

RADIOLOGISCHE KONSEQUENZEN VON RADIOAKTIVITÄT IN BAUSTOFFEN

M. Tschurlovits

Kurzfassung

Es wird eine Übersicht über die radiologischen Konsequenzen radioaktiver Stoffe in Baumaterialien gegeben. Während sich die anderen Beiträge zu dieser Tagung eher mit technischen Problemen und der Meßtechnik beschäftigen, wird in diesem Beitrag über den Begriff der Dosis hinausgegangen und das Risiko in Relation zu anderen Risiken dargestellt. Der heutige Stand der internationalen Standards auf diesem Gebiet wird ebenfalls diskutiert. Weiters wird gezeigt, daß ein jährliches Limit von 1 mSv (100 mrem) gerade noch erfüllbar wäre.

Abstract

A review of radiological consequences of radioactive substances in building materials is given. Where the other contributing papers are dealing with technical problems and measuring techniques, this paper is going beyond the term dose and is considering the risk by radioactive substances in building materials in relation to conventional risks. The present state of international standards is also discussed. If a limit of 1 mSv is adopted, it is shown that this limit is just met at present conditions.

Anschrift des Verfassers: Dr. Manfred Tschurlovits
Atominstitut der Österreichischen Universitäten, 1020 Wien,
Schüttelstraße 115, Austria

1. Einleitung

Der natürlichen Strahlenbelastung wurde in internationalen Empfehlungen (und daher auch in der Strahlenschutzverordnung) bisher wenig Beachtung geschenkt - außer in der Feststellung, daß sie, wie die medizinische Strahlenbelastung, bei der Ermittlung der beruflichen Strahlenbelastung und Anwendung der Limits nicht zu berücksichtigen ist.

Erst weltweite, umfangreiche meßtechnische Untersuchungen, die bewiesen, daß es eine natürliche "Standard"-Strahlenbelastung auf der Erdoberfläche nicht gibt, sondern daß auch die natürliche Strahlenbelastung starken Schwankungen unterworfen ist und den größten Beitrag zur Strahlenbelastung der Bevölkerung liefert, veranlaßten, diesen Begriff in internationale Standards aufzunehmen und zu klären.

Es wurde daher in /IC 77/ zwischen

"normal" natural radiation und

"man made enhanced" natural radiation

unterschieden. Die heutige Tagung befaßt sich als mit einer typischen Anwendung des zweiten Punktes. Meßtechnisch erfaßbar ist aber meist nur der natürliche normale oder der erhöhte Hintergrund - die Differenz zwischen diesen beiden Größen ist also der eigentlich zu betrachtende Gegenstand und unterliegt der heutigen Strahlenschutzphilosophie.

2. Dosis durch radioaktive Stoffe in Baumaterialien - Allgemeines

Die Dosis durch radioaktive Stoffe in Baumaterialien läßt sich schreiben als:

$$D_B = t[0,8(\bar{D}_{ij} + \sum_j c_{ij} \bar{B}k_j) - 0,2(\bar{D}_{aj} + 0,2 \sum_j c_{ja} \bar{B}k_j)]$$

Dosis in
Innenräumen

Dosis im
Freien

- \bar{D}_{ij} äußere Dosisleistung durch Radionuklid j in Innenräumen [Sv.a⁻¹]
- c_{ji} Konzentration des Radionuklids j in Luft [Bq.m⁻³] innen (i) und außen (a)
- \bar{B} Atemrate [0,02 m³min⁻¹ ~ 10⁴ m³.a⁻¹] für "light activity" /IC 75/
- c_{ji}^B ... Dieses Produkt kann auch als AI (annual intake) zusammengefaßt werden, um einen (bedingt anwendbaren) Vergleich mit dem ALI /IC 78/ zu ermöglichen.
- k_j effektiver gewichteter Konversionsfaktor Dosis/Aktivität [Sv.Bq⁻¹] /IC78/, im Fall der Lunge: Lungendosis 0,12 /IC 77/ für Bevölkerung (/Ja 80/)
- \bar{D}_{aj} äußere Dosisleistung im Freien durch Radionuklid j
- t Expositionszeit (zum Beispiel 70 y = mittlere Lebenserwartung)
- 0,8 und 0,2 stellen Nominalwerte für Aufenthalt in Häusern und im Freien dar.

Aus diesen Angaben kann dann ein Risiko abgeschätzt werden, wobei aber noch folgende Punkte zu beachten sind:

- Aufgrund der niedrigen Dosis kommen nur stochastische Schäden in Betracht, das heißt daß sich nur eine Wahrscheinlichkeit angeben läßt, daß ein bestimmter Schaden auftritt. Die Verifizierung setzt also eine große betrachtete Personengruppe voraus, die homogen sein muß.
- Alle Werte sind daher als Mittelwerte über die zu betrachtende Bevölkerungsgruppe (also über die Verteilung der Anzahl der Personen in einem Dosisbereich) anzusehen. Diese Mittelung ist meßtechnisch sehr sorgfältig durchzuführen, da aus einer kleinen Anzahl von Stichproben falsche Schlüsse abgeleitet werden können.
- Der Konversionsfaktor muß der Altersverteilung der Bevölkerung (unter Einbeziehung von Kindern) Rechnung tragen. Auch andere Faktoren lassen es nicht zu, daß /IC 78/, die für beruflich strahlenexponierte Personen gilt, ohne Korrektur angewendet wird.

- Falls jahreszeitliche, tägliche oder sonstige regelmäßige Schwankungen auftreten, sind sie hier nicht von Bedeutung, sondern nur der zeitliche Mittelwert.

3. Risikoüberlegungen

Angaben, die aus einer Konzentration radioaktiver Stoffe eine äußere oder innere Dosis ableiten sind eine wesentliche Voraussetzung und die Basis für die weiteren Überlegungen. Sie bleiben aber relativ unanschaulich, da durch diese Größe keine Relation zu anderen Risiken hergestellt werden kann.

Man ist aber heute imstande, mit Hilfe von Risikofaktoren, die von /IC 77/ angegeben werden (siehe auch /Ts 80/) eine Abschätzung der Größenordnung des Risikos zu geben und Vergleiche mit anderen menschlichen Aktivitäten anzustellen, von denen keine ohne Risiko ist. Weiters ist es möglich, die immer noch relativ unanschaulichen Risikofaktoren ($10^{-4} \text{ rem}^{-1} = 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$) /IC 77/ in ein jährliches Risiko oder in einen zu erwartenden Verlust an Lebenserwartung durch Strahlenexposition umzurechnen.

Es soll nun im weiteren als Beispiel für den Fall der äußeren Dosisleistung eine solche Abschätzung durchgeführt werden.

Es liegen folgende Annahmen zugrunde, wobei alle Werte gerundet sind:

äußere Dosisleistung im Freien: $4,5 \mu\text{rad/h}$ ($\sim 45 \text{ nSv}$)

äußere Dosisleistung in Häusern: $5,3 \mu\text{rad/h}$ (53 nSv/h)

Dosisleistung durch Baumaterialien: $0,8 \mu\text{rad/h}$ (Weltmittelwert)
(8 nSv/h) /UN 77/

$\rightarrow 1 \mu\text{rad/h}$ (10 nSv h^{-1})

Risikofaktor für das Mortalitätsrisiko: 10^{-2} Sv^{-1} (10^{-4} rem^{-1})

Die Anzahl der strahleninduzierten malignen Erkrankungen ist dann pro Jahr für die Weltbevölkerung:

$10^{-6} \cdot 10^4 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^9 = 10^3$ Personen, der Riskofaktor

$0,25 \cdot 10^{-6}$ pro Person und Jahr.

Eine Abschätzung des mittleren Verlustes an Lebenserwartung durch diese Exposition führt zu

$$\Delta L = 10 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 \cdot 365 \cdot 70 \sim 0,2 \text{ d} \sim 5 \text{ h}$$

wobei, 10 mittlerer Lebensverlust durch strahleninduzierte maligne Erkrankung (beruflich strahlenexponierte Personen) [Jahre]
 10^{-4} ... Risikofaktor [rem^{-1}]
 10^{-6} ... [Differenz zwischen normaler und erhöhter Dosis rem/h]
 10^4 Stunden pro Jahr (gerundet, eigentlich $8,76 \cdot 10^3$)
365 Tage pro Jahr
70 mittlere Lebenserwartung [Jahre]
 $4 \cdot 10^9$.. Weltbevölkerung [Personen]

Wenn man dazu einige Vergleichswerte heranzieht /Co 79/, zum Beispiel, daß diese mittlere Lebensverkürzung durch Rauchen von 30 Zigaretten ebenfalls erreicht wird, kann man zu dem Schluß kommen, daß die Konsequenzen von radioaktiven Stoffen in Baumaterialien vernachlässigbar sind - sie sind dies zweifellos in Relation zu anderen Risiken.

Innerhalb des Risikos durch ionisierende Strahlung muß aber beachtet werden, daß etwa 70% der gesamten Strahlenbelastung der Menschheit aus natürlichen Strahlenquellen resultiert. Es ergibt sich daher der Schluß, daß mit einer Verringerung der Dosis durch Baumaterialien eine bedeutende Verringerung der Bevölkerungsdosis verbunden ist.

4. Dosisbegrenzung

4.1 Allgemeines

Radioaktive Stoffe in Baumaterialien sind in der österreichischen Strahlenschutzverordnung nicht existent, da auch die internationalen Empfehlungen der fünfziger Jahre diesen Begriff nicht kannten. Es wird daher das heutige System der ICRP

für die Dosisbegrenzung diskutiert, auch wenn es in Österreich noch nicht gültig ist:

1. Keine Vorgangsweise soll gestattet werden, die nicht einen positiven Nutzen erbringt. Diese Forderung führt zur Kosten-Nutzen-Analyse.
2. Alle Dosen sollen, unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen und sozialen Faktoren, so niedrig gehalten werden, als sie mit angemessenen Mitteln erreichbar sind (as low as reasonably achievable). Diese Forderung führt zur differentiellen Kosten-Nutzen-Analyse.
3. Die Äquivalentdosis darf das von der Kommission vorgeschlagene Limit für die entsprechende Situation nicht überschreiten. Diese Forderung führt zur Erstellung von Dosislimits für Einzelpersonen.

Der erste Punkt wird bei Baumaterialien sicher als erfüllt anzusehen sein, die beiden anderen bedürfen aber einer Klärung.

4.2 Limits

Die Österreichische Strahlenschutzverordnung gibt als Limit für die Bevölkerung 167 mrem/a an. Dieser Wert leitet sich aus dem früher angewendeten Konzept der maximal zulässigen genetischen Dosis von 5 rem in 30 Jahren ab.

Von der Strahlenschutzverordnung nicht übernommen wurde der von der ICRP vorgeschlagene Wert von 5 mSv/a (0,5 rem/a) für Einzelpersonen, der auch in /IC 77/ aufrechterhalten wird, während für die Gesamtbevölkerung kein Limit explizit angegeben wird. Im Fall einer längerdauernden Exposition wird als Limit 1 mSv (0,1 rem/a) vorgeschlagen. Diesem Wert entsprechen im Fall der inneren Exposition die in der folgenden Tabelle angegebenen ALI (Annual Limit of Intake-) Werte /IC 81/.

Expositionsbedingungen	Personengruppe	Dosislimit [mSv]	entsprechendes Limit als ALI
Critical group	Erwachsene	5 mSv	1/10
	Kinder		1/20
Lifetime exposure	Erwachsene	1 mSv	1/50
	Kinder		1/100

Die erst kürzlich festgelegte Umrechnung des Limits in ALI tragen der Altersstruktur der Gesamtbevölkerung Rechnung. Aufgrund der Expositionsbedingung (Gesamtbevölkerung - Exposition auf Lebensdauer - Kinder nicht ausgeschlossen) ergibt sich folgende Bedingung:

$$\frac{\bar{D}_a}{\bar{D}_{aLIM}} + \sum_j \frac{\bar{AI}_j}{100 \cdot ALI_j} \leq 1$$

\bar{AI}_j annual intake, jährliche Aktivitätsaufnahme =
 $\bar{C}_j \cdot B$ des Radionuklids j

ALI_j ... annual limit of intake für beruflich strahlenexponierte Personen

\bar{D}_a äußere Dosisleistung pro Jahr

\bar{D}_{aLIM} .. Limit von 1 mSv/a

Wenn man die Tochterprodukte des Rn-220 vernachlässigt, vereinfacht sich die Bedingung für das Limit zu:

$$\bar{D} + 8 \bar{C} \leq 1$$

\bar{D} ... mittlere äußere jährliche Dosis im Innenraum [mSv]

\bar{C} ... mittlere Konzentration von Radon-222 und Tochterprodukte [pCi/l]

Der Faktor 8 ergibt sich durch Umrechnung des jährlichen Limits (ALI) von $0,02 \text{ J} \cdot \frac{1}{100}$ für Tochterprodukte des Rn-222. Wird die Radonkonzentration in WL angegeben, ändert sich die Gleichung zu

$$\bar{D} + 800 \bar{C}_{WL} \leq 1$$

4.3 Aktuelle Strahlenbelastung

Es bleibt nun abzuschätzen, wie die bisher erfaßte Dosis durch Aktivität in Baumaterialien in Relation zu diesem Limit liegt.

a) Äußere Strahlenbelastung

Nach /TI 81/ beträgt in Österreich die mittlere Dosisleistung in Wohnräumen $3,2 \mu\text{R/h}$. Daraus ergibt sich bei $f = 0,8$ eine jährliche Dosis von etwa 22 mR ($\sim 0,22 \text{ mSv}$) durch äußere Strahlung in Innenräumen durch Baumaterialien.

b) Innere Strahlenbelastung

/UN 77/ gibt als vorläufiger Mittelwert für die Lungendosis 30 mrad/a an ($3 - 300$). Die entsprechende, gewichtete, effektive Dosis ist dann $D = D_0 \cdot Q \cdot w_T = 30 \cdot 20 \cdot 0,12 \sim 70 \text{ mrem}$ ($0,7 \text{ mSv}$), wobei $Q = 20$ (Qualitätsfaktor für α -Strahlung), w_T ... Wichtungsfaktor für Lunge /IC 77/. /Ho 81/ gibt für Salzburg höhere Werte an.

Aus diesen Werten ist abzuleiten, daß die Dosis durch Baumaterialien in der Größenordnung von 100 mrem (1 mSv) über der natürlichen Dosis im Freien liegt. Daraus ergibt sich, daß bei Ansatz eines Limits von 1 mSv dieses gerade noch erfüllbar wäre.

4.4 Möglichkeiten zur Verringerung der Dosis

Ohne auf Details einzugehen, ergeben sich grundsätzlich folgende Alternativen:

a) vorhandene Bausubstanz

- a1) äußere Dosisleistung: nicht zu verringern
- a2) innere Dosisleistung: Lüftung, siehe /TS 80/

b) Neubauten

Beide Dosiskomponenten können durch vorherige Bestimmung der Aktivitätskonzentration abgeschätzt werden. Für die Abschätzung der Kollektivdosis und eines gesicherten Mittelwertes sind aber noch zusätzliche Daten wie Produktionsraten usw. erforderlich.

In allen Fällen wird aber eine Kosten-Nutzen-Analyse quantitative Aufschlüsse über mögliche und sinnvolle Alternativen geben.

5. Schlußfolgerungen

Die Strahlenschutzverordnung gibt keine Anhaltspunkte darüber, in welchem Ausmaß radioaktive Stoffe in Baumaterialien zulässig sind.

Eine Lösung dieses Problems kann nur durch die Anwendung der Empfehlungen der ICRP (ICRP 26) /IC 77/ erwartet werden. Es ist daher auch von diesem Standpunkt die ehestmögliche Aufnahme dieser Empfehlungen in die österreichische Strahlenschutzgesetzgebung zu fordern.

References

- /CO 79/ B.L.COHEN, I SING LEE: Health Physics 36 (1979) 707
- /HO 81/ W.HOFMANN: diese Tagung
- /IC 75/ International Commission on Radiological Protection (ICRP), Publication 23, Reference Man, 1975
- /IC 77/ International Commission on Radiological Protection (ICRP), Publication 26 (1977)
- /IC 78/ International Commission on Radiological Protection (ICRP), Publication 30, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, 1978 ff
- /IC 81/ International Commission on Radiological Protection (ICRP), Tokyo 1981 meeting
- /JA 80/ W.JACOBI, K.EISFELD: GSF-Report S-626 (1980)
- /TI 81/ E.TSCHIRF: Natürliche äußere Strahlung in Innenräumen, Forschungsberichte des BMGU 5/80
- /TU 80/ M.TSCHURLOVITS: Tagungsbericht der 6. und 7.Tagung der ÖSRAD (1981), p. 129