, M. (2012a). Children's Drawings About "Radiation" - Before and After Fukushima. *Research in Science Education*. doi: 10.1007/s11165-012-9320-3
- Neumann, S., & Hopf, M. (2012b). Students' Conceptions About 'Radiation': Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 826-834. doi: 10.1007/s10956-012-9369-9
- Neumann, S., & Hopf, M. (submitted). Students' Ideas about Nuclear Radiation – Before and After Fukushima. *International Journal of Science and Mathematics Education*.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1978). Junior High School pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education*, 62, 273-281.

- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & W.A., G. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Rego, F., & Peralta, L. (2006). Portuguese Students' Knowledge of Radiation Physics. *Physics Education*, 41(3), 259-262.
- Rennie, L., & Jarvis, T. (1995). Children's choice of drawings to communicate their ideas about technology. *Research in Science Education*, 25(3), 239-252.
- Riemeier, T. (2005). Schülervorstellungen von Zellen, Teilung und Wachstum. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 41-56.
- Riesch, W., & Westphal, W. (1975). Modellhafte Schülervorstellungen zur Ausbreitung radioaktiver Strahlung. *Der Physikunterricht*, 9, 75-85.
- Sadler, P. M., Schneps, M. H., & Woll, S. (1989). A private universe. Santa Monica, CA: Pyramid Film and Video.
- Schuster, M. (1990). *Psychologie der Kinderzeichnung*. Heidelberg: Springer.
- Slovic, P. (1996). Perception of risk from radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, 68(3-4), 165.
- Smith, D. C. (1987). Primary teachers' misconceptions about light and shadows. In J. Novak (Ed.), *Proceedings of the 2. Int. Seminar "Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics"*, Vol. II (pp. 461-476). Ithaca: Cornell University.
- Thomas, G. V., & Silk, A. M. J. (1990). *An introduction to the psychology of children's drawings*: New York, NY, US: New York University Press.
- Treagust, D. F., & Duit, R. (2008a). Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3(2), 297-328.
- Treagust, D. F., & Duit, R. (2008b). Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges of science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3(2), 297-328.
- Tsui, C.-Y., & Treagust, D. F. (2007). Understanding genetics: Analysis of secondary students' conceptual status. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 205-235.

- Verplanken, B. (1989). Beliefs, attitudes, and intentions toward nuclear energy before and after Chernobyl in a longitudinal within-subjects design. *Environment and Behavior*, 21(4), 371-392.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 3-34). New York: Routledge.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). New York: Macmillan.
- Watts, M. (1985). Students' conceptions of light - a case study. *Physics Education*, 20, 183-187.
- White, R. T., & Gunstone, R. F. (1992). *Probing understanding*. London, New York: Falmer.
- Yip, D. (1998). Teachers' misconceptions of the circulatory system. *Journal of Biological Education*, 32(3), 207-215.
- Zembylas, M. (2005). Three Perspectives on Linking the Cognitive and the Emotional in Science Learning: Conceptual Change, Socio-Constructivism and Poststructuralism. *Studies in Science Education*, 41(1), 91-115.

VI. Anhang

A. Zusammenfassung

Die vorliegende Dissertation fasst die Ergebnisse eines Dissertationsprojekts zusammen, dessen Ziel es war Assoziationen und Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zum Thema *Strahlung* zu erforschen. Die Bedeutung von Schülervorstellung für die Praxis des naturwissenschaftlichen Unterrichts führte in den letzten Jahrzehnten zu einer großen Zahl an empirischen Untersuchungen in diesem Bereich. An diese Forschungen schließt das Dissertationsprojekt an, zumal es zum Themengebiet *Strahlung* nur vereinzelt Studien über Schülervorstellungen gibt. Zunächst wurden mit Hilfe von Kinderzeichnungen die Assoziationen von jüngeren Schülerinnen und Schülern (9-12 Jahre) zum Begriff Strahlung erforscht (Neumann & Hopf, 2011b). Die Untersuchung zeigte unter anderem, dass jüngere Lernende insbesondere Quellen sichtbarer Strahlung (z.B. Sonne, Taschenlampen, ...) als Motive ihrer Zeichnungen wählten. Je älter die Schülerinnen und Schüler jedoch waren, desto häufiger tendierten sie zu Motiven, die im Zusammenhang mit unsichtbarer Strahlung stehen (z.B. Kernkraftwerke, Handys). In einer Interviewstudie (Neumann & Hopf, 2012b) mit Schülerinnen und Schülern der 9. Schulstufe wurde daraufhin untersucht, welche aus der Literatur bekannten Schülervorstellungen sich wiederfinden und welche neu entdeckt werden können. Verbreitete Schülervorstellungen, die bei dieser Studie gefunden wurden, umfassen z.B. die Vorstellung, dass Strahlung prinzipiell etwas Künstliches und Unsichtbares sei. Licht und Wärmestrahlung wurden nur von wenigen interviewten Probandinnen und Probanden als Strahlungsarten wahrgenommen. Nach den Ereignissen von Fukushima wurden beide Studien mit ähnlichen Kohorten repliziert und die Ergebnisse in Form einer Trendstudie verglichen (Neumann & Hopf, 2012a, submitted). Es konnte gezeigt werden, dass in der Replikation der Studien nach Fukushima der Anteil der Motive in den Kinderzeichnungen, die im Zusammenhang mit ionisierender Strahlung aus radioaktiven Quellen stehen, stark anstieg. Auch in der replizierten Interviewstudie waren Begriffsassoziationen zu dieser Art von Strahlung stärker verbreitet. Außerdem

konnten durch diese Studien zahlreiche Schülervorstellungen über ionisierende Strahlung, die teils aus der Literatur schon bekannt waren, teils aber zum ersten Mal dokumentiert wurden, publiziert werden.

B. Abstract

This doctoral thesis aims to sum up the results of a dissertation project that focused on investigating which associations and ideas students have about the topic *radiation*. In the last decades, research in science education has seen a large number of empirical studies in the field of students' conceptions. The dissertation project intends to integrate into this research area, particularly because very few research results about students' conceptions are known in the context of the topic *radiation*. First of all, the associations of younger students (9 to 12 years old) were investigated using the method of children's drawings (Neumann & Hopf, 2011b). Among other things, the study revealed that the younger the students were, the more frequently they chose sources of visible radiation (e.g. the Sun, flash lights, ...) as motifs in their drawings. The older students were, however, the more they tended towards motifs that were related to invisible radiation (e.g. nuclear power plants, mobile phones). In a following interview study with students attending grade 9 (Neumann & Hopf, 2012b), the research objective was to find students' conceptions about the topic *radiation*. Partly, these conceptions were already known from previous studies, partly new ones were detected. Some wide-held conceptions found in this study included the idea that radiation is, by all means, something artificial and invisible. Most students had problems perceiving light and heat radiation as types of radiation. After the tragic events of Fukushima, both studies were replicated with similar cohorts. The results of the analysis of the children's drawings as well as of the interviews before and after Fukushima were published as a trend study (Neumann & Hopf, 2012a, submitted). The outcome showed that children who took part in the replication of the study after Fukushima drew significantly more motifs related to nuclear radiation. Also, in the interview study, the associations of students about the topic radiation seemed to be more influenced by nuclear radiation. Furthermore, the two interview studies revealed students' conceptions about nuclear radiation that, to some extent, had been documented and published for the first time.

**C. Bestätigung des Betreuers über den von der Dissertantin erbrachten
Eigenanteil an den Publikationen**



universität
wien

**Osterreichisches
Kompetenzzentrum für
Didaktik der Physik**

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
Porzellangasse 4
A-1090 Wien

T +43-1-4277-71110
F +43-1-4277-9711
martin.hopf@univie.ac.at
<http://www.univie.ac.at/aecp/>

Wien, am 24.01.2013

Dissertation Mag. Neumann

Sehr gerne bestätige ich, dass Mag. Neumann den bei Weitem überwiegenden Anteil der in der vorliegenden Arbeit abgedruckten Publikationen trägt.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Hopf'.

Martin Hopf

D. Akademischer Lebenslauf

Aus- und Weiterbildung

1999	Reifeprüfung mit Auszeichnung
1999 – 2004	Studium an der Universität Wien (Lehramt für Mathematik und Physik, Erweiterungsstudium Klassische Philologie)
Feb-Juli 2003	Auslandssemester mit Erasmus-Stipendium in Leuven (Belgien)
Juni 2004	Abschluss des Studiums (Mag. rer. nat.)
Schuljahr 2004/5	Absolvierung des Unterrichtspraktikums am Bundesrealgymnasium II, Zirkusgasse 48;
April 2011	Abschluss des Studiums: „Bachelor Klassische Philologie“ (B.A.)
Okt 2010-Juni 2011	Universitätslehrgang der Universität Wien: Ausbildung zur Betreuungslehrerin (Betreuung von Studierenden im Pädagogischen und Fachbezogenen Praktikum)
seit Sept 2009	Doktoratsstudium der Naturwissenschaften an der Universität Wien

diverse (inter)nationale Fortbildungen (u.a. Projektmanagement für europäische Schulprojekte, Teamteaching, CLIL for Science Teachers am IPC Exeter)

Teilnahme an internationalen Forschungstagungen (GDGP, World Conference on Physics Education, Summerschool der ESERA und der AECCs)

Beruflicher Werdegang

seit 2003	Vertragslehrerin für Mathematik und Physik (derzeit: Bundesrealgymnasium XIV, Linzer Straße 146); Schwerpunkte: Englisch als Arbeitssprache, internationale Projekte (COMENIUS-Schulpartnerschaft, EU-Projekt crossnet), Einsatz von neuen Medien (Lernplattform, Laptop-Klassen), offenes Lernen, Aufbau
-----------	---

	einer Website (www.physikunterricht.at) für den Einsatz im Unterricht und für Materialenaustausch mit Kolleginnen und Kollegen
2004 – 2007	wissenschaftliche Mitarbeit am EU-Projekt PROMISE (Fakultät für Physik, Universität Wien)
Feb 2007-Aug 2009	externe Lektorin an der Fakultät für Physik (LV „Fachdidaktisches Coaching“ und „Physikunterricht und Schulpraxis“)
Juli-August 2008	Projektmitarbeit beim Indo-Austrian Forum (Projektgruppe Dual Language Education): Weiterentwicklung einer E-learning-Plattform, Beratung und Betreuung der Abteilung Physik und Mathematik vor Ort (Neu Delhi und Ladakh), Abstimmung der Inhalte auf den österreichischen Lehrplan
seit Feb 2007	Tätigkeit in der Lehrerfortbildung (CLIL, Aufgabenkultur, Schülervorstellungen, Neue Matura, Organisation der Fortbildungswoche des VFPC)
seit Oktober 2009	Universitätsassistentin (PraeDoc) am AECC Physik (Universität Wien), Forschungsschwerpunkt: Alltagsvorstellung von Schülerinnen und Schülern zu physikalischen Themen, Aufgabenkultur, Bildungsstandards NaWi8 Universitäre Lehre: Aufgabenentwicklung, Fachdidaktisches Coaching, Schülervorstellungen zum Thema Strahlung, Hands-On-Experimente

E. Publikationsliste

Neumann, S., & Hopf, M. (submitted). Students' Conceptions About Radiation - Selected Results From an Interview Study With 9th-Graders. Paper presented at the World Conference on Physics Education, Istanbul.

Neumann, S., & Hopf, M. (submitted). Students' Ideas about Nuclear Radiation – Before and After Fukushima. International Journal of Science and Mathematics Education.

Neumann, S. (submitted). Three misconceptions about radiation - and what we teachers can do to confront them. The Physics Teacher.

Neumann, S., & Hopf, M. (accepted), Children's Drawings About "Radiation"—Before and After Fukushima Research in Science Education, DOI: 10.1007/s11165-012-9320-3.

Neumann, S., & Hopf, M. (2012). Students' Conceptions About 'Radiation': Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students. Journal of Science Education and Technology, 21(6), 826-834, doi:10.1007/s10956-012-9369-9.

Neumann, S. & Hopf, M. (2012). Schülervorstellungen zum Thema „Strahlung“. Ergebnisse einer Interviewstudie. In Bernholt, S. (Hrsg.), GDCP Jahrestagung Oldenburg 2011 - Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Münster/New York: LIT Verlag. S. 227.

Langer, E., & Neumann, S. (2012). Enhancing Language Awareness in Science Education by Means of Content and Language Integrated Learning. In: Hansen, K.-H., Gräber, W. & Lang, M. (Hrsg.), Crossing Boundaries in Science Teacher Education. Münster/New York: Waxmann, p. 91-112.

Stadler, H., & Neumann, S. (2012). Austria: video analysis for educational innovation, mentoring and inclusion. In: Mooney Simmie, Geraldine & Lang, Manfred (Hrsg.), What's Worth Aiming for in Educational Innovation and Change?. Münster: Waxmann, S. 80-88.

Neumann, S. (2012). "In der Hoffnung, wie Studenten und nicht wie kleine Kinder auszusehen" - Schülerinnen und Schüler undercover an der Universität. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 61 (2), 18-21.

Neumann, S., & Hopf, M. (2011). Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff 'Strahlung'? Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, (17).

Neumann, S. (2011). Was Schüler/innen mit dem Begriff 'Strahlung' verbinden - Empirische Befunde aus einer Analyse von Kinderzeichnungen. In: Höttecke, D. (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Münster: Lit-Verlag.

Neumann, S., & Hopf, M. (2011). "Ich sehe ja, dass die Tasten strahlen!" - Was sich Schülerinnen und Schüler unter "Handystrahlung" vorstellen. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 60 (7), 46-48

Neumann, S., & Urban-Woldron, H. (2011). Die gigantische Weihrauch-Schaukel. Kontextorientierte Aufgaben (19). Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 60 (6).

Neumann, S. (2011). Die Simpsons - Zehn hoch. Kontextorientierte Aufgabe (18). Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 60 (5).

Langer, E., Neumann, S., & Tausig, S. (2008). Enhancing Language Awareness in Science Teaching by the means of CLIL: Interim Report Project CROSSNET. Kiel.

Stadler, H., Nagel, C., & Neumann, S. (2007). Teaching Migrants - a challenge of the 21st century. Report PROMISE team Vienna: <http://www.promise.at>.

Neumann, S., Nagel, C., & Stadler, H. (2007). Ansätze zur Untersuchung von Barrieren von Schüler/innen mit Migrationshintergrund im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Höttecke, D. (Hrsg.), Naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Münster: Lit-Verlag.

Neumann, S., Bartosch, I., Faast-Kallinger, B., Langer, E., Roesel, F. G., & Stadler, H. (2007). Development of Science Lessons for Grade 9-12. Report PROMISE team Vienna: <http://www.promise.at>

Nagel, C., Neumann, S., Schüller, M., Rentzsch, W., Tosun, M., & Stadler, H. (2007). Development of Science Lessons for Grade 5-8. Report PROMISE team Vienna: <http://www.promise.at>.

Neumann, S., Nagel, C., & Stadler, H. (2006). Migration im NaWi-Unterricht - Förderung von Schülerinnen und Schülern mit Migrationshintergrund. Plus Lucis, (1-2).