

Die Radioaktivität der Feinstaub-gesättigten Luft über Stuttgart zum Jahreswechsel 2016/2017

Bernd Laquai, 8.1.2017

An Silvester wurde es wieder ganz deutlich: zwischen der Feinstaubkonzentration in Stuttgart und der Radioaktivität der Luft (der sogenannten Luft-Aktivitätskonzentration) gibt es einen ursächlichen Zusammenhang. Das lässt sich ohne viel Aufwand aus dem Vergleich beider amtlichen Messungen der Feinstaubkonzentration und der Luft-Radioaktivitätskonzentration sehr deutlich ablesen. Die obere Grafik zeigt ein zusammengesetztes „Panorama“ der Radio-Aerosol Messstelle für die Luft-Radioaktivität auf dem Stuttgarter Fernsehturm, die vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg zur Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) betrieben wird und das untere Grafik zeigt ein zusammengesetztes „Panorama“ die Feinstaub-Massenkonzentration der Messstationen am Neckartor und in Bad-Cannstatt, die vom Landesamt für Umwelt in Baden-Württemberg bzw. dem Umweltbundesamt betrieben werden, beides über den Jahreswechsel 2016/2017. Diese Tage um den Jahreswechsel waren auf Grund der extremen Inversionswetterlage, welche durch das massive Hochdruckgebiet „Yörn“ hervorgerufen wurde, besonders Feinstaub-begünstigt und genau in diese Zeit fiel dann auch noch das Silvesterfeuerwerk, das gewaltige Mengen Feinstaub freisetzte. Dieser Feinstaub war dann auch den ganzen Neujahrstag über Stuttgart unter der Inversionsschicht gefangen war und sorgte für Jahreshöchstwerte von über 150 μg , die von der Messstation im 24-Stunden Tagesmittel am Neckartor gemessen wurden. Erst das Tief „Corinna“ verblies dann den dichten Feinstaub 2 Tage später im Laufe des 2. Januar 2017.

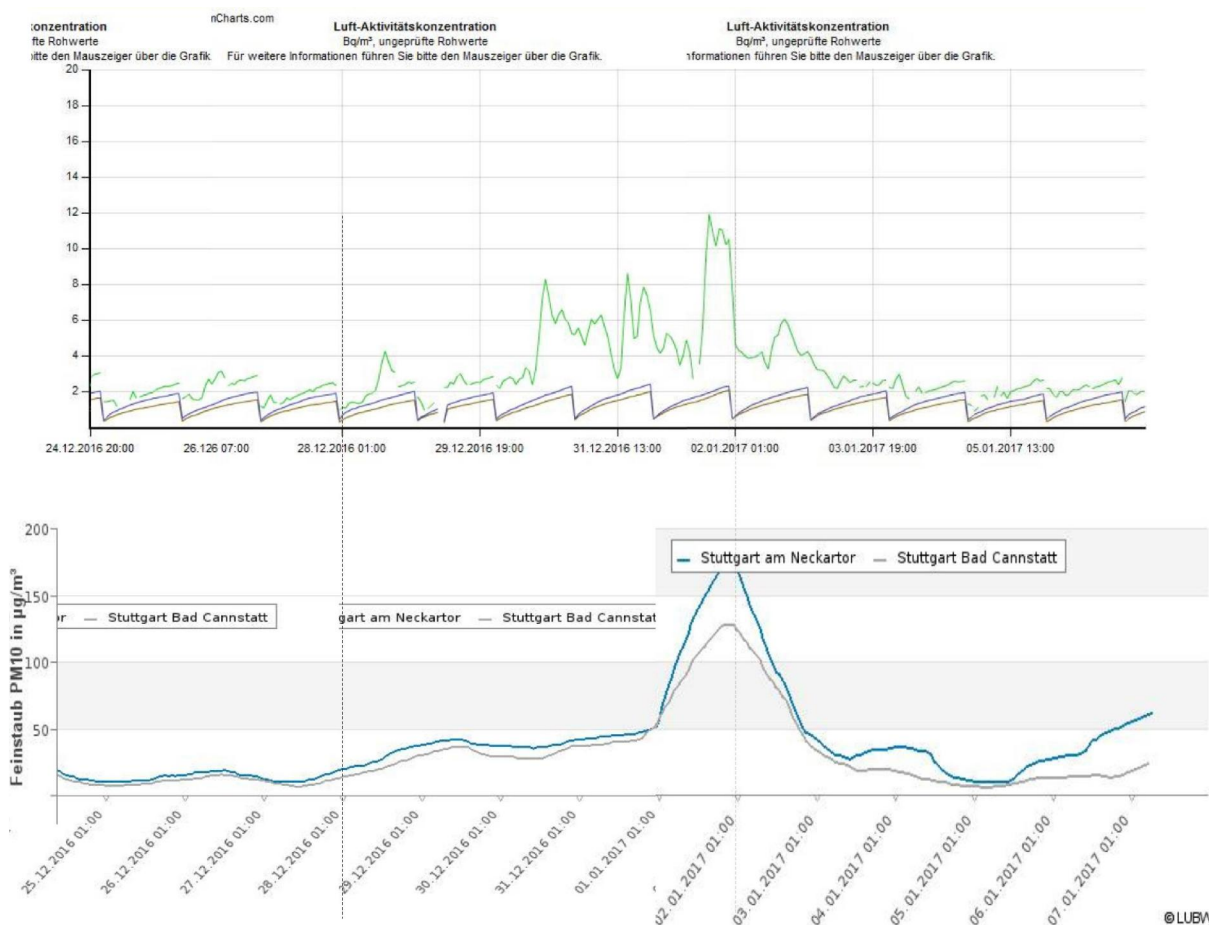


Abb. 1: Vergleich von Luft-Radioaktivität auf dem Fernsehturm und Feinstaubkonzentration in der City von Stuttgart über den Jahreswechsel 2016/2017



Abb. 2: Feinstaub-begünstigende Hochdruckwetterlage am Silvestertag 2016 um 10Uhr über dem Talkessel von Stuttgart (Webcam Fernsehturm)



Abb. 3: Extreme Inversionswetterlage über dem Talkessel von Stuttgart am Neujahrsmorgen 2017 um 10Uhr, kalte neblige Luft gesättigt mit Feinstaub aus der Feuerwerksnacht sitzt im Talkessel gefangen, darüber warme klare Luft des Hochdruckgebiets (Webcam Fernsehturm)

Zu den Diagrammen muss noch folgendes vorab gesagt werden: Die Radioaktivität der Luft zeigte nach Silvester Höchstwerte um 11 Becquerel/Kubikmeter Luft an, spezifisch für die Gamma-Strahlung des radioaktiven Isotops Blei-214 (grüne Kurve). Dieses Radionuklid hat eine sehr kurze Zerfallsdauer von nur 26.9 Minuten. Diese Radioaktivität der Luft kommt daher mit hoher Wahrscheinlichkeit weder von den Beimengungen des Pulvers in den Sternraketen und Böllern noch von den Autoabgasen, sondern ist vielmehr ein Zerfallsprodukt des natürlichen radioaktiven Edelgases Radon, das in Stuttgart und Umgebung gar nicht so selten ist und seinen Ursprung im natürlichen Uran hat, das im Sedimentgestein des Keuperberglands um Stuttgart herum in geringen Mengen vorhanden ist.

Die Radon-Zerfallsprodukte, darunter auch das radioaktive Isotop Blei-214, reichert sich unter Hochdruckeinfluss in der Atmosphäre an und lagert sich besonders leicht an den Feinstaub an. Die Kernreaktor-Fernüberwachungsanlage auf dem Fernsehturm (ca. 300m über dem Grund des Talkessels) besteht unter anderem aus einem Aerosolsammler, also quasi aus einem starken Staubsauger mit Feinstaubfilter, der immer 24Stunden lang versucht die Aerosole in der Luft herauszufiltern. Parallel dazu läuft eine „In-Situ“ Gamma-Spektrometrie-Analyse, die nun auf den Filter schaut, welche radioaktiven Aerosole (also Feinstaub) sich dort gesammelt haben. Eigentlich ist für die Anlage das Caesium-137 (blaue Kurve) und das Jod-131 (braune Kurve) interessant, denn beides sind die Leitnuklide für einen Unfall mit einer radioaktiven Freisetzung aus einem Kernkraftwerk. Davor soll die Anlage warnen. Diese beiden Radionuklide zeigen über den Jahreswechsel im Filter keine wesentlichen Konzentrationen über der Nachweisgrenze. Das radioaktive Cäsium-137 hat eine Halbwertszeit von 30Jahren und das radioaktive Jod-131 hat eine Halbwertszeit von 8 Tagen, also beides deutlich länger als die Filter-Wechselperiode von 24 Stunden. Was man daher sieht, sind natürliche Spuren, die sich im Filter akkumulieren bis er gewechselt wird, da ja beide über die Dauer von 24Stunden nicht nennenswert zerfallen. Anders das Blei-214. Dieses kurzlebige Radionuklid stammt aus dem natürlichen Radonzerfall in der Atmosphäre, zerfällt selbst rasch und wird laufend nachgebildet, wenn es über mehr als eine Stunde im Filter sichtbar ist. Es wird in der Aerosol-Messstation eigentlich nur zur Funktionskontrolle mitgemessen. Dass dieses radioaktive Isotop nun aber eine so gehäufte spezifische Radioaktivität in der Luft anzeigt, das liegt nun am Feinstaub, der es leichter messbar macht, weil sich die Blei-Atome an den Feinstaub heften, der größer ist und deswegen im Filter auch besser festgehalten wird. Diese Technik, die Luftverschmutzungen und den Feinstaub in Zusammenhang mit den atmosphärischen Luftbewegungen zu untersuchen, wurde vor allem im Feinstaub geplagten Chin und in den italienischen Großstädten wie Mailand und Rom bereits intensiv erforscht. Man kann also die Forschungs-Ergebnisse also auch leicht auf Stuttgart anwenden indem man entsprechende Messdaten verbindet (korreliert).

Um die Gefährlichkeit der Radioaktivität einzuschätzen kann man sich als Bürger nun den Richtwert als Anhaltspunkt nehmen, den die WHO für die Gefährlichkeit des radioaktiven Gases Radon angibt, das ja der Verursacher der Zerfallsprodukte ist. Dort wo ein Radon-Atom zerfällt, entsteht auch nach kurzer Zeit auch ein Blei-214 Atom in der Zerfallskette. Die WHO geht davon aus, dass bei einer Jahresdauerbelastung von mehr als 100Becquerel/Kubikmeter Luft mit einer Beeinträchtigung der Gesundheit zu rechnen ist. Über den Jahreswechsel hinweg hat nun die Radio-Aerosolmessstelle auf dem Fernsehturm eine Aktivitätskonzentration von etwa 11Becquerel/Kubikmeter gemessen. An den übrigen Tagen im Jahr mit Feinstaubalarm kann man mit ähnlichen Werten rechnen. Angenommen Stuttgart hätte im Jahr 50 Tage mit Feinstaubkonzentrationen, die auch die Luft-Radioaktivität vergleichbar erhöhen, dann wären das also 14% eines Jahres, man käme also bei der in luftiger Höhe von 300m über dem Neckartor positionierten Aerosolmessstelle des Fernsehturms auf eine effektive Jahresmenge der Radioaktivität aus den an den Feinstaub angelagerten Radon-Zerfallsprodukten von rund 1.5Becquerel pro Kubikmeter Luft. So gesehen, kann man also nicht davon reden, dass es sich hier um eine wirkliche Gefährdung im Sinne der Strahlenschutz-Vorschriften handelt, man muss es eher als ein Warnsignal sehen (im Hinblick auf Verhältnisse wie in Peking o.ä. Städte).

Nun gibt es ja unter den Strahlenschützern auch Leute, die gegen diesen Richtwert von 100Bq/m³ der WHO oder gegen den in den neuen Basic-Safety-Standards der EU (EU-BSS) festgeschriebenen Richtwert von 300Bq/m³ wettern, dass das ja nur ein Wert, der für Raucher gelten kann, sei. In der Tat wurden diese Grenzwerte aus epidemiologischen Untersuchungen an Bergbauarbeitern und Rauchern gewonnen, von denen ein unverhältnismäßig großer statistischer Anteil an Atemwegserkrankungen (vor allem Lungenkrebs) gestorben waren. Nun ist es aber so, dass man deutlich erkennen kann, dass sowohl die Silikose (Staublunge) bei Bergbauarbeitern wie das Rauchen zu einem erhöhten Risiko an Atemwegserkrankungen führen. Auch führt eine Erhöhung der

Exposition gegenüber ionisierender (Radioaktiver) Strahlung zu einer Erhöhung des Krebsrisikos. Aber was eben interessant ist, ist die Tatsache, dass Bergbauarbeiter, welche im Uranbergbau (vor allem bei der Wismut in der DDR) tätig waren, um ein Vielfaches häufiger erkrankt und meist auch gestorben sind (siehe auch „Schneeberger Krankheit“) als man das von den jeweiligen Einzelrisiken erwarten würde. Es muss also eine Synergiewirkung auftreten zwischen der Feinstaubbelastung zusammen mit der Radioaktivität des Radongases und seiner Zerfallsprodukte im Uranbergbau.

Genauso weiß man heute, dass auch der Tabakrauch nicht unerhebliche Mengen an Radon-Zerfallsprodukten enthält (die Tabakpflanze sammelt das Radon nämlich über Wurzeln und Blatthaare besonders gut), die zusammen mit dem Feinstaub im Rauch tief in die Lungen inhaled werden. Und auch da ist es wieder die Synergie des Feinstaubes mit den angelagerten Zerfallsprodukten, die das Risiko überproportional ansteigen lassen. Von daher sollte man dem gemeinsamen Auftreten von Radioaktivität und Feinstaub ein besonderes Augenmerk widmen, auch wenn das Uran im Gestein und die Tabakpflanze hier völlig natürliche Verursacher der Radioaktivität sind.

Blei-214

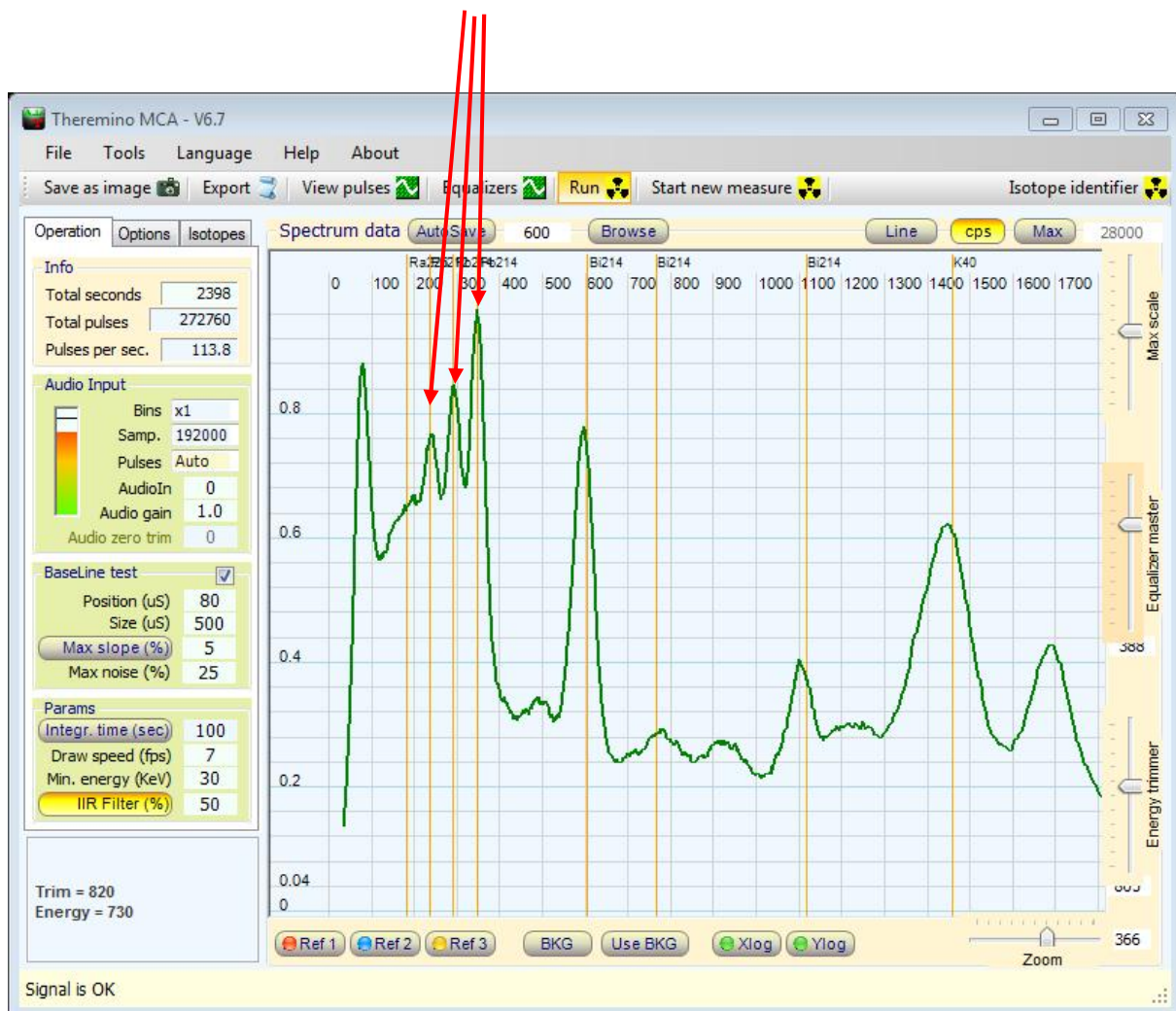


Abb. 4: Gamma-Spektrum einer mit Radon beladenen Aktiv-Kohletablette (Kohlecompresse), deutlich sind die Gamma-Strahlungs-Peaks des Blei-214 als Zerfallsprodukt des Radon erkennbar

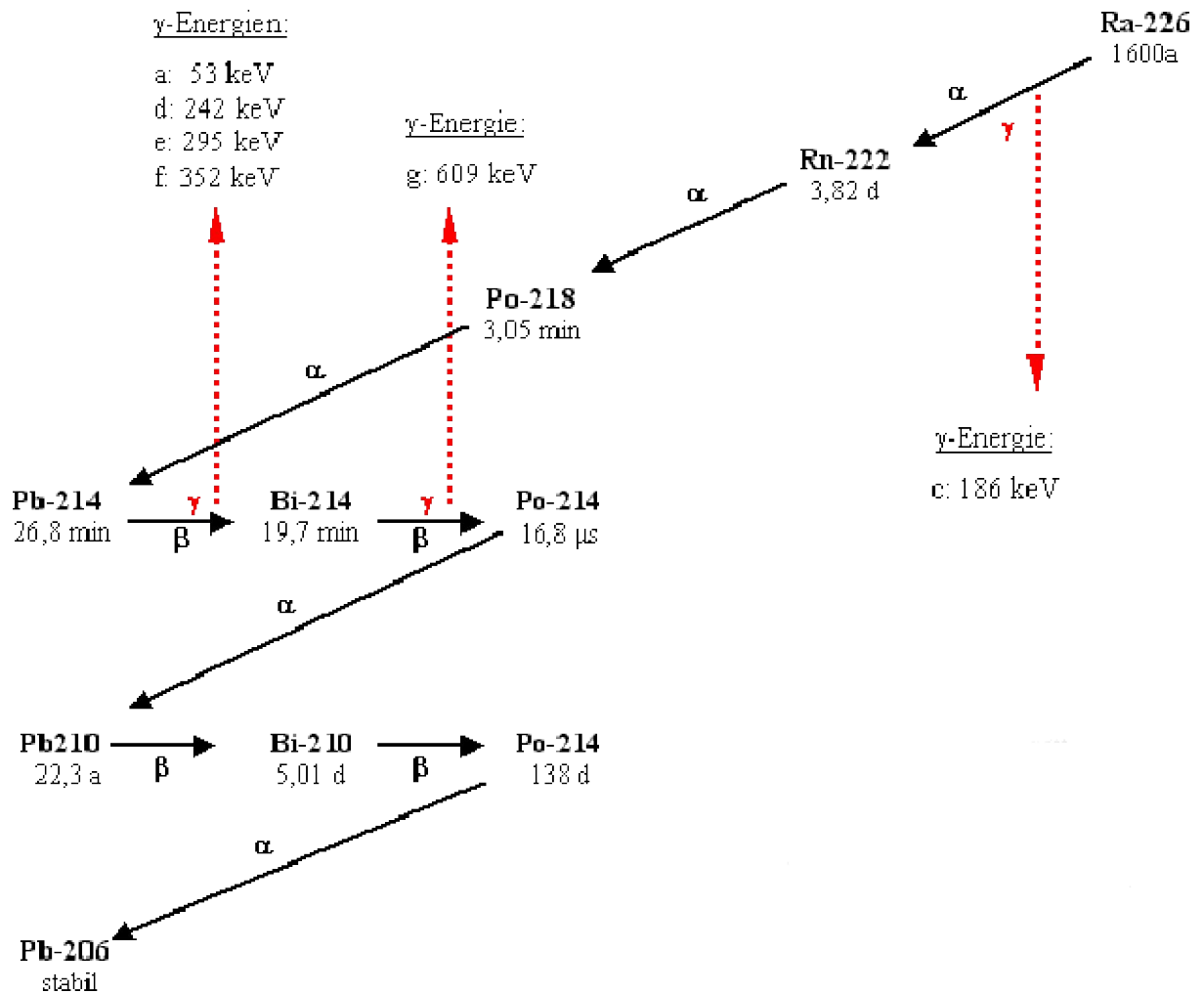


Abb. 5: Zerfallskette des Radon, aus: Radonseite des Grimmelshausen-Gymnasium Gelnhausen

Nun bleibt noch die Frage zu klären, wie lagern sich die Radon-Zerfallsprodukte an den Feinstaub an, und wie kommt es beim Einatmen der Radon-Zerfallsprodukte zu den strahlungsbedingten Erkrankungen.

Zunächst entsteht das Radon im schwach uranhaltigen Gestein der Umgebung. Interessanterweise gibt es Uran auch in den Hanglagen um Stuttgart, z.B. im Sandstein der Killesberg-Kuppe, sowie in den Sandsteinen der Zeugenberge um Stuttgart (Karlshöhe, Hohenasperg, Lemberg). Dort ist das Uran recht einfach an der leicht erhöhten Gamma-Ortsdosisleistung, die man mit dem Geigerzähler messen kann, erkennbar. Etwas weiter in Murrhardt und Welzheim, wollte man sogar schon mal nach Uran schürfen, weil der doch deutlich erhöhte Urangehalt im Sandstein des Keuper im Welzheimer Wald aufgefallen war und man zu den Zeiten des kalten Kriegs und der aufblühenden Kernenergie-Wirtschaft sehr eifrig nach Uran suchte, auch in Deutschland. Man hat schnell eingesehen, dass sich das nicht lohnt, aber als mit der Novellierung der Trinkwasserverordnung 2011 der Grenzwert für das doch auch im chemischen Sinne doch sehr giftige Uran (nierenschädigend) auf 10ug/l festgelegt wurde, musste man in dieser Gegend doch in etlichen lokalen Wasserwerken Uranfilter einbauen um den neuen Grenzwert zu erfüllen.

Das Uran im Gestein zerfällt über eine lange Kette von radioaktiven Isotopen verschiedener chemischen Elemente. Interessanterweise sind das bis zum Radium ausschließlich Feststoffe, so dass sich dieser Zerfall im Gestein selbst abspielt. Wenn aber das Radium zerfällt entsteht ein radioaktives Gas mit dem Namen Radon (Radon-222), das nun in die Porenräume des Gesteins eindringt und da

relativ leicht hindurchdiffundiert. Auch die Feuchte des Gesteins spielt dabei eine Rolle und die Diffusions-Vorgänge dabei sind recht komplex. Die Porosität des Sandsteins begünstigt diese Gasdiffusion des Radons enorm und wenn dann noch ein nur lockerer Oberboden aufliegt, dann ist die Exhalation, also das Ausgasen des Radon, besonders günstig. Das gasförmige Radon kann aus dem entsprechenden Boden auch in Wohnhäuser eindringen und dort in den Wohnräumen ein besonderes Gesundheitsproblem darstellen, sofern keine speziellen Vorkehrungen getroffen werden. Diesem Radon-Problem sind beispielsweise die denkmal-geschützten Bungalows der Diplomatsiedlung auf dem Killesberg in Stuttgart besonders ausgesetzt, wie bereits in den lokalen Medien berichtet wurde. Dort bemüht man sich nun um eine Sanierungslösung durch eine spezielle Kellerlüftung und die Abdichtung des Fundaments und der Kellerwände gegen das Radon zu finden. Das bedeutet, dass die Exhalation des Radon aus dem Gestein von etlichen Parametern abhängt, die wichtigsten davon sind:

- Die Urankonzentration im Gestein
- Die Feuchte in den Porenräumen des Gesteins
- Die Porosität des Gesteins und des Bodens darüber
- Die metrologischen Verhältnisse wie Luftdruck Temperatur und die Windverhältnisse

Ist das Radon einmal in der Atmosphäre, spielt das Wetter eine große Rolle, sowie auch der Tagesgang der vertikalen Luftbewegung. Im Sommer hat man im Gegensatz zur Nacht tagsüber eine starke Erwärmung der Atmosphäre, so dass sich eine starke vertikale Luftbewegung ausbildet und das Radon schnell verdünnt wird. Nachts beruhigt sich das Ganze und die bodennahen Radonkonzentrationen steigen wieder an, so dass man in der Nacht die höchsten Konzentrationen findet. Im Sommer sieht man also einen deutlichen Tag/Nacht Wechsel der Radon-bedingten Luftradioaktivität. Bei Regen und Schlechtwetter während Tiefdruck-Wetterlagen wird das Radon schnell vom Wind abtransportiert, da gibt es weder im Sommer noch im Winter erhöhte Radon-Konzentrationen. Wenn aber im Winter eine deutliche Hochdruckwetterlage entsteht, dann hat man das Problem, dass die kalte Luft vor allem in der Nacht absinkt und die Luft sich am Tag nur in den Höhen erwärmt. Dann ist der Temperaturverlauf zu normalen Verhältnissen umgedreht und man spricht von einer bodennahen Inversion. Durch die Hochdruckwetterlage ist es windstill, so dass nun die vertikale Durchmischung der Luft unter Umständen völlig ausbleibt. Genau wie für den Feinstaub so ist dieser fehlende Luftaustausch auch für das radioaktive Radongas der Grund, dass es sich nun ziemlich aufkonzentrieren kann.

Da das Radongas eine kurze Zerfallsdauer von 3.8Tagen hat, zerfällt es bei längerer stabiler Hochdruck-Wetterlage in der bodennahen Atmosphäre. Dabei entstehen aus den Radon-Gasatomen jetzt die Atome der Zerfallsprodukte, die nun wieder Feststoffe sind, wie z.B. das Blei-214. Die Blei Atome bilden also schnell Atomcluster, die man bereits als Ultrafeinstaub (ultra fine particles , UFP) bezeichnen kann mit Größen im Nanometerbereich. Im Strahlenschutz heißen sie „nicht-angeheftete Fraktion“ oder unattached fraction. Der Name kommt daher, weil auch die elektrische Ladung eine Rolle spielt. Beim Beta-Zerfall wird ein Neutron in ein Proton und ein Elektron umgewandelt, das Elektron wird als Beta-Strahlung emittiert. Damit bleibt aber für kurze Zeit ein positiv geladener Atomrumpf als Zerfallsprodukt zurück, der nun ein Ion darstellt. Elektrisch geladene Ionen haben aber stets eine Tendenz sich relativ schnell an etwas anzuheften. Genau das passiert nun mit den Clustern der Zerfallsprodukte des Radon, sie heften sich, sofern vorhanden, an die Aerosole des Feinstaubs an, die nun deutlich größer im Durchmesser sind (zwischen 0.1µm und einigen µm). Man hat nun auch festgestellt, dass wenn Feinstaub vorhanden ist, der Anteil der angehefteten Farktion (attached fraction) der Radon-Zerfallsprodukte steigt, welche nun den Feinstaub radioaktiv machen. Dadurch, dass der Feinstaub als Träger der radioaktiven Zerfallsprodukte nun im Mikrometerbereich liegt, bleibt er auch in feinen Filtern sehr gut hängen. So auch im Filter der Aerosolmessstelle auf dem Fernsehturm.

Im Physikunterricht macht man gelegentlich auch noch ein anderes nettes Experiment, das diesen Effekt sehr schön visualisieren kann. Man spannt zwei lange Drähte durch den Raum, die man an eine Hochspannungsquelle anschliesst. Nach einigen Stunden wischt man die Drähte mit einem feinfaserigen Tuch ab und misst die Radioaktivität des Tuchs. Der auf hohe Spannung aufgeladene Draht zieht nämlich die geladenen Feinstaub-Partikel an, so dass sich nach einer gewissen Zeit eine Feinstaubschicht auf dem Draht ansammelt, die man mit dem Tuch abwischt. An der erhöhten Radioaktivität kann man nun deutlich sehen, dass der Feinstaub, der die Radon-Zerfallsprokte angelagert hat, selbst radioaktiv ist.

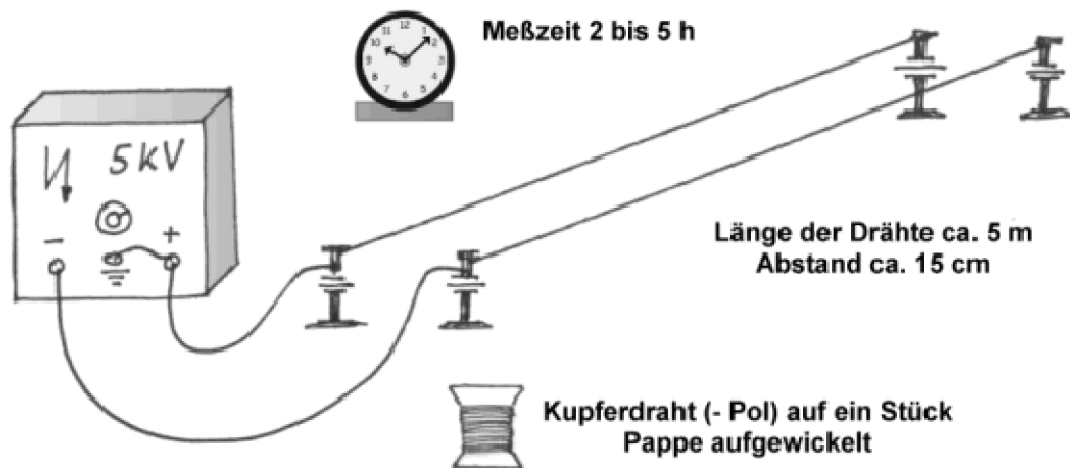


Abb. 6: Zerfallskette des Radon, aus: Radonseite des Grimmelshausen-Gymnasium Gelnhausen

Wenn man nun die zum Panorama zusammengesetzte Messkurve der Aerosol-Messstelle auf dem Stuttgarter Fernsehturm genau anschaut, dann sieht man, dass die Erhöhung der Luftradioaktivität bereits deutlich vor dem Silvestertag mit den massiven Feinstaubbelastungen in Stuttgart begann. Und die weitere Erhöhung in der Silvesternacht war nicht in der Größenordnung, wie sich die Feinstaubkonzentration ab 24Uhr erhöht hatte. Daher kann die Radioaktivität nicht aus dem Pulver der Böller und Raketen stammen. Vielmehr sorgte das Hoch Yörn, das sich schon die Tage vorher ziemlich breitgemacht hatte und zur starken Inversion der Luftschichten führte, für einen Anstieg an Feinstaubwerten über dem Stuttgarter Talkessel. Sogar in Stuttgart-Degerloch einem Vorort auf den Höhenlagen Stuttgarts, dort wo auch der Fernsehturm steht, sah man bereits am 30.12.2016 schon Feinstaubkonzentrationen in der Nähe von $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ für die PM2.5 Klasse. Zusammen mit den stabilen metrologischen Verhältnissen war das eine ideale Situation für die Radonzerfallsprodukte sich an den Feinstaub anzulagern und ihn so radioaktiv zu machen.

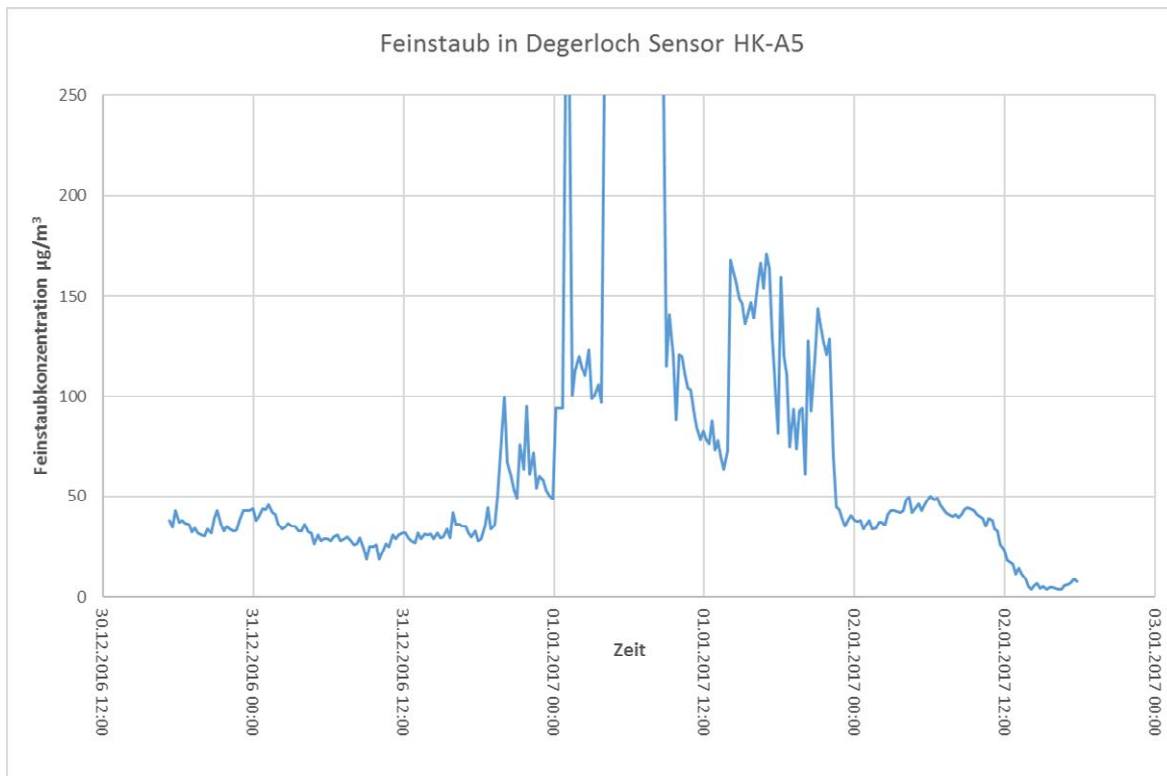


Abb. 7: Feinstaub-Konzentration der Klasse PM2.5 gemessen unterhalb des Fernsehturms vor und nach Silvester 2016, der Peak des Silvesterfeuerwerks verlässt hier den Bildausschnitt

Unter den Zerfallsprodukten ist natürlich nicht nur das auf dem Fernsehturm gemessene Blei-214, da gibt es noch die etwas gefährlicheren Zerfallsprodukte, die eine Alphastrahlung emittieren, wie das Polonium-218 oder -214 Isotop. Die Alphastrahlung dieser Zerfallsprodukte ist nun das, was für das Lungengewebe das Kritische ist, denn die emittierte Alphastrahlung hat eine deutlich höhere biologische Wirksamkeit als die Gamma- oder Beta-Strahlung des Blei-214 oder Bismut-214. Da die Alphastrahlung eine Partikelstrahlung (Heliumpartikel) mit hoher Energie ist, kann die in empfindlichen, für die kleinen Feinstaubpartikel leicht erreichbaren Lungengewebszellen die DNS der Zellen schädigen. Wenn jetzt das Immunsystem etwas schwächelt und die genetischen Defekte nicht erkennt oder nicht reparieren kann, dann werden die Schäden bei der Neubildung des Gewebes vererbt. Unter diesen Mutationen gibt es dann gelegentlich solche, die nicht zum Zelltod sondern zum ungehemmten Wachstum führen und dann spricht man von der Inzidenz eine Lungenkrebses.

Man muss allerdings der Fairness halber dazusagen, dass die Radioaktivität keineswegs der einzige Beiträger zu Krebsinzidenz ist. Auch chemische Noxen (Giftstoffe) die sich an den Feinstaub in ähnlicher Form anlagern oder aus denen der Feinstaub selbst besteht (hier spielt jetzt das Raketenpulver und die Chemie der verwendeten Leuchtfarben eine Rolle) kann das Immunsystem genauso schädigen oder die Zellen chemisch vergiften, dass bei der Zellteilung Schäden vererbt werden, die später zu malignen Entartungen führen können. Das lässt sich auch sehr schön am Feinstaub des Tabakrauchs studieren, der bei einem Raucher um Größenordnungen höhere Mengen an inhaliertem Feinstaub darstellt, als das Passiv-Inhalieren beim Silvesterfeuerwerk. Verwirrend kommt noch die Statistik bei den langen Latenzzeiten einer Krebsinzidenz hinzu (Zeit zwischen Einwirkung und Ausbruch einer Erkrankung), die gelegentlich dazuführt, dass der eine oder andere Raucher doch auch ein stolzes Alter von über 90 Jahren erreichen kann, so wie der Vorzeigeraucher und Alt-Bundeskanzler Helmut Schmidt. Das Ergebnis einer Feinstaub-Belastung, ob mit oder ohne Radioaktivität, wird man also nur über die sehr lange statistische Untersuchungen über sehr viele Fälle (große epidemiologische Studien) erkennen können. Und die politischen Massnahmen, ähnlich wie die zum Rauchen, die brauchen dann noch mal sehr lange Zeit, weil es ja meist auch eine starke

Lobby gibt, die gut am Feinstaub verdient, ob Auto- oder Feuerwerk. So gesehen wird uns das Silvesterfeuerwerk auch in Stuttgart noch geraume Zeit erhalten bleiben.

Literatur und Links

/1/ Natural Radioactivity from Radon Progeny as a Tool for the Interpretation of Atmospheric Pollution Events

C. Perrino

C.N.R. Institute of Atmospheric Pollution Monterotondo Stazione (Rome), Italy

Sources and Measurements of Radon and Radon Progeny Applied to Climate and Air Quality Studies

Proceedings of a technical meeting held in Vienna, organized by the International Atomic Energy Agency and co-sponsored by the World Meteorological Organization

IAEA Wien, 2012

/2/ Vertical Dispersion of Radon and Conventional Pollutants – Some Tests on Existing and new Models

M. Magnoni

ARPA Piemonte, Centro Regionale Radiazioni Ionizzanti e Non Ionizzanti, Ivrea, Italy

Proceedings of a technical meeting held in Vienna, organized by the International Atomic Energy Agency and co-sponsored by the World Meteorological Organization

IAEA Wien, 2012

/3/ 4-hours resolution data to study PM₁₀ in a “hot spot” area in Europe

Roberta Vecchi, Vera Bernardoni, Paola Fermo, Franco Lucarelli, Federico Mazzei, Silvia Nava, Paolo Prati, Andrea Piazzalunga, Gianluigi Valli

Environ Monit Assess (2009) 154:283–300

/4/ On the use of radon for quantifying the effects of atmospheric stability on urban emissions

S. D. Chambers, A. G. Williams, J. Crawford, and A. D. Griffiths

Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Locked Bag 2001, Kirrawee DC, NSW 2232, Australia

Atmos. Chem. Phys., 15, 1175–1190, 2015

/5/ Exploring Atmospheric Exchange with Natural Tracers

Dissertation an der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel

von Yu Xia

/6/ Outdoor radon and traffic load levels as cumulative indicators of PM₁₀ and benzene air pollution

Anna Somigliana & Donata Lerda

Journal of the Air & Waste Management Association, 63(8):971–976, 2013

/7/ Ten-year measurements of Radon's decay products to study the role of atmospheric dispersion on PM levels

R. Vecchi, G. Valli, V. Bernardoni, and A. Franchin

Department of Physics, University of Milan, and INFN, via Celoria 16, 20133, Milan, Italy

European Aerosol Conference 2009, Karlsruhe,

/8/ A study on nighttime–daytime PM10 concentration and elemental composition in relation to atmospheric dispersion in the urban area of Milan (Italy)

R. Vecchi, G. Marcazzan, G. Valli

Istituto di Fisica Generale Applicata, University of Milan, Via Celoria, 16-20133 Milan, It

Atmospheric Environment 41 (2007) 2136–2144

/9/Radon parameters in outdoor air

Porstendorfer, J., Zock, Ch., Wendt, J., & Reineking, A.

2 International symposium on technologically enhanced natural radiation Book of Abstracts, (p. 124).
Brazil (1999).

/10/ Characterization of the Radon Decay Products in Outdoor Air

M. Gründel, J. Porstendörfer

Institute of Physical Chemistry – ISOLAB, Georg August University, Göttingen

Towards harmonisation of radiation protection in Europe: European IRPA Congress 2002: Florence,
Italy, 8-11 October 2002: proceedings

/11/ Radonseite des Grimmelshausen_Gymnasium Gelnhausen

<http://www.physik-box.de/radon/radonseite.html>

/12/ Bundesamt für Strahlenschutz, Suchbegriff „Radon“

www.bfs.de