

EXPERIMENTE MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN AN SCHULEN SIND DIDAKTISCH WICHTIG UND GEFÄHRLOS MÖGLICH!

Jan-Willem Vahlbruch¹

¹Institut für Radioökologie und Strahlenschutz, Leibniz Universität Hannover

vahlbruch@irs.uni-hannover.de

1. Einleitung

„Experimente sind ein wesentliches Merkmal der Naturwissenschaft“. Mit dieser Selbstverständlichkeit beginnt ein Artikel für den Band der Jahrestagung des FS in 2015, in dem die Rahmenbedingungen für Experimente mit radioaktiven Stoffen an Schulen beschrieben worden sind [1]. Leider sind die rechtlichen Rahmenbedingungen so komplex, dass auch Lehrkräfte, die eigentlich gerne Versuche mit radioaktiven Stoffen im Unterricht verwenden wollen, eher abgeschreckt als ermuntert werden. Die Notwendigkeit für Experimente als Methode für nachhaltiges Lernen ist dabei unumstritten und viel beschrieben [2]. Dies gilt auch für den Umgang mit radioaktiven Stoffen, zumal ohne die in der Schule vermittelten Grundlagen auch die unter Fachleuten viel und ausgiebig diskutierte Kommunikation mit der Bevölkerung sachlich kaum gelingen kann (oder grundlegend anders geführt werden müsste). In diesem Artikel soll kurz dargelegt werden

1. unter welchen Rahmenbedingungen der Umgang mit radioaktiven Stoffen in Schulen rechtskonform durchgeführt werden kann,
2. welche Alternativen existieren und
3. wie durch die zukünftige Strahlenschutzgesetzgebung die Durchführung von Experimenten an Schulen unterstützt werden könnte.

2. Experimente mit radioaktiven Stoffen an Schulen – rechtliche Rahmenbedingungen

Selbstverständlich gelten für den Umgang mit radioaktiven Stoffen an Schulen auch die Bestimmungen der StrlSchV [3]. Zusätzlich sind die Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht, die 2014 überarbeitet wurde und nun in ihrem Anhang ebenfalls Regelungen zum Strahlenschutz beinhaltet, sowie länderspezifische Erlasse zum Strahlenschutz an Schulen zu beachten [4]. Gemessen am Gefährdungspotential sind die strahlenschutzrechtlichen Regelungen sehr komplex, was zum einen an der (begrüßenswerten) Vielfalt an unterschiedlichen Präparaten an Schulen und zum anderen an dem zum Teil beträchtlichen Alter dieser Präparate liegt, da dadurch indirekt auf Grund von Übergangsbestimmungen auch ältere Fassungen der Strahlenschutzverordnung zu berücksichtigen sind. Diese Gegebenheiten sind inzwischen ausführlich beschrieben worden [1], [5-6]. Eine grobe Einschätzung kann wie folgt vorgenommen werden (siehe auch Abbildung 2):

1. Schulpräparate mit einer Bauartzulassung gemäß Abschnitt 7 der StrlSchV [3], die nach 2001 erteilt wurde, können anzeige- und genehmigungsfrei im Unterricht verwendet werden.

2. Ebenfalls anzeige- und genehmigungsfrei können im Unterricht gemäß §117 (7) StrlSchV
 - Geräte, die Skalen oder Anzeigemittel mit festhaftenden Leuchtmitteln enthalten,
 - Uran- und thoriumhaltige Glaswaren,
 - uranhaltige glasierte keramische Gegenstände oder Porzellanwaren und
 - zu Leuchtzwecken bestimmte gastechnische Geräteverwendet werden, wenn der Erwerb vor 1.8.2001 stattgefunden hat und bestimmte Anforderungen an den Strahlenschutz in Bezug auf die Aktivität und die Dosisleistung eingehalten werden (siehe Abbildung 1).
3. Der Umgang mit Schulstrahlern mit einer Bauartzulassung, die vor 2001 erteilt wurden, musste bei Erwerb angezeigt werden. Diese Möglichkeit existiert in der aktuellen StrlSchV nicht mehr.
4. Für den Umgang mit radioaktive Stoffe ohne Bauartzulassung ist eine Genehmigung notwendig, wenn die Aktivität der gehandhabten Stoffe oberhalb der Freigrenze liegt. Dabei ist die Summenregelung gemäß Anlage 3 Tabelle 1 StrlSchV zu berücksichtigen.
5. Bei Präparaten, bei denen die Aktivität nicht bekannt ist (und von den Schulen auch nicht ermittelt werden kann), ist für das weitere Vorgehen die zuständige Behörde zu kontaktieren.

Sollte ein genehmigungspflichtiger Umgang vorliegen (siehe 4.) muss folgendes berücksichtigt werden:

1. Nach § 45 (3) StrlSchV dürfen Schüler beim genehmigungsbedürftigen Umgang nur mitwirken, wenn der Strahlenschutzbeauftragte anwesend ist und Aufsicht führt.
2. Der Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen ist gemäß § 45(1) StrlSchV für Schüler unter 18 Jahren verboten, sofern die Aktivität oberhalb der Freigrenze liegt.

Jede dieser einzelnen Punkte aus der StrlSchV ist für sich einzeln betrachtet vernünftig und richtig. Im Zusammenhang mit der Verwendung von radioaktiven Stoffen an Schulen führt das Zusammenspiel dieser Regelungen aber zur Verhinderung von (harmlosen) Experimenten, wie im nächsten Beispiel aufgeführt:



Abb.1: Anzeige- und genehmigungsfreie Gegenstände im Schulunterricht (siehe 2.2)

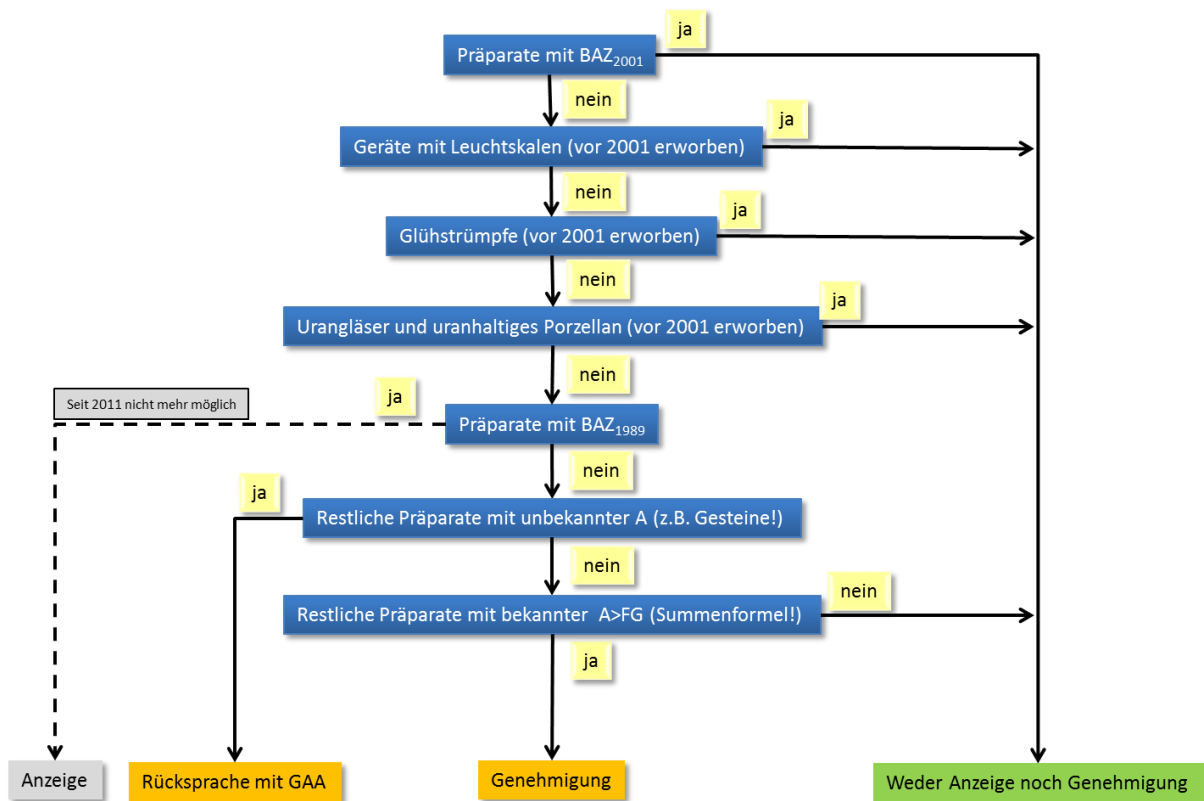


Abb. 2: Fließschema: Anzeige oder Genehmigung bei der Anwendung von radioaktiven Stoffen an Schulen

Als Beispiel nehme ich Bezug auf die so genannten Auernetze (unbrauchbare Glühstrümpfe), die zu Unterrichtszwecken vertrieben werden. Diese Präparate enthalten Thorium und sind für einfache Experimente gut geeignet. Obgleich es sich um natürliches Thorium handelt, ist die Verwendung im Physikunterricht als Tätigkeit gemäß §3(1) StrlSchV anzusehen, da die Verwendung aufgrund der Radioaktivität erfolgt (so ist zumindest die Haltung einiger Bundesländer, während andere den Anwendungsbereich durchaus in Teil 3 der StrlSchV verorten). Das LfU in Bayern hat für diese Auernetze die Thorium-Aktivität an einigen Präparaten exemplarisch gemessen und festgestellt, dass vier Auernetze auch in Summe unterhalb der Freigrenze bleiben [7]. Bei einer üblichen Klassenstärke von 25 SchülerInnen reichen vier Auernetze für Schülerversuche allerdings nicht aus – aus pädagogischen Gründen werden hier mindestens acht benötigt. Der Umgang mit acht Auernetzen ist aber genehmigungspflichtig. §45(3) StrlSchV legt fest, dass Schüler beim genehmigungspflichtigen Umgang mit radioaktiven Stoffen nur in Anwesenheit und unter der Aufsicht des zuständigen SSB mitwirken dürfen. Entweder muss dann jeder Physiklehrer zum Strahlenschutzbeauftragten bestellt werden (wofür wiederum die Fachkunde S7.1 notwendig wäre) oder die Schülerexperimente können nicht mehr in allen Klassen durchgeführt werden.

Zusätzlich müssen Auernetze formal wohl auch als offene radioaktive Stoffe angesehen werden, da sie zwar in einer verklebten Plastikdose fest verschlossen sind, so dass eine Inkorporation ausgeschlossen ist, allerdings diese Umschließung sicherlich nicht den Anforderungen der DIN ISO 2919 entspricht. Dies gilt analog auch für andere Alltagsgegenstände oder Materialien, die aufgrund der Radioaktivität im Unterricht genutzt werden. Dann wäre nach §45(1) StrlSchV ein Umgang mit diesen Präparaten (sobald die Freigrenze überschritten wird) für Schüler gar nicht mehr möglich. Wichtig ist, dass hier

nochmal betont werden soll, dass eine reale Gefährdung ausgeschlossen ist. Die externe Strahlenexposition ist zu vernachlässigen, und die Inkorporationsdosis unter der vollkommen absurden Annahme, dass ein Schüler das gesamte Auernetz herunterschluckt, läge bei ca. 0,6 mSv (Aktivität von 2,5 kBq Th-232, Dosisfaktor von $2,5E-07$ Sv/Bq bei der Ingestion für 12-17 Jährige).

Die Liste der an Schulen für Experimente genutzten leicht radioaktiven Alltagsgegenstände ließe sich noch beliebig verlängern. Uhren, Keramiken, Fliesen, Urangläser, Gesteine – bei all diesen Gegenständen ist die Aktivität zunächst unbekannt und die Schulen in aller Regel nicht in der Lage, diese zu messen. Sind diese Gegenstände nach 2001 angeschafft (und aufgrund der Radioaktivität genutzt) worden, lässt sich für die verantwortlichen Lehrkräfte die Frage, ob ein genehmigungspflichtiger Umgang vorliegt oder nicht, ohne Kenntnis der Aktivität aber nicht eindeutig beantworten. Diese fehlende Rechtssicherheit führt dann dazu, dass Experimente mit diesen Gegenständen nicht mehr durchgeführt werden, was besonders beklagenswert ist, da hier die Alltagswelt der Schülerinnen und Schüler aufgegriffen werden könnte und nicht mit kommerziell hergestellten Strahlerstiften gearbeitet werden muss. Wenn Experimente an Schulen also nicht mehr durchgeführt werden, liegt es nicht unbedingt an der Lehrkraft, sondern sehr häufig an den rechtlichen Rahmenbedingungen!

3. Und wenn man nicht auf Experimente verzichten möchte?

Welche Alternativen gibt es für die Lehrkraft, wenn sie trotzdem Experimente durchführen möchte?

3.1 Versuche mit Umweltproben aus der unmittelbaren Umgebung

Eine Möglichkeit sind Versuche, bei denen Präparate mit so geringer Aktivität eingesetzt werden, dass die Unterschreitung der Freigrenzen auch in Summe mit Sicherheit eingehalten werden kann. Versuche dieser Art sind hinreichend von Philipsborn et. al. beschrieben worden [8-11] und berücksichtigen in besonderer Art und Weise die Alltagswelt der Schüler. So ist es mit hinreichend empfindlichen Zählrohren möglich, Radioaktivität im Trinkwasser und in der Luft nachzuweisen; selbst die Bestimmung von Halbwertszeiten z.B. von Rn-222 kann damit demonstriert werden. Auch der Nachweis von K-40 in Pottasche gelingt problemlos. Diese Versuche bedürften allerdings eines engagierten Lehrers, da das Gelingen mehr von äußeren und z.T. variablen Faktoren (Standort der Schule, meteorologische Gegebenheiten, Gehalt von natürlichen Radionukliden im Trinkwasser usw.) abhängt und damit anspruchsvoller ist als Versuche mit herkömmlichen Schulstrahlern. Einige Lehrmittelhersteller haben diese Ideen inzwischen aufgegriffen und bieten entsprechende Experimenterkoffer kommerziell an.

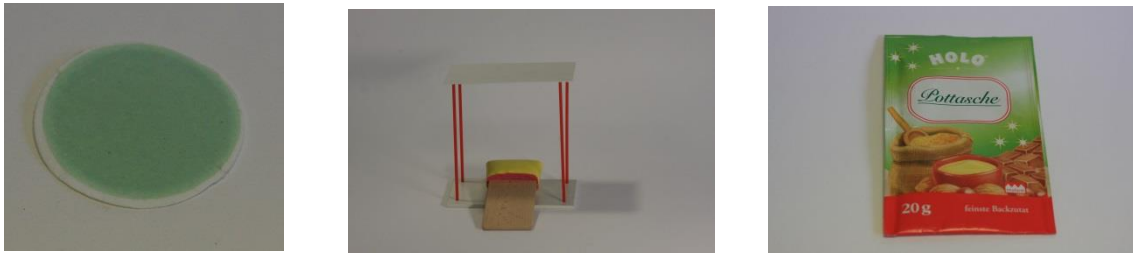


Abb.3: Links: Mit Leitungswasser belegter Glasfaserfilter zum Nachweis von natürlichen Radionukliden im Trinkwasser. Mitte: Philionplatte zum Nachweis von radioaktiven Stoffen in der Luft. Rechts: Pottasche mit natürlichem ^{40}K als Backpulver für Lebkuchen

3.2 Experimente in Schülerlaboren

Eine andere Alternative bieten Schülerlabore, in denen Schulklassen die Experimente durchführen können, die an den Schulen nicht mehr möglich sind. In der Regel verfügen Schülerlabore über eine gute technische Ausstattung und gut geschultes Personal, so dass hier interessante Versuche zum Themengebiet Radioaktivität gut begleitet durchgeführt werden können. Das ist sehr zu begrüßen und wird vom Fachverband für Strahlenschutz durch das Engagement im Röntgenmuseum in Lennep auch gefördert, wo mit finanzieller Unterstützung des FS Experimentierplätze für Schulklassen eingerichtet werden konnten. Allerdings gibt es in großen Flächenbundesländern wie z.B. Niedersachsen nicht genug gut ausgestattete Schülerlabore, so dass manchen Regionen diese Möglichkeit nicht offensteht. Außerdem beklagen Lehrkräfte, dass dann „das Beste am Physikunterricht“, nämlich das Experimentieren, gerade nicht mehr im (eigenen) Unterricht sondern extern stattfindet – was langfristig wiederum auch Einfluss auf die Kompetenz der Lehrer selbst hat. Insofern können Schülerlabore das Experimentieren im Unterricht nie vollständig ersetzen.

3.3 Virtuelle Experimente

Eine andere Möglichkeit, den Unterricht zu ergänzen, sind virtuelle Experimente. Diese können und sollen keine realen Experimente ersetzen, bieten aber immerhin eine interessante Alternative, falls aus den oben genannten Gründen keine echten Experimente durchgeführt werden können. Der Fachverband für Strahlenschutz hat diese Idee aufgegriffen und in Kooperation mit der Uni Mainz die Programmierung eines Versuches zur Bestimmung der Halbwertszeit von $^{137\text{m}}\text{Ba}$ in Auftrag gegeben. Dabei betritt der Anwender einen virtuellen Klassenraum und kann den Versuch in einer virtuellen Welt realitätsnah durchführen (siehe Abbildung 4). Vorteile dieser Technik sind der hohe Aufforderungscharakter an die Lernenden sowie die Tatsache, dass aufgrund des fehlenden Umgangs mit real existierenden radioaktiven Stoffen weder ein Gefährdungspotential vorhanden noch eine Beachtung der StrlSchV notwendig ist. Nach Fertigstellung dieses virtuellen Experiments soll dieses über die Homepage des FS interessierten Lehrenden zugänglich gemacht werden.



Abb.4: Virtuelles Reality Experiment zur Bestimmung von Halbwertszeiten

3.4 Ferngesteuerte Experimente

Am IRS der LUH wurde im Rahmen eines europäischen Projektes zur Förderung der Ausbildung in der Radiochemie (CINCH-II) ein ferngesteuertes Experiment zur gammaspektrometrischen Untersuchung von Umweltproben entwickelt [12]. Dieses Experiment richtet sich auch an Schüler der Sekundarstufe 2 und ermöglicht es ohne eigenen Kontrollbereich, Messungen an Umweltproben (aus Deutschland oder aus der Umgebung von Tschernobyl oder Fukushima) ferngesteuert durchzuführen und die erhaltenen Spektren selbstständig zu analysieren, Nuklide zu identifizieren und Aktivitäten zu bestimmen. Solche Versuche sind gemäß den curricularen Vorgaben der Bundesländer nicht Teil des zu vermittelnden Lehrstoffes, können aber den anspruchsvollen Unterricht sehr sinnvoll ergänzen. Vorteilhaft ist hier auch, dass der Standort der realen Experimente unerheblich ist. So existieren neben den Versuchen an der LUH ebenfalls drei fernsteuerbare Versuche an der Universität Oslo, die ebenfalls genutzt werden können.

4. Chancen durch die novellierte Strahlenschutzgesetzgebung

Aufgrund der Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom ins nationale Recht wird das gesamte deutsche Strahlenschutzrecht überarbeitet und ein neues Strahlenschutzgesetz etabliert werden. In dem am 14.09.2016 vom BMUB vorgelegten Referentenentwurf zum StrlSchG [13] wird in §23 der Gesetzgeber ermächtigt, in einer Verordnung zu bestimmen,

„welche Röntgeneinrichtungen in Schulen betrieben werden dürfen, mit welchen radioaktiven Stoffen in Schulen umgegangen werden darf, welche bauartzugelassenen Vorrichtungen, die radioaktive Stoffe enthalten, in Schulen verwendet werden dürfen und welche besonderen Anforderungen bei Tätigkeiten in Schulen gelten“.

Hier eröffnet sich die Möglichkeit, den Umgang mit radioaktiven Stoffen an Schulen so zu regeln, dass

1. der Strahlenschutz immer hinreichend gewährleistet ist und zu keinem Zeitpunkt eine Gefährdung für Schülerinnen und Schüler, Lehrkräfte und andere Personen bestehen kann,
2. trotzdem Versuche mit radioaktiven Stoffen an Schulen auch von Schülerinnen und Schülern eigenständig durchgeführt werden können und
3. zu diesem Zweck übersichtliche und eindeutige rechtlichen Randbedingungen, die die Vielfalt der Präparate an Schulen berücksichtigen, geschaffen werden.

Denkbar wäre z.B. eine Formulierung der folgenden Art:

„Der Umgang mit radioaktiven Stoffen an allgemeinbildenden Schulen zu Ausbildungszwecken ist anzeige- und genehmigungsfrei, sofern sichergestellt ist, dass

1. eine Inkorporation des Stoffes mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann,
2. die Aktivität nicht das 10-fache der Freigrenzen überschreitet und
3. die Ortsdosisleistung im Abstand von 0,1 Meter von der berührbaren Oberfläche 1 Mikrosievert durch Stunde nicht überschreitet.“

Mit dieser Formulierung, die sich an den zurzeit existierenden Bedingungen für die Bauartzulassung von umschlossenen radioaktiven Stoffen orientiert, wäre sichergestellt, dass eine solche Regelung nur und ausschließlich zu Ausbildungszwecken an Schulen Anwendung findet. Gleichzeitig wäre eine Inkorporation von radioaktiven Stoffen durch die Experimente weiterhin ausgeschlossen und die externe Strahlenexposition hinreichend begrenzt. Alltagsgegenstände wie Uhren, Keramiken oder Gläser könnten dann mit der notwendigen Rechtssicherheit im Unterricht verwendet werden und erst bei stärker strahlenden Präparaten müssten aufgrund der möglichen Überschreitung des 10-fachen der Freigrenze umfangreichere Messungen vorgenommen werden. Ein weiterer Vorteil bietet der Bezug auf die Ortsdosisleistung, da diese, zur Beurteilung einer Situation sehr viel einfacher bestimmt werden kann als die Aktivität der Probe. Damit würde eine solche Regelung auch für die zuständige Behörde, die im Rahmen ihrer Aufsicht tätig werden muss, eine deutliche Verbesserung im praktischen Vollzug der gesetzlichen Regelungen bedeuten.

Sicherlich sind auch andere und wahrscheinlich auch bessere Möglichkeiten denkbar, mit klaren Regelungen den Umgang von radioaktiven Stoffen an Schulen zu vereinfachen und damit Experimente zu unterstützen. Sinnvoll und wünschenswert wäre es jedenfalls.

5. Literaturverzeichnis

- [1] J.-W. Vahlbruch, Anwendung von radioaktiven Stoffen in Schulen in Deutschland – Hindernisse und Chancen, Tagungsband der 47. Tagung des Fachverbandes für Strahlenschutz in Baden bei Wien, p. 27, 2015
- [2] M. Euler, Schülerinnen und Schüler als Forscher: Informelles Lernen im Schülerlabor, Unterricht Physik, 16(90), p. 162, 2005

- [3] Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), die zuletzt durch Artikel 5 der Verordnung vom 27. April 2016 (BGBl. I S. 980) geändert worden ist
- [4] Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (Empfehlung der Kultusministerkonferenz, Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 27.02.2013)
- [5] J.-W. Vahlbruch, Experimentieren mit Strahlern, Unterricht Physik, Heft 141/142, p. 24, Friedrich Verlag, 2014
- [6] J.-W. Vahlbruch, Radioaktivität und Strahlenschutz: aktuelle Themen oder Schnee von gestern?, Unterricht Physik, Heft 141/142, p. 19, Friedrich Verlag, 2014
- [7] Brief des Bayrischen Landesamtes für Umwelt vom 21.08.2012 an die Firma MEKRUPHY
- [8] R. Geipel, H. v. Philipsborn, Radioaktivität zum Anfassen – Das Philion-Experimentier-Set, 100. NMU Kongress, Regensburg 2009
- [9] H. v. Philipsborn, C. Hoffmann, Messung von Radon-Folgeprodukten: ein einfaches Verfahren, Strahlenschutzpraxis, 4/95, p.56, 1995
- [10] Putzger, J., H. v. Philipsborn, Aufwertung älterer Strahlenmessgeräte durch Rechnerkopplung, Strahlenschutzpraxis, 4/2014, p. 62, 2014
- [11] Siehe www.strahlenschutzkurse.de/228.html (besucht am 21.11.2016)
- [12] Morariu, C., Vahlbruch, J.-W., Walther C., Cooperation in education and training In Nuclear CHEmistry (CINCH-II), Education and Training in Radiation Protection: Improving ALARA Culture, 15th European ALARA Network workshop and 5th EUTERP-workshop, Rovinj, 7-9.5.2014, Book of abstracts, p.37 (2014)
- [13] Referentenentwurf des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Entwurf eines Gesetzes zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung, Stand 14.09.2016