

Methoden zur Bewertung von Graniten als Baumaterial im Hinblick auf die Radioaktivität

Bernd Laquai, 27.10.12 Update 6.2.16

Grundsätzliches

Genau wie Granit, sind auch die 3 radioaktiven Elemente Uran Thorium sowie das Kaliumisotop K-40 natürliche Stoffe. Sie haben von der Erdentstehung bis heute überlebt, weil ihre Halbwertszeiten in der Größenordnung der des Erdalters liegen (4-5 Mrd. Jahre). So gesehen ist ein Granitstein, der von Natur aus viel Uran enthält, auch ein echter „Naturstein“. Natursteine erfreuen sich zunehmender Beliebtheit und werden als Bodenbeläge, Fenstersimse und auch teilweise als Küchen-Arbeitsplatten verwendet. Unter den Natursteinen ist der Granit einer der edelsten und teuersten Natursteine. Das liegt nicht nur an seinem dekorativen Aussehen, sondern auch an seiner Härte und Beständigkeit. Aber so unterschiedlich seine Farbe ist, so unterschiedlich ist auch sein Gehalt an den 3 natürlichen radioaktiven Elementen. Und deren Anwesenheit ist in der Regel nicht erwünscht. Der Granit ist eine bunte Mixtur an vielen Mineralien, die bei der Erdentstehung im flüssigen Zustand der Erdmagma miteinander verschmolzen sind. Die Anteile von Uran und Thorium liegen normalerweise im ppm Bereich (1ppm, part per million = 10^{-6}), die des Kalium im Prozent Bereich, mit stark schwankenden Werten. Aber grundsätzlich kann man sagen, dass vor allem die Granitgesteine besonders hohe Radioaktivität auf Grund von Einlagerungen dieser 3 Elemente haben. Man sieht das auch in den Gamma-Ortsdosisleistung-Karten des Bundesministeriums für Strahlenschutz (BfS, www.bfs.de) in denen vor allem die Granitgebirge (Erzgebirge, Fichtelgebirge Oberpfälzer Wald und der Schwarzwald) durch hohe Werte deutlich auffallen.

Während das Kalium-40 Isotop, das zu 0.0117% im natürlichen Kalium (K_{nat}) enthalten ist, durch einen Betazerfall in die zwei stabilen Elemente Argon und Calcium zerfällt, zerfallen Uran und Thorium über längere Zerfallsketten von radioaktiven Elementen mit etlichen Alphazerfällen und einigen Betazerfällen in das stabile Blei. Dort wo Uran und Thorium auf natürliche Weise auftreten, findet man daher auch immer alle anderen radioaktiven Zerfallsprodukte wie zum Beispiel das Radium, das seinerseits wiederum radioaktiv zerfällt. In beiden Zerfallsketten taucht das Radium auf, das seinerseits in das Radon zerfällt. Radon ist im Gegensatz zu den anderen Zerfallsprodukten radioaktives Element, welches gasförmig ist, und das aus dem Granitgestein entweichen kann. Wenn auf granithaltigem Gestein ein poröser Boden liegt, auf den Häuser gebaut werden, dann kann dieses Gas in die Häuser eindringen und sich dort ansammeln. In der Raumluft zerfällt es weiter und die wiederum alphaaktiven Zerfallsprodukte werden eingeatmet und in der Lunge deponiert, wo sie ihre gefährliche Alphastrahlungsenergie an das empfindliche Lungengewebe abgeben. Deswegen kommt es so zu einem erhöhten Risiko für Lungenkrebserkrankungen. Radon ist nach dem Rauchen das zweithöchste Risiko für Lungenkrebs. Deswegen ist es auch nicht sinnvoll, Granite mit hohem Radionuklidgehalt in Wohnräumen zu verwenden. Vom BfS und den Landesämtern für Umweltschutz gibt es bezüglich des Radons eine umfassende Info, da sich herausgestellt hat, dass man das Risiko lange Zeit unterschätzt hat (www.bfs.de, Stichwort Radon). Von der WHO gibt es ein Radon Handbook /1/, das auch die gesundheitlichen Aspekte beschreibt und Richtwerte für den Radongehalt in der Raumluft empfiehlt.

Hinsichtlich der Auswahl an Graniten die als Baumaterial verkauft werden, gibt es aber wenig Hilfestellung für den Verbraucher. Es gibt strahlungsarme Granite, aber man bekommt

diesbezüglich selten eine gute Auskunft von den Lieferanten. Deswegen hier ein Versuch etwas mehr Licht in diese Sache zu bringen.

Radioaktives Gleichgewicht

Für das Verständnis der im Folgenden beschriebenen spezifischen Aktivitäten muss noch eine kernphysikalische Sache vorab erklärt werden, das ist das radioaktive Gleichgewicht. Wenn eines der beiden natürlichen Radionuklide Uran oder Thorium zerfallen und neue Tochternuklide als Zerfallsprodukt entstehen (Nuklid = Kern), dann kann das Tochternuklid nur entstehen, wenn auch das Mutternuklid zerfällt. Wenn jetzt das Tochternuklid deutlich schneller zerfällt, als das Mutternuklid, dann ist die Radioaktivität des Tochternuklids genauso hoch, wie die des Mutternuklids. Dies gilt in der Natur streng genommen nur annähernd, da es geologisch bedingt auch Anreicherungs- und Abreicherungsprozesse geben kann, allerdings kann man für eine überschlägige Betrachtung von einem Gleichgewicht ausgehen. Nun ist es so, dass die schweren Radionuklide wie das Uran beim Zerfall kaum Gammastrahlung abgeben. Erst ab dem Radium entsteht beim Zerfall auch eine deutliche Gamma-Energie, die man „leicht“ messen kann. In den meisten Fällen benutzt man die Gamma-spektroskopie um den Gehalt der Radionuklide im Gestein zu bestimmen. Deswegen wird oft stellvertretend für das Uran die spezifische Aktivität des Radiums angegeben und man kann nun ein Gleichgewicht unterstellen um auch die Uranaktivität abzuschätzen. Diese wird dann als gleich groß angenommen. Die spezifische Aktivität wird in der Regel in Bq/kg angegeben.

Grundsätzlich kann man sagen, dass Granite, die stark uran- oder thoriumhaltig sind, deutlich Alpha- und Betastrahlung abgeben, während ein hoher Kalium-Gehalt nur zu einem höheren Betastrahlungsanteil führt. Die Gammastrahlung, die in den Zerfallsketten von Uran und Thorium erst ab dem Radium nennenswert auftreten, ist in der Gesamt-Dosisleistung von Graniten eher weniger zu finden, siehe auch der Anhang von /8/. Dennoch ist für die meisten Betrachtungen nur die Gamma-Dosisleistung relevant, da sie eine große Reichweite und Durchdringungskraft hat. Die Alphastrahlung dagegen wird bereits durch die Kleidung und Oberhaut abgeschirmt und die Reichweite der Betastrahlung beträgt meist nur einige Zentimeter. Es gibt aber noch einen wichtigen Aspekt zu der Alphastrahlung, sie ist dann gefährlich, wenn sie inhaliert wird. Im Granit führen alle Zerfälle zu Feststoffen als Zerfallsprodukt mit Ausnahme des Radon. Das Radon aber ist gasförmig, gas aus dem Granit aus (exhaliert) und gelangt in die Raumluft. In der Raumluft zerfällt es und die Zerfallsprodukte lagern sich teilweise an Spurengase und an Aerosole, wie z.B. Staubpartikel oder Kunststoffoberflächen von Gegenständen im Raum an, weil sie elektrisch geladen sind. Aerosolpartikel und kleinere Molekülcluster werden dann mit der Atemluft in die Lunge transportiert. Große Aerosolpartikel werden von Flimmerhaaren der Bronchien abgefangen, solange man die Selbstreinigung der Bronchien nicht schon durch Rauchen ruiniert hat. Die kleinen unangelagerten Cluster gelten aber als besonders gefährlich werden, da sie auf dem empfindlichen Lungenepithel deponiert werden. Diese Zerfallsprodukte des Radons, beispielsweise das Polonium, zerfällt dann in der Lunge und gibt dabei seine Alpha-Strahlungsenergie an das Lungengewebe ab. Deswegen sollte man Räume in denen Granite verbaut sind gut belüften und sollte auch die Radonkonzentration in der Raumluft prüfen.

Für die Untersuchung der Gesteine auf ihren Radionuklidgehalt werden diese pulverisiert, getrocknet und dann mit einem Gamma-Spektrometer vermessen. Aus den gemessenen spezifischen Aktivitäten (Zählraten für unterschiedliche Energiepeaks) bestimmt man über

die bekannte Halbwertszeit den massenspezifischen Gehalt. Dabei kommt man auf folgende angenäherten Zusammenhänge:

1ppm Unat \approx 25.4 Bq/kg

1ppm U-238 \approx 12.4 Bq/kg

1ppm Th-232 \approx 4.1 Bq/kg

1% Knat \approx 311,7 Bq/kg

Das natürliche Uran U_{nat} besteht aus einem Isotopengemisch von 99.3% U-238 und 0.7% U-235.

Der mittlere Uran-Gehalt der äußeren Erdkruste beträgt beachtliche 2.7ppm, ist aber nicht gleichverteilt. Besonders Granite können unterschiedliche und teilweise sehr hohe Konzentrationen enthalten, typischerweise zwischen <1 und bis >30 ppm Uran. Das bedeutet aber auch, dass man eine zumindest schwache Radioaktivität bei fast allen Graniten findet.

Eine spezifische Aktivität in Bq/kg kann man nun für jedes Radionuklid getrennt in die Ionendosisleistung in Gy/h (Gray pro Stunde) umrechnen. Das ist die Fähigkeit der Strahlung andere Stoffe zu ionisieren (Elektronen aus der Schale zu entfernen). Hier werden von der UNSCEAR (der Wissenschaftliche Ausschuss der Vereinten Nationen zur Untersuchung der Auswirkungen der atomaren Strahlung (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*)) Konversionsfaktoren angegeben:

K-40 0.0414 Gy/h pro Bq/kg

Th-232 0.623 Gy/h pro Bq/kg

U-238 0.461 Gy/h pro Bq/kg

Hat man nun die spezifische Aktivität in die Ionendosisleistung umgerechnet, erfolgt jetzt noch eine biologische Bewertung, damit erhält man die Äquivalentdosisleistung in $\mu\text{Sv/h}$. Wird diese an einem festen Ort beurteilt (hier bei äußerer Bestrahlung des Menschen z.B. 1m über dem betrachteten Granit-Boden), dann spricht man auch von der Ortsdosisleistung in $\mu\text{Sv/h}$. Dies ist meist die Ortsdosisleistung der Gammastrahlung, denn nur die hat eine relevante Reichweite und Durchdringungskraft für die Kleidung. Für diese Umrechnung gilt der Umrechnungsfaktor $1\text{Sv} = 1\text{Gy} \cdot 1.15$ bzw. $1\text{nSv} = 1\text{nGy} \cdot 1.15$ (n steht für nano = $1 \cdot 10^{-9}$)

Die Einheit Sievert soll auf diese Weise ein biologisch bewertetes und vergleichbares Maß für die Dosisleistung unterschiedlicher Radionuklide sein.

Mit diesen Größen, die sich ineinander umrechnen lassen, kann man nun die verschiedenen Granite hinsichtlich der strahlenschutzrechtlichen festgelegten Grenze von 1mSv/a für die Jahresdosisleistung ($1\text{a} = 1\text{Jahr} = 8760$ Stunden) für die allgemeine Bevölkerung beurteilen .

Für die Ionendosisleistung ergeben sich aus dem oben genannten die Annäherungen:

Knat 12.9 nGy/h pro %

Th-232 2.6 nGy/h pro ppm

U-238 5.8 nGy/h pro ppm

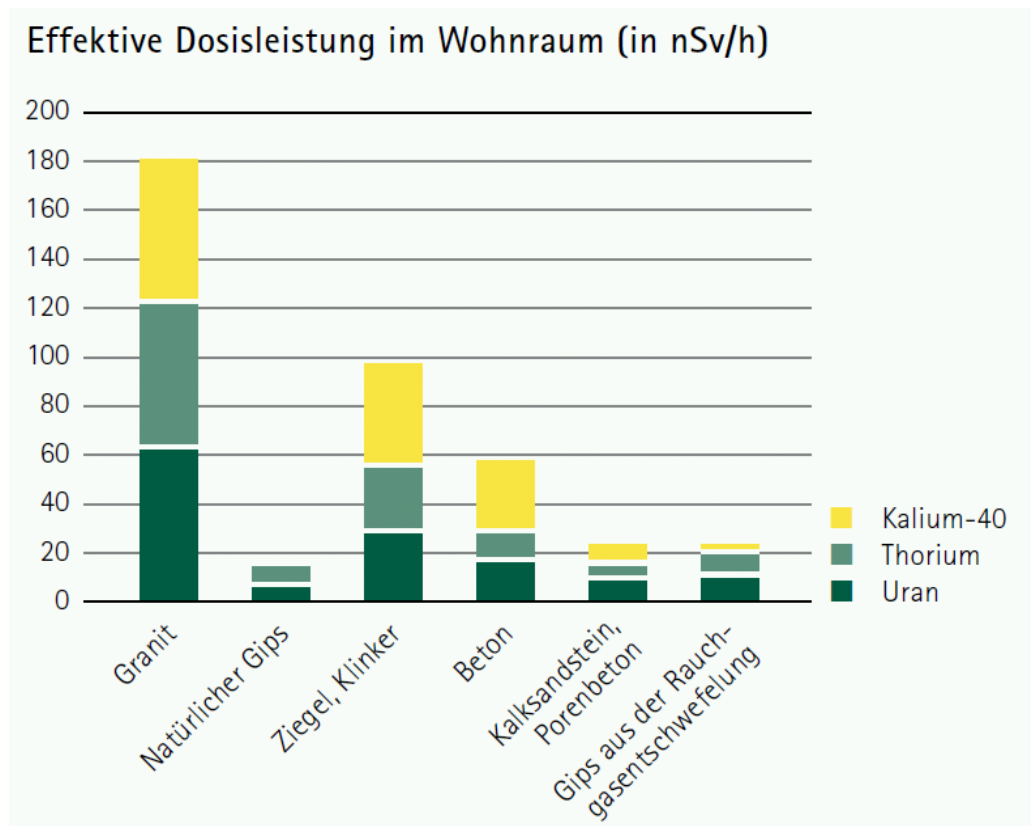
Unat 5.75 nGy/h pro ppm

Man muss aber beachten, dass man im Freien normalerweise auch eine mittlere Grund-Dosisleistung von 40-60nGy/h hat (normale terrestrische Strahlung und Höhenstrahlung aus der Atmosphäre), die an manchen Orten auch noch höher sein kann. Sie ist nicht Teil der Dosisleistung, die als Grenzwert gegeben ist und muss daher abgezogen werden.

Das BfS gibt für Granite folgendes an (in der Regel werden die Angaben nicht auf U-238 sondern auf Ra-226 gemacht und ein Gleichgewicht angenommen) :

Spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide in Natursteinen, Baumaterialien und Reststoffen			
Material	Radium-226 in Bq/kg Mittelwert (Bereich)	Thorium-232 in Bq/kg Mittelwert (Bereich)	Kalium-40 in Bq/kg Mittelwert (Bereich)
Granit	100 (30 - 500)	120 (17 - 311)	1000 (600 - 4000)

Für Wohnräume findet man beispielsweise folgende Angaben für Granit im Vergleich zu anderen Baumaterialien:



Aus: Umweltradioaktivität – Messung und Überwachung Sachsen, 2009 /2/

Was die Streuung der natürlichen Gamma-Ortsdosisleistung anbelangt, kann man sich an folgende Häufigkeitsverteilung halten, die an offenliegendem Gestein bestimmt wurde:

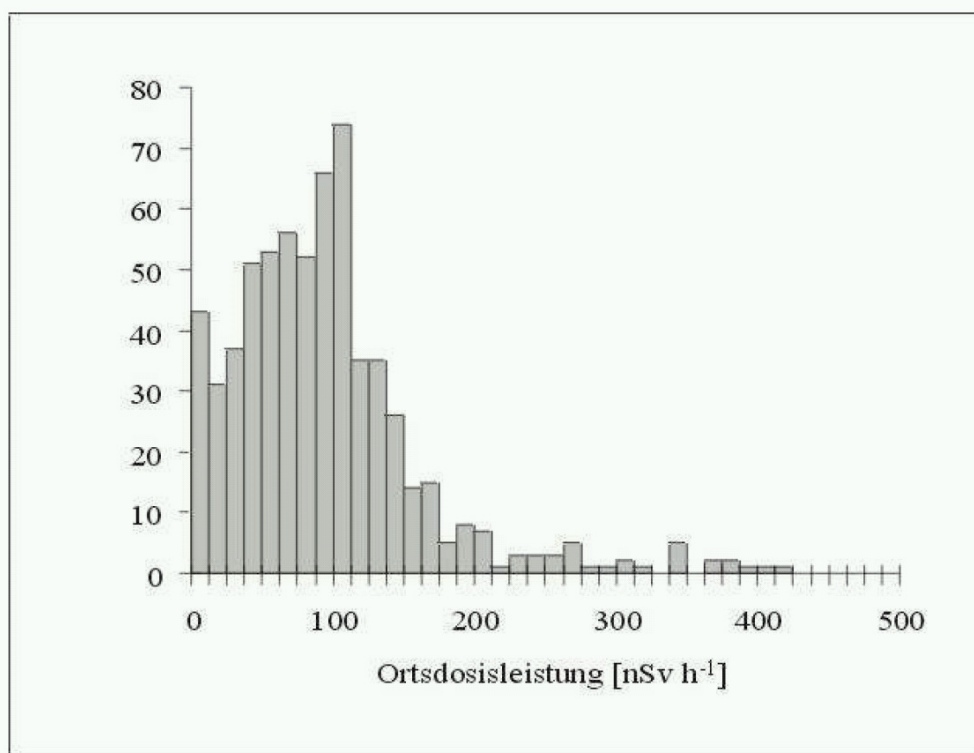


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der berechneten Ortsdosisleistungen (n= 644) über Festgesteinen in der Bundesrepublik.

Für die kritischen Granitgebiete Bayerns gibt es spezielle Angaben zur Gamma-Ortsdosisleistung:

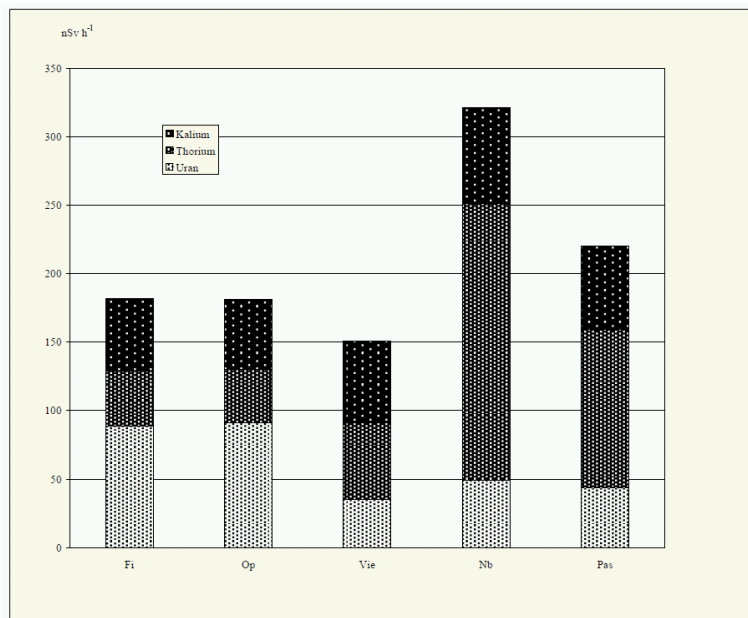


Abbildung 6: Berechnete Dosisleistungen in 1 m über dem Erdboden für verschiedene Granitareale in Ostbayern (Median-Werte). Fi: Fichtelgebirge. Op: Nördliche Oberpfalz. Vie: Oberviechtacher Granit. Nb: Neunburger Granit. Pas: Granite des Passauer Waldes.

Aus: Kemski et. al, Die terrestrische Strahlung durch natürlich radioaktive Elemente /3/

In einem Altlastenbericht über bergbauliche Hinterlassenschaften (Granithalden) findet man die spezifischen Aktivitäten von besonders Strahlungsreichen Graniten aus Deutschland.

Tabelle 3-31: Spezifische Aktivität von Gesteinen in Deutschland

	U-238 [Bq/kg]	Th-232 [Bq/kg]	Datenquelle
Fichtelgebirge	170	55	Medianwerte (!) für Granitareale in Oberbayern. Rückgerechnet aus /SIE 98/ S. 88
Nördliche Oberpfalz	170	55	
Oberviechtaler Granit	68	78	
Neunburger Granit	95	276	
Granite des Passsauer Waldes	78	168	
Lagergranit, Granulitgebirge, Pferdeberg Döbeln, Sachsen	242	393	/LEI 91/
Monzonit, Massiv von Meissen, Sachsen	168	224	/LEI 91/
Granit, Niederbobritzsch, Erzgebirge, Sachsen	198	126	/LEI 91/
Granit, Kirchberg, Sachsen	110	121	/LEI 91/
Granit, Schellerau, Sachsen	98	117	/LEI 91/
Granodiorit, Lausitz, Sachsen	35	40	IAF (27.9.2005)
Flossenbürger Granit, Bayern	460	78	/MAL 04/
Berbingen Granit, Bayern	270	69	/MAL 04/
Granit Hauzenberg, Bayern	160 – 200	37 – 130	/MAL 04/
Granit Bibersberg, Bayern	200	34	/MAL 04/
Katzenbuckel bei Eberbach (Baden-Württemberg)	130	150	/BON 04/

Aus: Methodische Weiterentwicklung des Leitfadens zur radiologischen Untersuchung /4/

Auf internationaler Ebene gibt es auch zahlreiche Publikationen zu dem Thema Strahlung von Graniten, die auch Vergleichdaten veröffentlichen. In folgender Tabelle zum Beispiel sieht man einige Vergleichswerte:

Table 3. Comparison of Radionuclide Concentrations (Bq kg⁻¹) in Granite Samples with those Obtained in other Published Data, (The Average Activity Concentrations for Regular Soil are also Shown)

References	A _U (Bq/Kg)	A _{Ra} (Bq/Kg)	A _{Th} (Bq/Kg)	A _K (Bq/Kg)	Country	Location
Chen and Lin (1996) [30]	42	42	73	1055	Average from different countries all over the world	Chen and Lin (1996)
UNSCEAR (2000) [27]	35	35	30	400	-	Regular soile (global scale)
Tzortzis et al. (2003) [4]		1–588	1–906	50–1606	Cyprus	Cyprus
El-Arabi (2005) [31]	-	10–90	98–160	73–102	Egypt	W.Allaki
Anjos et al. (2004) [32]	-	43–651	51–351	418–1618	Turkey	Turkey
Orgun et al. (2005) [26]	-	31	73	1648	Brazil	Brazil
Ahmed et al. (2006) [33]		25–59	28–759	970–1280	Egypt	Wadi El-Gemal
S.Fares et al.	181.98	199.97	36.39	1051.61	Egypt	Present work

Aus: Gamma Radiation Hazards and Risks /5/

Bewertungsmethoden

Aktivitäts Konzentrations Index der EU

Angesichts der Strahlenexposition durch Baustoffe, die Radionuklide enthalten können, hat die EU eine Richtlinie 112 /6/ erarbeitet, mit dem Titel: „Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials“ . In dieser wird nun zur Beurteilung ein sogenannter „Activity Concentration Index“ wie folgt definiert:

$$I = C_{Ra}/(300\text{Bq/kg}) + C_{Th}/(200\text{Bq/kg}) + C_K/(3000\text{Bq/kg})$$

Dazu werden Dosis-Kriterien festgelegt, zum Beispiel für Materialien, die in größeren Mengen verwendet werden, wie z.B. Beton. Um die zulässige Jahresdosisleistung von 1mSv pro Jahr nicht zu überschreiten, muss dieser Index für ein Baumaterial kleiner oder gleich 1 sein. Erzeugt ein Baumaterial beispielsweise die spezifische Aktivität von 300Bq/kg für Uran, kann man bei radioaktivem Gleichgewicht den selben Wert auch für das Radium annehmen. Dann wäre das Kriterium bereits mit dem Urangehalt am Limit.

Gamma-Ionendosis und Jahres Äquivalenzdosis

Im internationalen Bereich hat sich der Wissenschaftliche Ausschuss der Vereinten Nationen zur Untersuchung der Auswirkungen der atomaren Strahlung UNSCEAR in seinem Bericht UNSCEAR 2000 Report: "Sources and effects of ionizing radiation" /6/ darum bemüht, Richtwerte vorzugeben.

Die Gamma-Ionendosis in Gray wird bei dieser Beurteilung wie folgt abgeschätzt:

$$D = (0.621 \cdot A_{Th} + 0.462 \cdot A_{Ra} + 0.0417 \cdot A_K) \text{ nGy/h}$$

Hier sind A_{Th} , A_{Ra} und A_K die spezifischen Aktivitätskonzentrationen in Bq/kg. Für Arbeiter, welche mit diesen Baustoffen arbeiten gilt der Grenzwert $D < 55 \text{ nGy/h}$.

Aus dieser Gamma-Ionendosis wird nun die jährliche Äquivalenzdosis in mSv/a berechnet indem man den Konversionsfaktor 0.7 Sv/Gy benutzt. Um jedoch Außen- und Innenverhältnisse zu berücksichtigen, nimmt man zusätzlich an, dass man sich nur 20% der Zeit im Außenbereich und zu 80% im Innenbereich aufhält.

Man ermittelt daher 2 Werte, einen für den Außenbereich (unter der Annahme man hat keine Exposition im Innenbereich) und einen für den Innenbereich (unter der Annahme man hat keine Exposition im Außenbereich):

$$D_{\text{eff}} (\text{Außen}) [\text{mSv/a}] = D \cdot 8760 \text{h/a} \cdot 0.7 \text{Sv/Gy} \cdot 0.2 \cdot 10^{-6}$$

$$D_{\text{eff}} (\text{Innen}) [\text{mSv/a}] = D \cdot 8760 \text{h/a} \cdot 0.7 \text{Sv/Gy} \cdot 0.8 \cdot 10^{-6}$$

Das jährliche Limit für die Summe der Äquivalenzdosis wird mit 1mSv/a angegeben.

Hazard Indices (Risikofaktoren)

In der Literatur werden noch sogenannte Risikofaktoren (Hazard Indices) für den Innen- und Außenbereich verwendet. Sie werden wie folgt bestimmt:

$$H_{\text{ex}} = A_U/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810$$

$$H_{\text{in}} = A_U/185 + A_{Th}/259 + A_K/4810$$

Für beide Risikofaktoren gilt das Limit 1 als Ergebnis der Rechnung. Hier sind A_U , A_{Th} , und A_K die Aktivitätskonzentrationen in Bq/kg. Der Maximalwert des externen Hazard Index = 1 entspricht dem Grenzwert des weiter unten genannten Radium-Äquivalent Index Ra_{eq} von 370Bq/kg. Um speziell die in Innenräumen durch den Zerfall des Radium entstehende

Radonbelastung zu berücksichtigen, wurde der interne Hazard Index definiert, welcher das Uran stärker gewichtet.

Radium Äquivalenz Konzept

Darüber hinaus taucht in der Literatur noch das „radium equivalent concept“ auf. Hier werden die spezifische Aktivitäten der 3 Radionuklide auf die des Radium bezogen. Man nimmt an, dass 1Bq/kg Radium, 0.7Bq/kg Thorium und 13Bq Kalium-40 die selbe Gamma-Ionendosis erzeugen.

Berechnet wird der Radium Äquivalenz Wert dann wie folgt:

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43 A_{Th} + 0.077A_K$$

Aktivitäts-Index

Gelegentlich tauchen noch ein Gamma Index I_γ und ein Alpha-Index I_α zur Bewertung auf.

$$I_\gamma = A_{Ra} / 150 + A_{Th} / 100 + 0.077A_K / 1500$$

Bei $I_\gamma = 1$ nimmt man an, dass der Grenzwert von 1mSv/a erreicht ist.

Der Alpha-Index soll auch wieder speziell die Radon-Ausgasung berücksichtigen. Für I_α gilt:

$$I_\alpha = A_{Ra} / (200Bq/kg)$$

Hierbei wird explizit angenommen, dass sich Uran und Radium im radioaktiven Gleichgewicht befinden. Auch hier ist die Obergrenze mit $I_\alpha = 1$ festgelegt.

Beispielrechnung

In der Dissertation /8/ wird im Anhang A der Flossenbürger Granit (Referenzmaterial „Flossi“) mit einem Urangehalt von 19.5ug/g U-238 angegeben. Da 1 ug/g = 1ppm entspricht, entspricht diesem Urangehalt ungefähr der Gamma-Ionendosis von 113.1nGy/h oder 130uSv/h. Der Thoriumgehalt wird mit 14.75ug/g angegeben, das entspricht der Gamma-Ionendosis von 38.35nGy/h oder 44.1nSv/h. Damit kommt man zu einer spezifischen Aktivität von 245.3Bq/kg für das Uran und 61.6Bq/kg für das Thorium. Der Wert in dem BfS Dokument /4/ von 460Bq/kg für das Uran liegt dagegen deutlich höher, was aber hinsichtlich der Schwankungsbreite auch möglich ist. Über das Kalium liegen keine Angaben vor, daher ist die durch Kalium-40 zusätzlich hervorgehende Strahlenexposition im Folgenden vernachlässigt.

Verwendet man die aus /8/ berechneten spezifischen Aktivitäten und nimmt für das Radium das Gleichgewicht an, dann ergibt sich der Aktivitäts-Konzentrationsindex gemäß der EU-Richtlinie zu 1.13, d.h dieser Granit aus Flossenbürg überschreitet das gegebene Limit für die Exposition mit 1mSv/a. Dies gilt erst recht für die Werte aus dem BfS-Dokument.

Für die Gamma-Ionendosis nach der UNSCEAR Methode ergibt sich $D=151.6/kg$. Damit erhält man $Deff(Außen) = 0.185$ und $Deff(Innen) = 0.744$. D.h. das jährliche Limit wäre noch erfüllt. Wenn man jedoch die Werte aus /4/ benutzt, erhält man für $Deff(Aussen)=0.32$ und für

Deff(Innen)=1.28. Damit dürfte man den Flossenbürger Granit aus /4/ zwar im Außenbereich nicht aber im Innenbereich einsetzen.

Der Hazard Index mit Werten nach /8/ wäre $H_{ex} = 0.9$ und $H_{in} = 1.56$. Mit diesem Index wäre der Flossenbürger Granit nach /8/ für den Innenbereich über dem Limit sowie nach /4/ für den Außen- und Innenbereich.

Der Radium-Äquivalenz Wert läge nach /8/ bei 333.4Bq/kg und damit knapp unter dem Limit von 370Bq/kg, aber mit Werten aus /4/ deutlich darüber.

Der Gamma-Index ergibt einen Wert von 2.25 und der Alpha-Index einen Wert von 1.23 für die Angaben aus /8/. Das heißt der Flossenbürger Granit wäre auch nach diesem Index über dem Limit für eine Exposition von 1mSv pro Jahr. Da das Kalium für alle Berechnungen zusätzliche Beiträge liefern würde, ist das Ergebnis noch eindeutiger.

Gemäß allen diesen Indizes ist der Flossenbürger Granit nach /8/ und /4/ zumindest für den Innenraum nicht geeignet.

Im Strahlenschutz gilt das in der Zwischenzeit international anerkannte Prinzip für die Strahlenexposition: ALARA, "As Low As Reasonably Achievable" (englisch für *so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar*). Da es deutlich strahlungsärmere Granitsorten gibt, wäre es also ein Gebot des Strahlenschutzes, eine andere Granitsorte zu verwenden, wenn man auf die sonstigen Eigenschaften des Granits nicht verzichten will oder kann.

Literatur

/1/ WHO Handbook on Indoor Radon

http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673_eng.pdf

/2/ Umweltradioaktivität – Messung und Überwachung, 2009

<http://search.sachsen.de/web/redirect?url=https%3A%2F%2Fpublikationen.sachsen.de%2Fbdb%2Fartikel%2F11724%2Fdocuments%2F12316&type=clickLink&linkId=suchergebnis1>

/3/ Die terrestrische Strahlung durch natürlich radioaktive Elemente in Gesteine und Böden
Joachim Kemski, Ralf Klingel, 1996

<http://www.kemski-bonn.de/downloads/TerrStr.pdf>

/4/ Methodische Weiterentwicklung des Leitfadens zur radiologischen Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten und Erweiterung des Anwendungsbereichs (Bericht I)
BMU – 2007 - 697

http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/schriftenreihe_rs697_01.pdf

/5/ Gamma Radiation Hazards and Risks Associated with Wastes from Granite Rock Cutting and Polishing Industries in Egypt, S. Fares, A. Ashour, M. El-Ashry and M. Abd El-Rahma, Natural Science Vol.3, No.10, 895-905 (2011)

http://opengeiger.de/repo/EgyptRadHazard1_53_13.pdf

/6/ Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials, European Commission, Radiation protection 112, 1999
http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/publication/112.pdf

/7/ UNSCEAR 2000 Report: "Sources and effects of ionizing radiation, Vol I
United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000
http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html

/8/ α -Al₂O₃:C als Dosimeter zur Bestimmung der Dosisleistung bei der Lumineszenzdatierung, Regina Kalchgruber, Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Naturwissenschaftlich – Mathematischen Gesamtfakultät der Ruprecht-Karls Universität Heidelberg, 2002
<http://www.aber.ac.uk/en/media/departmental/dges/ancienttl/pdf/theses/kalchgruber-dissertation.pdf>

/9/ Natural radioactivity and the resulting radiation doses in some kinds of commercially marble collected from different quarries and factories in Egypt
S. Fares, Ali. A. M. Yassene, A. Ashour, M. K. Abu-Assy, M. Abd El-Rahman
Natural Science 3 (2011) 895-905
http://www.scirp.org/Journal/PaperDownload.aspx?FileName=NS20111000007_11742319.pdf&paperID=8096