

II-9249 der Beilagen zu den Stenographischen Protokollen
des Nationalrates XVIII. Gesetzgebungsperiode



BUNDESMINISTER

für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz
DR. MICHAEL AUSSERWINKLER

A-1031 Wien, Radetzkystraße 2
Telefon: 0222/711 72
Teletex: 322 15 64 BMGSK
DVR: 0649856

GZ 114.140/12-I/D/14/a/93

Herrn
Präsidenten des Nationalrates
Dr. Heinz FISCHER

Parlament
1017 Wien

4146/AB

1993-03-26

zu 4221/J

Die Abgeordneten zum Nationalrat Dr. Keppelmüller und Genossen haben am 28. Jänner 1993 unter der Nr. 4221/J an mich eine schriftliche parlamentarische Anfrage betreffend Luftqualität in Innenräumen gerichtet, die folgenden Wortlaut hat:

- "1. Gibt es in Österreich Studien über die Belastung der Innenräume, insbesondere von Wohnungen und Büros?
Aus Sicht der SPÖ-Fraktion ist jedenfalls die Studie "Luftverunreinigungen in Innenräumen" des Rates für Sachverständigen für Umweltfragen der BRD aus dem Jahr 1987 voll auf Österreich übertragbar.
2. Sind Sie bereit, für Österreich eine Konzeption zur Verbesserung von Luftverunreinigungen in Innenräumen auszuarbeiten?"

Diese Anfrage beantworte ich wie folgt:

Zu Frage 1:

Eine umfassende österreichische Studie über die Luftbelastung in Innenräumen, die vergleichbar wäre mit der Studie aus der BRD, ist meinem Ressort nicht bekannt.

Mein Ressort führt derzeit eine umfangreiche und großangelegte Studie zur Radonbelastung des Umfeldes des Menschen österreichweit

-2-

durch; deren erste Ergebnisse sind bereits im Heft 4/92 der Reihe "Beiträge; Lebensmittelangelegenheiten, Veterinärverwaltung, Strahlenschutz; Forschungsberichte des Bundesministeriums für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz" unter dem Titel "Radon in Österreich; Bestandsaufnahme bisheriger Untersuchungen und Konzepte für ein weiteres Vorgehen hinsichtlich eines nationalen Radonprogrammes" veröffentlicht worden. Ein Exemplar dieser Publikation liegt bei. Die Radonerhebung wird mit entsprechender Priorität weiterverfolgt und geologiebezogen durchgeführt.

Auf Grund dieser ersten wissenschaftlichen Ergebnisse hat die Strahlenschutzkommission in der 58. Plenarsitzung vom 29. Juni 1992 die Empfehlung betreffend "Richtwerte für die Radonkonzentration in Innenräumen" beschlossen, die bereits allen betroffenen Stellen, insbesondere den für das Bauwesen zuständigen Entscheidungsträgern zugesendet wurde. Ein Exemplar dieser Empfehlung liegt bei.

Die Frage der Radonbelastung wird auch in diversen Ö-NORMEN behandelt. Nach deren Beschlußfassung wird von meinem Ressort darauf geachtet werden, daß einschlägige Vorschriften wie beispielsweise Bauordnungen, unter dem Gesichtspunkt der Verringerung der Belastung durch Radon entsprechend geändert werden. Für den Gehalt der Baustoffe an natürlich vorkommenden Radionukliden sind die entsprechenden Normen festgelegt.

Das in der Anfrage zitierte Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen der BRD, betreffend "Luftverunreinigungen in Innenräumen" gibt einen generellen Überblick über Arten von Noxen bzw. Schadstoffquellen im Innenraumbereich (unter anderem die in der Präambel der Anfrage erwähnten Schadstoffe, daneben auch andere Verursacher von Innenraumluftverunreinigungen, für die Expositionsprofile erstellt werden sollten, wie Stickstoffoxide, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, biozide Substanzen, allergene Stoffe biogenen oder anthropogenen Ursprungs, organische Lösungsmittel) und beinhaltet im weiteren Zielvorstellungen und Absichtserklärungen im Hinblick auf eine Emissionsminimierung. Der Sachverständigenrat kommt allerdings zur

-3-

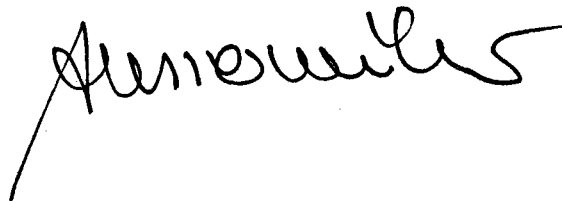
Erkenntnis, daß Messungen des Ausmaßes der Exposition der Allgemeinbevölkerung oder individueller Gruppen gegenüber Innenraumluftverunreinigungen gewöhnlich nicht existieren bzw. auf Einzelfälle beschränkt sind und daher nur ein Langzeitziel darstellen.

Ich teile die Auffassung, daß Art und Ausmaß der Innenraumluftverunreinigungen in Österreich gegenüber denjenigen, die in Deutschland erhoben worden sind, als sehr ähnlich angenommen werden können. Auch die Situation betreffend etwaige Messungen der Belastung von Innenräumen ist mit der in Deutschland vergleichbar.

Zu Frage 2:

Die Festsetzung von Richtwerten hinsichtlich der Innenraumreinhaltung in Österreich fällt in erster Linie in den Kompetenzbereich jener Gebietskörperschaft bzw. innerhalb des Bundes jenes Ressorts, das für die Regelung der jeweils angesprochenen Rechtsmaterie zuständig ist. Eine wesentliche Rolle kommt dabei den Richtwerten zu, die im Rahmen des Arbeitnehmerschutzes bestehen.

Ungeachtet dieser Kompetenzlage beabsichtige ich, das Österreichische Bundesinstitut für Gesundheitswesen mit der Ausarbeitung einer Konzeption zur Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen zu beauftragen.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'A. M. ...', is written across the lower middle of the page.

BEILAGEN

STRAHLENSCHUTZKOMMISSION
beim Bundesministerium für
Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz

Wien, im Juli 1992

Empfehlung der Strahlenschutzkommission betreffend
"Richtwerte für die Radonkonzentration in Innenräumen",
beschlossen in der 58. Sitzung am 29. Juni 1992

1.

Radon, ein radioaktives Edelgas aus den natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium ist praktisch überall in der Atemluft, speziell in geschlossenen Räumen in mehr oder weniger hohen Konzentrationen vorhanden.

Die Radongaskonzentration ist abhängig:

- von den vorhandenen Mengen von Uran-Radium und Thorium in den die Räume umgebenden Materialien, wie z.B. Gesteinsmaterial, Untergrundmaterial unter den Fundamenten von Häusern sowie dem Baumaterial,
- von der Emanierfähigkeit des Radons aus diesen Materialien und deren Durchlässigkeit für Radon,
- von den Lüftungsverhältnissen in den betroffenen Räumen,
- von Druck- und Temperaturunterschieden zwischen Gebäudeinnerem und Außenbereich,
- von der Bauweise und der Lage der Räume,

- 2 -

- vom Radongehalt des im Gebäude verwendeten Wassers und Erdgases,

sowie von anderen Parametern.

Für die Strahlenbelastung des Menschen aus natürlichen Quellen ist hauptsächlich die Inhalation der ebenfalls radioaktiven Zerfallsprodukte des Radon 222 (Radon) aus der Uran-Radium-Reihe verantwortlich. Radon 220 (Thoron) aus der Thoriumreihe und dessen Zerfallsprodukte tragen in der Regel ca. 10-20 % zur Belastung bei. Das alpha-strahlende Edelgas Radon (Rn 222) zerfällt mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen in Folgeprodukte, deren stabiles Endprodukt Blei 206 ist. Für die Strahlenbelastung des Menschen sind vor allem die kurzlebigen Radonzerfallsprodukte Po 218, Pb 214, Bi 214 und Po 214 verantwortlich.

Diese kurzlebigen Radonfolgeprodukte lagern sich an Flächen im Raum (Mauerwerk, Tische, Kästen etc.) und an in der Luft befindliche Aerosole an, sodaß zwischen Radongas und den Folgeprodukten in der Luft praktisch nie Gleichgewicht herrscht. Bei Gleichgewicht (Gleichgewichtsfaktor 1.0) hätte jedes der kurzlebigen Folgeprodukte die gleiche Aktivität wie Radon. Unter realen Bedingungen liegen die Gleichgewichtsfaktoren in der Regel im Bereich 0.3 bis 0.7.

Für Strahlenschutz Zwecke wird für den Gleichgewichtsfaktor der Mittelwert 0.5 herangezogen und den Radon-Meßwerten sowie den Radon-Richtwerten zugrundegelegt.

Die Radonbelastung der Bevölkerung ist kein neues Problem. Seit Menschen in umschlossenen Räumen wohnen, sind sie mehr oder weniger dieser radioaktiven Belastung ausgesetzt. Insbesondere hohe Radonbelastungen in Innenräumen sind auf Bodengas, das durch Kellerböden in Gebäude eindringt, zurückzuführen. In der Regel ist der durch Baumaterialien, Trinkwasser oder Erdgas bedingte Beitrag von Radon gering.

- 3 -

2.

Sowohl Radon, als auch die an Aerosole angelagerten radioaktiven Folgeprodukte des Radons in der Luft gelangen durch Einatmen in den Atemtrakt. Radon als Edelgas wird zum größten Teil wieder ausgeatmet. Ein Teil geht ins Blut über, wodurch auch alle übrigen Organe bestrahlt werden. Die Folgeprodukte belasten hauptsächlich den Bronchialbereich des Menschen. Die in der Lunge durch die emittierten Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlen der Radonfolgeprodukte verursachte Dosis kann - besonders im Zusammenwirken mit anderen Schädigungsfaktoren, wie Rauchen oder anderen Luftschadstoffen - Lungenkrebs auslösen. Epidemiologische Untersuchungen bei Bergarbeitern in Uran- und anderen Bergbaubetrieben mit hohen Radonkonzentrationen haben eine Korrelation zwischen der Radonexposition und dem Auftreten von Bronchialkarzinomen gezeigt. Bei den in Wohnräumen normalerweise um zwei bis drei Größenordnungen niedrigeren Konzentrationsbereichen sind derartige Zusammenhänge nicht nachzuweisen, insbesondere da es für die in Frage kommenden Schädigungen auch andere Ursachen gibt. Ein Zusammenhang kann jedoch nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden.

Entsprechend den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) wird für Strahlenschutz Zwecke von einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ausgegangen. Der in Bergwerken gefundene Zusammenhang wird daher in den niedrigen Dosisbereich, d.h. auch für den Wohn- und Aufenthaltsbereich, extrapoliert. Die Gültigkeit dieser Korrelation im niedrigen Dosisbereich ist zwar nicht bewiesen, wird aber aus Sicherheitsgründen im Strahlenschutz angenommen.

- 4 -

3.

Um Maßnahmen oder Vorkehrungen für die radiologische Sicherheit im Bezug auf die Strahlenbelastung durch Radon in Häusern setzen zu können, ist es notwendig, bestimmte Richtwerte der Radongaskonzentration festzulegen.

Aus diesem Grunde werden von der Kommission folgende Richtwerte definiert:

- a) Ein Eingreifrichtwert bezüglich der Radongaskonzentration in bestehenden Gebäuden, bei dessen Überschreitung Sanierungsmaßnahmen dringend empfohlen werden.
- b) Ein Planungsrichtwert bezüglich der Radongaskonzentration für zu errichtende Gebäude, dessen Berücksichtigung durch geeignete Vorkehrungen (z.B. aktive und passive Entlüftungen, Bodenabdichtungen, Beachtung der ÖNORM S 5200 etc.) im Zuge der Planung beim Neubau von Häusern empfohlen wird.

Da aufwendigere Baumaßnahmen zur Reduktion der Radonkonzentration nur in Gebieten erhöhten Radonrisikos angebracht erscheinen, ist die Erstellung einer Radonrisikopotentialkarte für Österreich erforderlich. Dazu sollten durch geeignete Maßnahmen (Radonbestimmungen im Bodengas und in Innenräumen, Aktivitätsbestimmungen von Untergrund- und Baumaterialien, Beobachtung der Radongaskonzentrationen in Nutz- und Brauchwässern, Beurteilung der Gasdurchlässigkeit von Bodenschichten, geochemische Erhebungen etc.) Problemgebiete erfaßt werden. In diesem Zusammenhang wird empfohlen, auch Abschätzungen der Kollektivdosis und des damit verbundenen Risikos durchzuführen.

Bei erhöhten Radongaskonzentrationen in bestehenden Gebäuden, die unterhalb des Eingreifrichtwertes liegen, erscheinen lediglich einfache Maßnahmen zur Radongasreduktion angemessen.

- 5 -

4.

Die Kommission empfiehlt in Übereinstimmung mit international festgelegten Werten (Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP 60 (1990), Abschnitt 6.2.1., §§ 217 und 218; ICRP 39 (1983), §§ 17 und 28; Empfehlung (90/134/Euratom) der Kommission der Europäischen Gemeinschaften vom 21.2.1990, Amtsblatt der EG Nr. L 80/26 vom 27.3.1990) folgende Richtwerte für die zeitlich gemittelte Radongaskonzentration in Innenräumen (bezogen auf den Gleichgewichtsfaktor 0.5):

Eingreifrichtwert: 400 Bq/m³ Radon 222

Planungsrichtwert: 200 Bq/m³ Radon 222

Diese Richtwerte werden im Hinblick auf die weiterführende internationale Diskussion über die Radonproblematik, insbesondere hinsichtlich der Radonkonzentration-Dosis-Beziehungen und der Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge, fortlaufend zu überprüfen sein.

5.

Aufgrund bisheriger Messungen ist bekannt, daß der Eingreifrichtwert in einigen Gebieten Österreichs überschritten wird, in bestimmten Ortsbereichen sogar in beträchtlichem Ausmaß.

Die Kommission empfiehlt, zur Beurteilung von Radongaskonzentrationen in Innenräumen erprobte langzeitintegrierende Meßverfahren einzusetzen. Wegen der jahreszeitlichen Schwankungen der Radongaskonzentrationen in Wohn- und Aufenthaltsräumen sollen für Dosisabschätzungen, wenn möglich, mindestens halbjährliche, besser noch ganzjährige Messungen her-

- 6 -

angezogen werden, wobei Unterschiede des Sommer- und des Winterhalbjahres nach Möglichkeit erfaßt werden sollen.

6.

Wenn Sanierungsmaßnahmen notwendig werden, sollen entsprechende Planungen in Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Experten auf diesem Gebiet erfolgen. Es soll vorher eine Erfolgsabschätzung (Höhe des erwarteten Reduktionseffektes), sowie eine Abschätzung der Kosten und der Zweckmäßigkeit der Sanierung durchgeführt werden.

Die Kommission empfiehlt daher die Erarbeitung von Richtlinien für bauphysikalische Maßnahmen, welche in Gebieten erhöhten Radonrisikos bei Neubauten und bei Sanierungsarbeiten eingesetzt werden können.

7.

Schließlich empfiehlt die Strahlenschutzkommission, ein einfach gehaltenes Informationsblatt über die Ursachen höherer Radonkonzentrationen, über Meßmöglichkeiten und über einfache Möglichkeiten zur Reduzierung des Radonrisikos in Gebäuden zu erstellen, das an die Bevölkerung in Gebieten erhöhten Radonrisikos verteilt werden kann.

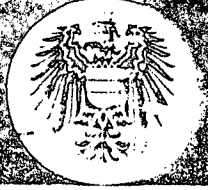
- 7 -

ANHANG

Expertengruppen internationaler Kommissionen (ICRP 39; ICRP 50; UN-Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report 1988) haben berichtet, daß bei definierten mittleren Wohn- und Aufenthaltsverhältnissen (Gleichgewichtsfaktor 0.5; 80% Gesamtaufenthaltsdauer in Innenräumen) eine mittlere Radongaskonzentration von 1 Bq/m³ Radon 222 einer Effektivdosis von 0.03 bis 0.05 mSv pro Jahr entspricht.

Mit der Festsetzung eines über dem Planungsrichtwert liegenden Eingreifrichtwertes sollen Probleme und Aufwendungen bei der Durchführung von Maßnahmen zur Sanierung bestehender Gebäude sowie Planungsunsicherheiten bei der Errichtung neuer Gebäude Berücksichtigung finden.

Die in 4. angegebenen Richtwerte entsprechen (nach ICRP 39) Gleichgewichtsäquivalentkonzentrationen von 200 Bq/m³ für den Eingreifrichtwert und von 100 Bq/m³ für den Planungsrichtwert.



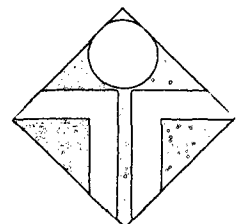
Radon in Österreich:
Bestandsaufnahme bisheriger
Untersuchungen und Konzepte für
ein weiteres Vorgehen hinsichtlich
eines nationalen Radonprogrammes

BEITRÄGE

LEBENSMITTELANGELEGENHEITEN
VETERINÄRVERWALTUNG
STRAHLENSCHUTZ

4/92

FORSCHUNGSBERICHTE DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR
GESUNDHEIT, SPORT UND
KONSUMENTENSCHUTZ, SEKTION III



B E I T R Ä G E

LEBENSMITTELANGELEGENHEITEN

VETERINÄRVERWALTUNG

STRAHLENSCHUTZ

FORSCHUNGSBERICHT

herausgegeben vom

Bundesministerium für

Gesundheit, Sport und

Konsumentenschutz

Sektion III

Eigentümer, Herausgeber und Verleger: REPUBLIK ÖSTERREICH
Bundesministerium für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz, Sekt. III

Für den Inhalt verantwortlich: Sektionschef Mag. Dr. Ernst BOBEK

Alle 1030 Wien, Radetzkystraße 2

**Abschlußbericht über das im Auftrag des
Bundesministeriums für
Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz durchgeführte
Forschungsprojekt:**

"Radon in Österreich: Bestandsaufnahme bisheriger Untersuchungen und Konzepte für ein weiteres Vorgehen hinsichtlich eines nationalen Radonprogrammes"

Z1.: 753.035/1-III/9/91

Wien, 15. November 1991

ENDBERICHT

über

Radon in Österreich: Bestandsaufnahme bisheriger Untersuchungen für ein weiteres Vorgehen hinsichtlich eines nationalen Radonprojektes

H. Friedmann (Koordinator)

Institut für Radiumforschung und Kernphysik
der Universität Wien

unter Mitarbeit von:

S. Sperker

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung

M. Tschurlovits

Atominstitut der Österreichischen Universitäten

V. Karg, F. Schönhofer

BA für Lebensmitteluntersuchung und -forschung

F. J. Maringer

Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal
Geotechnisches Institut

O. Schermann

Geologische Bundesanstalt

F. Steinhäusler, E. Pohl, J. Pohl-Rüling, W. Hofmann, H.
Lettner

Institut für allgemeine Biologie, Biochemie und Biophysik
der Universität Salzburg

L. Breitenhuber, P. Kindl

Institut für Kernphysik
der Technischen Universität Graz

W. Seiberl, G. Oberlercher

Institut für Meteorologie und Geophysik
der Universität Wien
und Geologische Bundesanstalt

F. Steger, H. Stadtmann

Österr. Forschungszentrum Seibersdorf
Hauptabteilung Strahlenschutz

P. Brunner

Versuchsstelle für Strahlenschutz und Kerntechnik
der Universität Innsbruck

1. Aufgabenstellung	1
2. Einleitung und Vorbemerkungen	2
3. Erhebung aller bisher in Österreich vorhandener Daten	6
3.1. Radon in der Atemluft	6
3.1.1. Meßmethoden	7
3.1.1.1. Langzeit-integrierende Methoden	7
3.1.1.2. Kurzzeit-integrierende Methoden:	8
3.1.1.3 Nicht-integrierende Methoden (grab sampling):	10
3.1.2. Messungen in Österreich	12
3.1.2.1. Veröffentlichte Teilstudien	12
3.1.2.2. Einzelmeßergebnisse	13
3.2. Radon und Radium im Wasser	16
3.3. Weitere Parameter, die zur Abschätzung der Ra- donbelastung der Bevölkerung herangezogen wer- den können	19
3.3.1. Gammadosisleistung	20
3.3.2. Aeroradiometrie	21
3.3.3. Geochemie (Geochemischer Atlas)	28
4. Zusammenstellung von analogen Programmen im Ausland	29
4.1. Radon-Programme der an Österreich angrenzenden Staaten	29
4.2. Radon-Programme im übrigen Europa	34
4.3. Radon-Programme außerhalb Europas	42
4.4. Internationale Programme	43
4.5. Vergleich internationaler Radon Richtwerte	44
5. Datenbanken	46
5.1. Hard- und Software	47
5.2. Aufbau und Merkmale der Datenbanken	47
5.2.1. Aerospektrometrie	48
5.2.2. Geochemischer Atlas	49
5.2.3. Radonmessungen in Wasser ("RNWASSER")	50
5.2.4. Radonmessungen in Luft ("RNLUFT"):	53
5.3. Auswertung der Daten und graphische Umsetzung	53
6. Zusammenfassung und Folgerungen	55
7. Empfehlungen	58
7.1. Radon-Risikokarte für Österreich	58
7.2. Epidemiologische Studien	59
7.3. Maßnahmen zur Minderung des Radonrisikos	60
Literaturverzeichnis	61

1. Aufgabenstellung

Im Zuge der Fragestellung nach der Dosisbelastung der Gesamtbevölkerung durch radioaktive Strahlung hat sich gezeigt, daß lange Zeit die Belastung durch Radon und Folgeprodukte unterschätzt wurde. Bei einer weltweiten mittleren Gesamtdosisbelastung von 2,8 mSv pro Jahr [UNSCEAR, 1988] nimmt man an, daß die Radonbelastung im Mittel für etwa 50% der Gesamtdosis verantwortlich ist (siehe Abb.1). Dieser Wert variiert natürlich stark von Gebiet zu Gebiet. Die durch die Radonkonzentration hervorgerufene Dosisbelastung ist vor allem auf die α -Strahlung der Radonfolgeprodukte zurückzuführen, die, an Aerosolen haftend, in den oberen Atemwegen und in der Lunge deponiert werden und auf Grund der dichten Ionisation der α -Teilchen die obersten Zellschichten nachhaltig schädigen. Man weiß aus systematischen Untersuchungen von Bergarbeitern, die in Gruben mit erhöhter Radonbelastung gearbeitet haben, sowie von den Atombomben-Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki und von Morbus Bechterew Patienten, die mit Röntgenstrahlen therapeutisch behandelt wurden, daß im Bronchialepithel durch ionisierende Strahlung Schädigungen verursacht werden, die oft viele Jahre später zu Krebserkrankungen führen [z.B. F. Steinhäusler, 1988; W. Jacobi, 1986]. Schon im 16. Jahrhundert sind Lungenkrankheiten bei Bergarbeitern in Joachimsthal (Jachymov) festgestellt worden, die 1879 als Lungenkrebs erkannt wurden.

Gesamtdosisbelastung

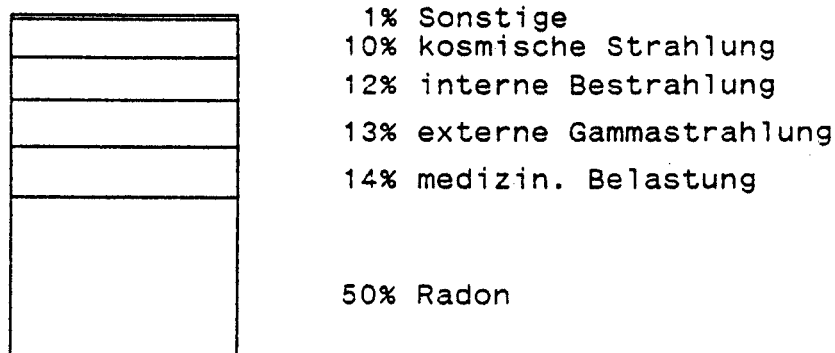


Abb.1: mittlere Gesamtdosisbelastung [UNSCEAR, 1988]

Die seit etwa 20 bis 30 Jahren durchgeführten systematischen Untersuchungen an Uranbergarbeitern [E. Kunz, 1979; A.S. Whittemore, 1983; Proc. 1985] haben deutlich erhöhte Lungenkrebshäufigkeiten gezeigt, die auf das Arbeiten in hohen Radonkonzentrationen (kumulierte Dosen bis mehr als 500 WLM) zurückgeführt werden. Tierexperimente haben ähnliche Resultate gebracht [D. Chmelevsky, 1982]. Obwohl alle diese Daten nicht unmittelbar zur Bestimmung des Lungenkrebsrisikos der Gesamtbevölkerung verwendet werden können, muß unter der Annahme einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung geschlossen werden, daß die Belastung durch Radon, wie sie für die Gesamtbevölkerung typisch ist, zu einer zusätzlichen Lungenkrebssterblichkeit führt.

Die Zielsetzung dieses Projektes besteht in der Zusammenstellung aller in Österreich existierenden Daten, die als Grundlage für eine quantitative Bestimmung der Verteilung der Radonbelastung der österreichischen Bevölkerung dienen können. Weiters sollen Vorschläge erarbeitet werden, welche Maßnahmen bzw. welche zusätzlichen Untersuchungen vorzunehmen sind, um ein möglichst vollständiges Bild der potentiellen Radongefährdung in Österreich erhalten zu können. Dies soll als Grundlage dienen, um später Maßnahmen setzen zu können, vorhandene Risiken zu minimieren, wobei auf entsprechende Erfahrungen im Ausland zurückgegriffen werden soll.

2. Einleitung und Vorbemerkungen

Um zu einer bezüglich Kosten und Nutzen optimierten Vorgangsweise betreffend eine langfristige Verminderung der Radondosisbelastung der österreichischen Bevölkerung und damit zu einer Reduktion des durch radioaktive Strahlung verursachten Risikos von Krebserkrankungen der Atemwege zu gelangen, sind verschiedene Randbedingungen zu beachten. So ist vor allem der genaue Verlauf der Dosis-Wirkungskurve von entscheidender Bedeutung. Die konservative Annahme eines linearen Zusammenhanges ohne Grenzwert, unter dem keine schädliche Wirkung festzustellen ist (linear, no-

-threshold theory), liefert sicher eine brauchbare Basis zur Abschätzung des Risikos durch radioaktive Strahlung.

Es gibt zwei einfache Modelle, die die Zunahme von Lungenkrebs als Funktion der Radonkonzentration beschreiben, das "Absolute Risikomodell" (ARM) und das "Relative Risikomodell" (RRM). Mathematisch kann das folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$m = a \cdot r + f(x) \quad (\text{ARM}) \quad (1)$$

$$m = (1 + \beta \cdot r) \cdot g(x) \quad (\text{RRM}) \quad (2)$$

m ist die Lungenkrebssterblichkeitsrate, r die mittlere Radonbelastung im betrachteten Gebiet, $f(x)$ und $g(x)$ sind Funktionen von anderen Faktoren, die zu Lungenkrebs führen, und a, β sind Konstanten. Kann man durch gezielte Untersuchungen anderer Faktoren, die Lungenkrebs auslösen, genügende Kenntnis von $f(x)$ bzw. $g(x)$ erhalten, können (1) und (2) umgeschrieben werden:

$$m(r) = m_0 + a \cdot r \quad (\text{ARM}) \quad (3)$$

$$m(r) = m_0 \cdot (1 + \beta \cdot r) \quad (\text{RRM}) \quad (4)$$

mit m_0 der Lungenkrebssterblichkeit ohne zusätzlicher Radonbelastung für die jeweils statistisch untersuchte Gruppe.

Für die Größen a und β existieren verschiedene Abschätzungen, die aus der Untersuchung von einzelnen Bevölkerungsgruppen bzw. aus Modellrechnungen gewonnen wurden.

Die Werte von a variieren zwischen $1.0 \cdot 10^{-5} (\text{pCi/l})^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}$ ($37 \cdot 10^{-5} (\text{Bq/m}^3)^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}$) [W. Jacobi, 1984] und $12 \cdot 10^{-5} (\text{pCi/l})^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}$ ($444 \cdot 10^{-5} (\text{Bq/m}^3)^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}$) [BEIR, 1980]. Als brauchbarer Mittelwert für verschiedene Abschätzungen kann $3.9 \cdot 10^{-5} (\text{pCi/l})^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}$ ($144 \cdot 10^{-5} (\text{Bq/m}^3)^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}$) verwendet werden, ein Wert, der sich nach dem NCRP Modell [NCRP, 1984] ergibt.

Für β gibt der BEIR-IV Report [BEIR, 1988] einen Wert von $0.20 (\text{pCi/l})^{-1}$ ($7.4 \cdot 10^{-5} (\text{Bq/m}^3)^{-1}$), oder in einem anderen Modell

einen Wert von $0.11 \text{ (pCi/l)}^{-1}$ ($4.1 \cdot 10^{-5} \text{ (Bq/m}^3\text{)}^{-1}$) an. Für Abschätzungen kann mit einem mittleren Wert von $0.15 \text{ (pCi/l)}^{-1}$ ($5.6 \cdot 10^{-5} \text{ (Bq/m}^3\text{)}^{-1}$) gerechnet werden. Das würde bedeuten, daß Personen, die in einer Atmosphäre mit einer Radonkonzentration von 1 pCi/l leben, ein um 15% höheres Lungenkrebsrisiko haben, als Personen, die in einer Atmosphäre mit vernachlässigbarer Radonkonzentration leben.

Es sei darauf hingewiesen, daß β für Männer und Frauen verschieden ist, und die angegebenen Werte ein Mittel bedeuten. Die Ursache liegt u.a. darin, daß Männer derzeit noch höhere Lungenkrebssterblichkeitsraten haben als Frauen (Rauchgewohnheiten).

Geht man von einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellwert aus, so wird eine Reduktion der gesamtösterreichischen Häufigkeit von Krebserkrankungen der Atemwege, hervorgerufen durch die Inhalation von Radon, proportional der Verminderung der Gesamtdosis der Bevölkerung (Person-Sievert) erfolgen, unabhängig ob eine Dosisreduktion bei einer hochbelasteten oder einer gering belasteten Gruppe erzielt wurde. Ein möglicher Ansatz für gesundheitspolitische Maßnahmen läge im Versuch einer gleichmäßigen Reduktion der Dosisbelastung aller Bevölkerungsgruppen.

Die Annahme einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung dürfte jedoch im Bereich jener Dosis, wie sie im Mittel die Gesamtbevölkerung belastet, nicht zutreffen. Vielmehr wird das Risiko im Bereich geringer Dosen durch eine lineare Zunahme mit der Dosis bei den meisten strahleninduzierten Krebserkrankungen überschätzt. Außerdem dürften verschiedene Krebsarten verschiedenen Dosis-Wirkungskurven folgen [UNSCEAR, 1986]. Vom Gesichtspunkt einer Kosten-Nutzen Rechnung ist es daher sinnvoller, selektiv eine Verminderung der Radonexposition hochbelasteter Gruppen anzustreben. Man kann außerdem erwarten, daß eine relativ hohe Dosisreduktion bei einer kleinen Bevölkerungsgruppe leichter und billiger zu erzielen ist als eine bezüglich der Bevölkerungsdosis äquivalente Reduktion bei einer großen, weniger belasteten Gruppe. Diese Vorgangsweise ist auch vom ethischen Standpunkt vorzu-

ziehen, da durch ein solches Vorgehen das unterschiedliche Krebsrisiko verschieden belasteter Gruppen in Richtung gleichen Risikos verschoben wird.

Überlegungen dieser Art haben auch die Behörden verschiedener anderer Länder dazu veranlaßt, einerseits eine Bestandsaufnahme der Radonbelastungen in diesen Ländern durchzuführen, andererseits jedoch Grenzwerte bzw. Interventionswerte bezüglich der Radonkonzentration in Räumen festzulegen, um so eine Verringerung der Dosis für die Bevölkerungsgruppen zu erreichen.

Das vorliegende Projekt ist als Grundlage für ein Vorgehen zur Reduktion hoher Radonbelastungen anzusehen. Unter Berücksichtigung der im Ausland gemachten Erfahrungen wird daher primär versucht eine Vorgangsweise zu erarbeiten, die es erlaubt, die regionale Verteilung des Risikos durch Radon in Österreich quantitativ zu erfassen.

Die zur Erfüllung der gestellten Aufgabe benötigten Zahlenwerte, Daten etc. sind einerseits verschiedenen Veröffentlichungen entnommen, andererseits von den am Projekt mitarbeitenden Personen und Institutionen sowie anderen Personen freundlicherweise zur Verfügung gestellt worden. Dies geschah im Hinblick auf eine möglichst vollständige Erfassung aller in Österreich erhobenen Daten, um mögliche Gebiete erhöhter Radonbelastung aufzufinden und entsprechende Maßnahmen ergreifen zu können, um die Dosisbelastung der dort lebenden Bevölkerung gegebenenfalls zu reduzieren. Die Überlassung der Daten bedeutet jedoch nicht eine Überlassung des Urheberrechts dieser Daten an den Auftraggeber. Um einen möglichen Mißbrauch der in diesem Bericht angeführten Daten hintanzuhalten, wurde versucht die Daten, soweit sie keinen Veröffentlichungen zu entnehmen sind, zu anonymisieren. Nichtsdestoweniger sind alle in diesem Bericht angeführten Daten als vertraulich zu betrachten bzw. sind im Falle einer Veröffentlichung vom Auftraggeber alle eventuell bestehenden Rechtsfragen betreffend Datenschutz etc. (Rechtmäßigkeit) zu klären.

3. Erhebung aller bisher in Österreich vorhandener Daten

Die Radonbelastung der Bevölkerung ist im wesentlichen durch die Konzentration der radioaktiven Edelgase Radon (^{222}Rn) und Thoron (^{220}Rn) in Gebäuden bestimmt. Als Quellen von Radon sind, je nach Bauweise bzw. Gebäudetyp, vor allem der geologische Untergrund und die Baumaterialien anzusehen. Es können jedoch auch beträchtliche Mengen von Radon durch Wasser (Duschen, Trinkwasser), Gasherde (Erdgas), mineralogische Sammlungen etc. in die Räume gelangen. Neben einer Zusammenstellung aller Radonmessungen in Räumen wird daher ein Hauptaugenmerk auf die Lokalisierung von Gebieten erhöhten Urangehaltes im Boden zu legen sein. Da auch zumeist (vor allem in ländlichen Gebieten) die Baumaterialien aus Gegenden stammen, die nicht allzuweit von den betrachteten Gebäuden entfernt liegen sollten, kann man erwarten, daß in Gebieten mit erhöhter Urankonzentration (Thoriumkonzentration) im Boden und entsprechender Permeabilität des Bodens auch die höchsten Radonbelastungen in Innenräumen auftreten dürften. Neben der direkten Bestimmung des Radongehaltes in Räumen und damit der Dosisbelastung der dort lebenden bzw. arbeitenden Bevölkerung sollen daher vor allem jene Gebiete lokalisiert werden, deren Boden hohen Uran- oder Thoriumgehalt aufweisen. Zu diesem Zweck wird eine Bestandsaufnahme aller existierenden Messungen vorgenommen, die Hinweise auf erhöhten Urangehalt (Thoriumgehalt) im Boden liefern können. Das sind vor allem direkte Messungen des Urangehaltes (Thoriumgehaltes) in Bodenproben bzw. in Sedimenten (Geochemischer Atlas), Radon und Radiumgehalt in Quellen, Brunnen und Bohrungen sowie die externe Gammastrahlung abzüglich der Höhenstrahlungskomponente.

3.1. Radon in der Atemluft

In Österreich wurde eine Reihe von Teilstudien und Einzelmessungen über den Radongehalt in Wohnräumen durchgeführt. Dabei

sind entweder Momentanwerte gemessen ("grab-sampling") worden oder es wurden integrierende Meßverfahren verwendet, wobei die Integrationszeit zumeist entweder zwischen wenigen Stunden und wenigen Tagen oder aber zwischen 1 und 3 Monaten lag.

3.1.1. Meßmethoden

Die verwendeten Methoden können in langzeit-integrierende, kurzzeit-integrierende und nichtintegrierende (momentane) Messungen eingeteilt werden.

3.1.1.1. Langzeit-integrierende Methoden

Da der Radongehalt in Gebäuden sehr stark von vielen Parametern abhängt (Ventilationsverhältnisse, Luftdruck, Temperatur etc.), liegt der Vorteil lang-integrierender Messungen darin, daß sie Mittelwerte über den gesamten Integrationszeitraum liefern.

Track-Etch-Messungen: Dabei wird die Tatsache ausgenützt, daß α -Teilchen, wenn sie in bestimmte Folien (z.B. Polycarbonatfolien) eindringen, "Löcher" bilden, die nach chemischer bzw. elektrochemischer Ätzung sichtbar gemacht werden können, und deren Anzahl pro Flächeneinheit proportional dem Zeitintegral der Radonkonzentration ist, dem die Folie ausgesetzt war. Radon diffundiert über ein Filter, das Aerosole mit Radontöchtern und Thoron abhält (die Diffusionszeit des Thoron durch das Filter ist wesentlich größer als die Halbwertszeit von Thoron mit 55 Sekunden), in einen Meßbehälter (Cup). Dort entsteht ein Gleichgewicht zwischen Radon und Radon-Töchtern und die emittierten α -Teilchen erzeugen "Löcher" in der am Boden des Cups befindlichen Folie. Nach elektrochemischer Ätzung der Folie können die Spuren der α -Teilchen ausgezählt werden. Diese Methode ist das bisher am meisten eingesetzte Meßverfahren, da die als Detektor dienenden Folien und deren Behälter leicht zu versenden sind und bei den Messungen bis einige Monate (typisch 3 Monate) integriert werden

kann. Ein gewisser Aufwand wird für die Auswertung benötigt: Ätzung der Folien unter genau einzuhaltenden Bedingungen und Auszählung der durch Ätzung sichtbar gemachten α -Bahns Spuren.

Die Methode wurde von ÖFZS und dem Institut für Kernphysik der Technischen Universität Graz eingesetzt.

Elektret Messungen: Diese Methode beruht darauf, daß gewisse nicht-leitende Stoffe (Dielektrika), sogenannte Elektrete (wie z. B. Teflon), elektrostatisch aufgeladen werden können und sich im wesentlichen nur durch ionisierende Strahlung entladen. Das Elektret befindet sich in einer Ionisationskammer aus leitendem Kunststoff. Die Entladung ist ein Maß der Radonkonzentration in der umgebenden Luft. Je nach Empfindlichkeit des Elektretdosimeters (abhängig vom Elektret und Volumen der Ionisationskammer) ergeben sich Einsatzzeiten von einem Tag bis zu einem Jahr. Derzeit ist diese Meßmethode noch nicht soweit verbreitet, jedoch dürfte sie langfristig gesehen Vorteile gegenüber der Track-Etch-Messung haben. Insbesondere kann die Auswertung extrem leicht und schnell durchgeführt werden. Ein gewisser Nachteil der Methode liegt darin, daß sie auch gegenüber Gammastrahlung sensitiv ist, d.h. der gemessene Wert muß bezüglich der Gammastrahlung korrigiert werden. Eventuell als zweiter Nachteil ist zu vermerken, daß für ein bestimmtes geladenes Elektret nur bis zu einer wohldefinierten Maximaldosis eine Messung möglich ist (vollständige Entladung).

Diese Methode wurde verwendet vom ÖFZS, vom Institut für Kernphysik der Technischen Universität Graz [H. Stadtmann, 1989] und dem Institut für Biophysik der Universität Salzburg.

3.1.1.2. Kurzzeit-integrierende Methoden:

Diese Methoden integrieren meist nur über Zeiten, die vergleichbar mit den Halbwertszeiten von Radon sind (d.h. Integrationszeiten einige Stunden bis Tage). Damit können zum größten Teil Tagesschwankungen gemittelt werden, jedoch langfristige Trends

nur bedingt korrigiert werden. Der Vorteil dieser Methoden liegt in der Schnelligkeit der Messung, wobei die Integration über einige Tage die größten Schwankungen im Radongehalt, wie sie durch die Tagesabläufe in den Gebäuden hervorgerufen werden, herausmittelt. Langzeitversuche haben ergeben, daß die maximale Abweichung vom Monatsmittel etwa 30% betragen kann.

Ionisationskammer: Ein Vorratsbehälter wird langsam (über viele Stunden) mit einer Pumpe gleichmäßig gefüllt. Die Radonkonzentration kann sodann etwa mittels einer Messung in einer Ionisationskammer bestimmt werden. Dadurch werden kurzzeitige Schwankungen des Radongehaltes ausgeglichen.

Messungen dieser Art wurden vom Institut für Biophysik der Universität Salzburg durchgeführt.

Aktivkohle-Dosimeter mit Auswertung durch Gammaskpektrometrie: Bei dieser Methode zur Ermittlung der Radonkonzentration wird der Umstand ausgenützt, daß Aktivkohle geeignet ist, Radon zu absorbieren. In der Aktivkohle baut sich ein radioaktives Gleichgewicht mit den Folgeprodukten auf, deren stärkste Gammastrahlungslinien entweder mit einem NaJ(Tl)- oder einem Ge-Detektor gemessen werden können. Die Aktivkohle-Dosimeter enthalten 50 - 200 g Aktivkohle. Die zunächst verschlossenen Dosen werden erst am Meßort geöffnet und in der Regel 72 Stunden in der radonhaltigen Luft exponiert. Anschließend werden sie wieder verschlossen und im Labor ausgewertet.

Messungen mittels diesem Verfahren sind vom Institut für Kernphysik der Technischen Universität Graz und dem Ökologieinstitut durchgeführt worden.

Aktivkohle-Dosimeter mit Auswertung durch Flüssigszintillation (LSC): Diese Methode entspricht der vorher beschriebenen, jedoch wird ein anderes Meßverfahren zur Bestimmung der angesammelten Radonmenge verwendet. Kommerziell erhältliche Systeme arbeiten mit einem LSC-Vial, in dem sich eine kleine Patrone mit

Aktivkohle befindet. Weiters ist in dieser Patronen ein Trocknungsmittel enthalten, um die Feuchtigkeitseinflüsse möglichst gering zu halten. Die Exposition beginnt mit dem Öffnen des Vials und endet mit dessen Verschließen. Im Labor werden 10 ml eines Toluol- oder Xylolszintillators in das Vial eingefüllt. Nach dem sofortigen Verschließen desorbieren das an der Aktivkohle adsorbierte Radon in die Gasphase und löst sich im Szintillationscocktail. Bis zur völligen Desorption dauert es etwa 8 Stunden. Innerhalb dieser Zeit sind auch die Folgeprodukte, vor allem die α -Strahler ^{218}Po und ^{214}Po im Gleichgewicht. Da α -Strahler bei der LSC-Methode mit annähernd 100% Zählausbeute gemessen werden, kommt die Methode mit einer relativ geringen Aktivkohlemenge aus. Die Methode eignet sich besonders für schnelle Übersichtsmessungen. Bezüglich der notwendigen Qualitätssicherung gilt dasselbe wie für die vorher beschriebene Messung mittels Gammaskopfmessung.

Die beschriebene Meßmethode wird in Österreich von der Bundesanstalt für Lebensmitteluntersuchung und -forschung sowie der Versuchsstelle für Strahlenschutz und Kerntechnik (Innsbruck) eingesetzt.

3.1.1.3 Nicht-integrierende Methoden (grab sampling):

Nichtintegrierende Methoden sind geeignet, den Momentanwert der Radonkonzentration bzw. der Tochterkonzentration festzustellen. In dieser Weise lassen sich die Einflüsse von verschiedenen Parametern auf die Radonkonzentration gut studieren und Extremwerte ableiten. Damit können in vielen Fällen auch die gemessenen Momentanwerte (mit gewissen Unsicherheiten) auf Repräsentativwerte umgerechnet werden.

Ionisationskammer: Die zu messende Luft wird (eventuell über ein Filter zur Entfernung der Radon-Folgeprodukte) in eine Ionisationskammer gefüllt, und nach einer bestimmten Zeit der Ionisationsstrom der Kammer gemessen. Verschiedene Ausführungen solcher Kammern können verwendet werden, um Spezialanforderungen gerecht

zu werden. So sind insbesondere Bodengasmessungen mit diesem Verfahren durchgeführt worden.

Messungen dieser Art wurden vom Institut für Biophysik der Universität Salzburg, dem Institut für Radiumforschung und Kernphysik der Universität Wien, dem Institut für Kernphysik der Technischen Universität Graz, der BVFA Arsenal und dem ÖFZS durchgeführt.

Szintillationsmeßkammern: Luft wird in eine Kammer eingelassen, in der sich eine Fläche mit ZnS als Szintillator befindet. Dieser Szintillator in Verbindung mit einem Photomultiplier mißt die von Radon und Radontöchtern emittierte α -Strahlung. Spezialkonstruktionen mit elektrischer Abscheidung der Folgeprodukte können zur Steigerung der Empfindlichkeit verwendet werden.

Messungen in kleinerem Umfang wurden vom ÖFZS und von der BVFA Arsenal durchgeführt.

Filtermethoden: Da die Folgeprodukte des Radons keine Edelgase sind, lagern sie sich an Aerosole an. Saugt man nun eine definierte Menge Luft durch ein Filter, so werden die Aerosole dieses Luftvolumens im Filter hängen bleiben. Eine Vermessung dieses Filters liefert somit direkt die Folgeproduktkonzentration in der Luft. Durch mehrfache Messung zu verschiedenen Zeiten lassen sich auch die Konzentrationen der Folgeprodukte einzeln feststellen. Als Meßmethode können Gesamtalphazählung, α -Spektrometrie und β -Zählung bzw. Kombinationen davon verwendet werden. Dotiert man die durch ein Filter gesaugte Luft mit inaktiven Aerosolen, und filtert man sie sodann ein weiteres Mal und zwar so, daß die Zeit zwischen erster und zweiter Filterung klein gegenüber der Halbwertszeit von Radon ist, aber zumindest vergleichbar mit der von Thoron, dann werden im zweiten Filter im wesentlichen nur die Folgeprodukte von Thoron nachzuweisen sein. Damit läßt sich auch ohne Spektrometrie die Thoronkonzentration bestimmen.

Filtermethoden in verschiedenen Anordnungen wurden von folgenden Institutionen zur Messung eingesetzt: Institut für Biophysik der Universität Salzburg, Atominstitut der Österreichischen Universitäten, BVFA Arsenal, Institut für Radiumforschung und Kernphysik der Universität Wien, Allgemeine Unfallversicherungsanstalt.

3.1.2. Messungen in Österreich

3.1.2.1. Veröffentlichte Teilstudien

Im Raum Gastein wurden seit 1949 zahlreiche Radonmessungen in der Freiluft, in der Luft von Wohn- und Arbeitsräumen sowie in Quell- und Bergwerksstollen durchgeführt. Zur Bestimmung der Strahlenbelastung der in diesem Raum wohnenden und arbeitenden Personen erfolgten bis 1972 mehrere tausend Messungen des Radon- und Zerfallsproduktgehaltes der Luft [E. Pohl et al., 1969, 1980, J. Pohl-Rüling et al., 1972]. Es wurde versucht auch individuelle Strahlenbelastungen zu berechnen und mit eventuell strahleninduzierten Chromosomenaberrationen zu vergleichen [J. Pohl-Rüling et al., 1976, 1979]. Daneben wurden auch Radon- und Thoronzersfallsproduktmessungen mit einer Doppelfilteranlage durchgeführt. Systematische Meßreihen wurden in Innsbruck, Salzburg, Gastein durchgeführt. Des weiteren wurden Messungen entlang einer Linie Spittal a.D., Mallnitz, Gasteinertal, Schwarzach, Forstau, Kuchl, Hallein, Grödig, Voggenberg/Bergheim durchgeführt. Alle oben angeführten Meßergebnisse, ergänzt durch weitere Messungen, analysiert und ausgewertet, finden sich in [F. Steinhäusler, 1982].

1982 wurde die mittlere Radonkonzentration im Bereich Wien untersucht [M. Danzer, 1982. E. Willau, 1984]. Eine weitere Studie im Sommer 1984 [F. Steger et al., 1984] lieferte ähnliche Werte, jedoch konnten bei Messungen im Winter etwa 40% höhere Radonkonzentrationen an den gleichen Meßplätzen nachgewiesen werden.

In Tabelle 1 ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Teilstudien angegeben.

Ort	Anzahl der Meßstellen	Radon in Bq/m ³	Min-Max in Bq/m ³	Zeit-raum	Meß-methode
Innsbruck	12	44	<2-276	1 Jahr	Grab-sample
Salzburg	500	25	<4-192	4 Jahre	Grab-sample
Bad Gastein	250	86	<4-630	30 Jahre	Grab-sample
Bad Hofgastein	250	30	<4-252	30 Jahre	Grab-sample
Böckstein	250	130	<4-592	30 Jahre	Grab-sample
Wien	56	45	6-326	4 Monate	Grab-sample
Wien (Sommer)	340	39	<4-342	3 Monate	Track-Etch
Wien (Winter)	340	55	<4-340	3 Monate	Track-Etch

Tabelle 1: Veröffentlichte Radonstudien für ausgewählte Gebiete in Österreich. Die angegebenen Werte sind arithmetische Mittelwerte und können daher nicht unmittelbar zur Ableitung einer mittleren Dosisbelastung der Bevölkerung durch Radon verwendet werden.

3.1.2.2. Einzelmeßergebnisse

Verschiedene Expertengruppen [O. Ennemoser, 1991 und 1991/92, F. Schönhofer, 1988, A. Großkopf, 1977, W. Martinelli et al. 1991] untersuchten mehr oder weniger punktförmig, d.h. auf eng begrenzte Gebiete beschränkt, die Radonkonzentrationswerte an verschiedenen Orten in Österreich. Die Anzahl der Meßpunkte betrug von einigen wenigen pro Meßort bis zu vielen Hunderten. Eine Zusammenfassung dieser Messungen bietet Tabelle 2. Als Beispiel für eine Meßreihe mit etwa 200 Messungen in allen Bundesländern sei die vom ÖFZS angeführt. Die Auswahl der Meßorte war zufallsbedingt, die Radonmessungen wurden von Personen, die aufgrund von Medienberichten zur Radonproblematik verunsichert waren, in Auftrag gegeben. Aufgrund der geringen Zahl von Messungen, z.B. im

Burgenland nur 3, in Salzburg 5, in Kärnten 8, können die Ergebnisse nicht als sehr aussagekräftig bezeichnet werden. Tabelle 3 zeigt eine Zusammenfassung, aus der zu ersehen ist, daß einzelne Regionen in Österreich doch erheblich höhere Radonwerte aufweisen als der in Tabelle 1 angegebene Mittelwert von Wien bzw. Salzburg. Interessant ist auch die gute Übereinstimmung der Mittelwerte der großen Teilstudien in Wien und Salzburg (Tab. 1) mit den in Tabelle 3 angeführten Messungen.

Meßgebiete	durchgeführt von	Anzahl der Messungen	Radon in Bq/m ³	Meßverfahren
Graz	Inst.f.Kernphys TU-Graz	12	50	Elektret, Track-Etch
Raum Rottemann	Inst.f.Kernphys TU-Graz	8	214 (93-407)	Elektret, Track-Etch, Aktivkohle
alle Bundesländer	ÖFZS	204	75	Track-Etch
NÖ	Atominstitut	15		Filtermeth.
Salzburg	Atominstitut	29	10-540	Filtermeth.
Wien,NÖ,OÖ	BVFA Arsenal	25	10-800	Filtermeth.
NÖ	BVFA Arsenal	25	ca. 20000	Bodengas mit Ionis.kammer
nördl. NÖ	BALUF	ca. 300	bis 1000	Aktivkohle LSC
Mühlviertel	BALUF	ca. 50		Aktivkohle LSC
Tirol Schulen etc.	Versuchsst. für Strahlenschutz	94	52 Keller 136	Aktivkohle LSC
Tirol Universität	Versuchsst. für Strahlenschutz	39	67	Aktivkohle LSC
Tirol Bezirk Imst	Versuchsst. für Strahlenschutz	159	bis 4600	Aktivkohle LSC
Bergwerke	Unfallver- sicherungsanst.	ca. 100	8000-30000	Filtermeth.
Heilbäder Brunnstuben	Inst.f.Radiumf. Kernph. Wien	ca. 20	10-30000	Ionisations- kammer

Tabelle 2: In Österreich durchgeführte Einzelmessungen der Radonkonzentration

Meß- gebiete	Anzahl der Messungen	Mittelwerte in Bq/m ³	Min. - Max. in Bq/m ³
Wien	59	49	<3 - 234
Niederösterr.	42	56	<3 - 164
Oberösterr.	19	130	26 - 398
Salzburg	5	29	16 - 46
Tirol	11	85	19 - 189
Vorarlberg	9	44	18 - 56
Kärnten	8	63	29 - 155
Steiermark	48	77	10 - 247
Burgenland	3	80	47 - 97
Österreich	204	75 ± 31	<3 - 398

Tabelle 3: Radonkonzentration in einzelnen Bundesländern gemessen vom ÖFZS in den Jahren 1988-1989. Die Meßstellen wurden zufällig ausgewählt, die Track-Etch-Folien sind jeweils 3 Monate exponiert worden.

3.2. Radon und Radium im Wasser

Radonmessungen in Wasser wurden in Österreich schon knapp nach der Jahrhundertwende begonnen [H. Mache, 1904]. Die herausragende Stellung österreichischer Wissenschaftler auf diesem Gebiet wird unter anderem dadurch manifestiert, daß die sogenannte Mache-Einheit (ME) lange Zeit die international übliche Einheit zur Messung der Radonkonzentration im Wasser war (1 ME = 0.364 nCi/l = 13.5 Bq/l). Diese führende Rolle Österreichs bei der Bestimmung von Radon in Wasser hat dazu geführt, daß aus diesen frühen Zeiten eine große Zahl von Meßdaten vorhanden sind, deren Qualität außer Zweifel steht. Ein Großteil dieser Daten liegt in einer Datenbank auf [RADIRADO], jedoch sind sicher noch einige hundert Messungen nicht erfaßt. Insgesamt dürften aus dem Zeit-

raum bis 1940 etwa 1.500 bis 2.000 solche Messungen vorliegen. Später wurden die Untersuchungen von Wasserproben auch auf den Radiumgehalt ausgedehnt. Auch war man seitens der Balneologie bemüht, alle für Kuren genutzten Quellen bezüglich der Radioaktivität zu vermessen, da lange Zeit eine hohe Radioaktivität von Quellen auch für die Kurgäste eine besondere Attraktivität darstellte. Es sind jedoch nachweislich manche Radiumwerte nicht mit adäquaten Methoden gemessen worden, so daß manchen Gruppen z.T. um ein bis zwei Größenordnungen zu hohe Radiumwerte angeben. Nach dem 2. Weltkrieg wurden genaue Radium- und Radonbestimmungen in Wasserproben vor allem in Badgastein, Salzburg, Innsbruck und Wien durchgeführt. In neuerster Zeit wurde eine Reihe von Untersuchungen betreffend das Trinkwasser in Gebieten mit vermuteter höherer Radonkonzentration durchgeführt.

Bis etwa 1940 wurde zur Bestimmung des Radongehaltes in Wasserproben fast ausschließlich eine Fontaktometeranordnung nach H. Mache und St. Meyer verwendet. Später kamen andere Meßmethoden hinzu, wobei sich vor allem die Messung des Ionisationsstromes von Ionisationskammern durchsetzte bzw. in kleinerem Umfang zählende Messungen mittels ZnS-Szintillatoren verwendet wurden. Daneben gibt es noch für Wasserproben mit hohem Radongehalt die direkte Messung mittels low-level Gammaskpektrometrie. Als neuere, kostengünstige Methode hat sich auch die Flüssigszintillationspektrometrie erwiesen.

Messungen des Radiumgehaltes wurden zumeist über das durch radioaktiven Zerfall nachgebildete Radon durchgeführt. Da die Radiumkonzentration im allgemeinen etwa 3 Größenordnungen geringer ist als die Radonkonzentration, bedarf es weit feinerer Methoden zur Messung. Die Radiumbestimmungen wurden zumeist mit Weiterentwicklungen von Meßverfahren, die zur Radonmessung geeignet waren, durchgeführt (Differentialkammeranordnungen u.s.w.).

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die vorhandenen bzw. vermuteten Messungen, geordnet nach Autoren, Tabelle 5 liefert eine Aufteilung nach Meßgebieten [u.a. F. Schönhofer, 1989, H. Friedmann, 1984, P. Kindl et al. 1990, P. Bossew, 1991]

Institution	Anzahl von Ra-Messungen	Anzahl von Rn-Messungen
historische Messungen	300	1500
Inst. f. Biophysik d. Univ. Salzburg	500	1200
Inst. f. Kernphysik d. Techn. Univ. Graz	30	300
Inst. f. Radiumforschung d. Univ. Wien	400	500
BA f. Lebensmittelunters.	1000	1000
Österr. Ökologieinst.	25	
BVFA Arsenal		25

Tabelle 4: Radioaktivitätsmessungen in Wasser. Die Tabelle gibt nur Größenordnungen für die Anzahl der durchgeführten Messungen an.

Meßgebiet	Anzahl von Ra-Mess.	Mittelwert Min-Max (mBq/l)	Anzahl von Rn-Mess.	Mittelwert Min-Max (Bq/l)
Tirol			1000	ca. 20 <5 - 300
Vorarlberg			50	ca. 20 <5 - 60
Salzburg	600	ca. 20 <5 - 4000	1100	ca. 30 <5 - 4000
Steiermark	150	ca. 50 <10 - 4000	500	ca. 10 <5 - 200
Nieder- österreich	1000	ca. 40 <5 - 500	1000	ca. 30 <5 - 1000
Waldviertel NÖ	300	ca. 60 <10 - 500	300	ca. 100 <10 - 1000
Kärnten	50	ca. 30 <5 - 200	80	ca. 20 <5 - 50
Burgenland	50		50	
Mühlviertel OÖ	200		300	ca. 200 30 - 1000

Tabelle 5: Radioaktivität im Wasser, geordnet nach Gebieten. Die Tabelle gibt nur Größenordnungen für die Anzahl der durchgeführten Messungen an. Da noch keine vollständige statistische Auswertung der Daten existiert, können die Mittelwerte nur als grobe Schätzwerte angesehen werden.

3.3. Weitere Parameter, die zur Abschätzung der Radonbelastung der Bevölkerung herangezogen werden können

Eine Voraussetzung zur fundierten und volkswirtschaftlich effizienten Ermittlung der Radonbelastung der Bevölkerung ist die Beachtung der geologischen Gegebenheiten. In zahlreichen ähnlichen Programmen im Ausland basiert die Untersuchung des Radonbe-

lastungspotentials - neben anderen Grunddaten und Parametern - auf der geologische Landesaufnahme (Karte) des jeweiligen Landes.

In Ergänzung zur geologischen Karte Österreichs - herausgegeben von der Geologischen Bundesanstalt - existieren die Ergebnisse weiterer Projekte und Untersuchungen: Der Strahlenatlas Österreichs, mit der regionalen Verteilung des terrestrischen Anteils der Strahlungsdosis, der den geologischen Aufbau des Untergrundes widerspiegelt; der Geochemische Atlas Österreichs, der die Geochemie der Böhmisches Masse und der Zentralzone der Ostalpen darstellt; Aeroradiometrische Aufnahmen von Teilen des Bundesgebiets, durchgeführt vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien und der Geologischen Bundesanstalt; regional vereinzelte Messungen der Gamma-Strahlung und Radonkonzentrationen in Bodengas durch die Fa. Minorex im Zusammenhang mit Uranprospektion. Daneben existiert noch das österreichische Strahlenwarnnetz, wobei die Leerwerte an den einzelnen Meßstellen, nach Korrektur bezüglich der Aufstellung der Meßsonden (Höhe über Boden etc.), ebenfalls Verwendung finden können.

3.3.1. Gammadosisleistung

Einen Überblick über die Verteilung der Gammadosisleistung in Österreich bietet die Strahlenkarte Österreichs. Diese wurde 1975 vom Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz herausgegeben. Die Messungen der Dosisleistung (terrestrische und kosmische) wurden vom Atominstitut der Österreichischen Universitäten durchgeführt. Die Ergebnisse liegen in Tabellenform und als Karten vor [P. Vychytil, 1975]. Im Rahmen eines weiteren Projektes sind in allen Bundesländern Messungen in Innenräumen durchgeführt worden [E. Tschirf et al., 1980]. Resultate liegen in Form von Tabellen sowie als graphische Verteilung der Meßpunkte vor (Abb. 2). Insgesamt wurden in 1910 Häusern in 327 Gemeinden Messungen vorgenommen. Die Datensätze wurden statistisch ausgewertet und liegen auch als Summenhäufigkeiten vor [E. Tschirf et al., 1989]. Innerhalb dieses Projektes sind die vom Atominstitut ge-

messenen Daten in eine dBASE-Datenbank [AIGAMDAT] eingebracht worden. Eine große Anzahl von Messungen der Gammadosisleistung (ca. 2.000) sind auch in Salzburg und im Gasteiner Gebiet durchgeführt worden [F. Steinhäusler, 1982].

3.3.2. Aeroradiometrie

Zu den weiteren Parametern, die zur Abschätzung der Radonbelastung dienen können, zählt die flächenhafte Erfassung der Uranverteilung in den Gesteinen bzw. Böden. Dies kann einerseits durch geochemische Methoden (siehe Punkt 3.3.3) aber auch durch gammastrahlenspektrometrische Messungen erfolgen. Obwohl Maxima in der Uranverteilung in den Gesteinen nicht unmittelbar mit maximalen Radonwerten zusammenfallen müssen, erlauben die oben erwähnten Untersuchungsmethoden die Abgrenzung von Gesteinskomplexen, die sich durch erhöhte Urankonzentrationen auszeichnen. In diesem Zusammenhang können dann entlang von Störungszonen durch perkulierende meteorologische Wässer höhere Radonkonzentrationen auftreten. In diesem Abschnitt wird nur auf die Gammastrahlenspektrometermessungen eingegangen.

In Österreich wurden und werden im Rahmen diverser Rohstoffforschungsprojekte die eben erwähnten Messungen durchgeführt. In den 70 er Jahren wurden im Zuge der Erkundung von Kernbrennstofflagerstätten Gammastrahlenmessungen vom Auto aus - entlang von Straßen und Wegen - in ausgewählten Gebieten vorgenommen. Dabei wurde die Gesamtzählrate registriert. Die Daten sind derzeit nicht zugänglich und sollen sich im Besitz der Bleiberger Bergwerks Union (BBU) befinden. Ob die Daten verfügbar gemacht werden können, wird derzeit geprüft. Erschwerend für deren Zugänglichkeit dürfte die Tatsache sein, daß sich BBU seit einigen Jahren mehrheitlich im Besitz einer deutschen Industriegruppe befindet.

Seit 1982 werden in ausgewählten Teilen des Bundesgebietes aerogeophysikalische Messungen durchgeführt, wobei auch ein Aero-gammastrahlenspektrometer zum Einsatz kommt. Bis 1987 wurden nur die Energiesummenfenster für das Uran (^{214}Bi), das Thorium (^{208}Tl),

das Kalium (^{40}K) sowie die Gesamtstrahlung (0,2 - 3,0 MeV) aufgezeichnet. Seit dem Frühjahr 1988 wird die Gammastrahlung von 0.2 bis 3.0 MeV in Form des gesamten Spektrums in 256 Kanälen erfaßt, sodaß die bestehende Meßapparatur auch für andere Probleme des Strahlenschutzes zum Einsatz kommen kann. 1988 wurde zu den 8 bestehenden NaI-Kristallen (33 l Volumen) ein weiterer NaI-Kristall (4 l Volumen) angeschafft, mit dessen Hilfe, durch Abschirmung gegenüber der Erdoberfläche, die Gammastrahlung in der Luft in ebenfalls 256 Kanälen aufgezeichnet wird.

Als Meßplattform dient ein Hubschrauber des Bundesheeres. Bei den üblichen Projekten der Rohstoffforschung wird mit einem Profilabstand von 200 m und in einer Flughöhe von 80 m über Grund gemessen. Derzeit liegen die Daten von ca. 35.000 Profilkilometern vor. Dies entspricht einer Überdeckung des Bundesgebietes von etwa 9 %. In der Karte - Abb. 3 - ist der derzeitige Stand der Projektgebiete wiedergegeben. Jede Sekunde wird ein komplettes Spektrum sowohl der 9 nach unten gerichteten als auch des einen nach oben gerichteten Kristalls aufgezeichnet. Bei einer mittleren Fluggeschwindigkeit von 125 km/h ergibt sich eine Meßpunktfolge entlang der Meßprofile von etwa 30 m. Bei den angegebenen Flugparametern und dem Öffnungswinkel der Meßkristalle hat der Einflußkreis der Messungen einen Durchmesser von ca. 300 m. Der Einsatz der bestehenden Meßapparatur ist grundsätzlich auch von einem Flächenflugzeug aus möglich (z. B.: Pilatus Porter).

In den Abb. 4 und 5 sind zwei Karten aus dem Bereich der Böhmisches Masse wiedergegeben. Die Abbildung 4 zeigt die Verteilung des Urans, Abb. 5 jene des Thoriums in ppm. Diese Karten sind das Ergebnis eines umfangreichen Auswerteprogrammpaketes, wobei verschiedene Einflußgrößen, wie z. B. die Flughöhe, die Comptonstrahlung etc., berücksichtigt worden sind. Die Eichung der Meßapparatur erfolgt durch speziell angefertigte Eichkörper sowie durch Überfliegen eines Testgeländes unter den bei den Meßflügen üblichen Bedingungen (z. B.: Flughöhe, Fluggeschwindigkeit etc.). Die Karten stellen die Zusammenfassung von fünf verschie-

denen Meßgebieten dar, die in den Jahren 1985 und 1987 befliegen wurden (Nebelstein, Weinsbergerwald, Freistadt 1,2,3).

Durch die Zusammenfassung der verschiedenen Meßgebiete sollte gezeigt werden, daß durch entsprechende Korrekturen eine einheitliche Darstellung zeitlich getrennter Meßgebiete möglich ist, die mit unterschiedlichen Einstellungen der Meßapparatur befliegen wurden.

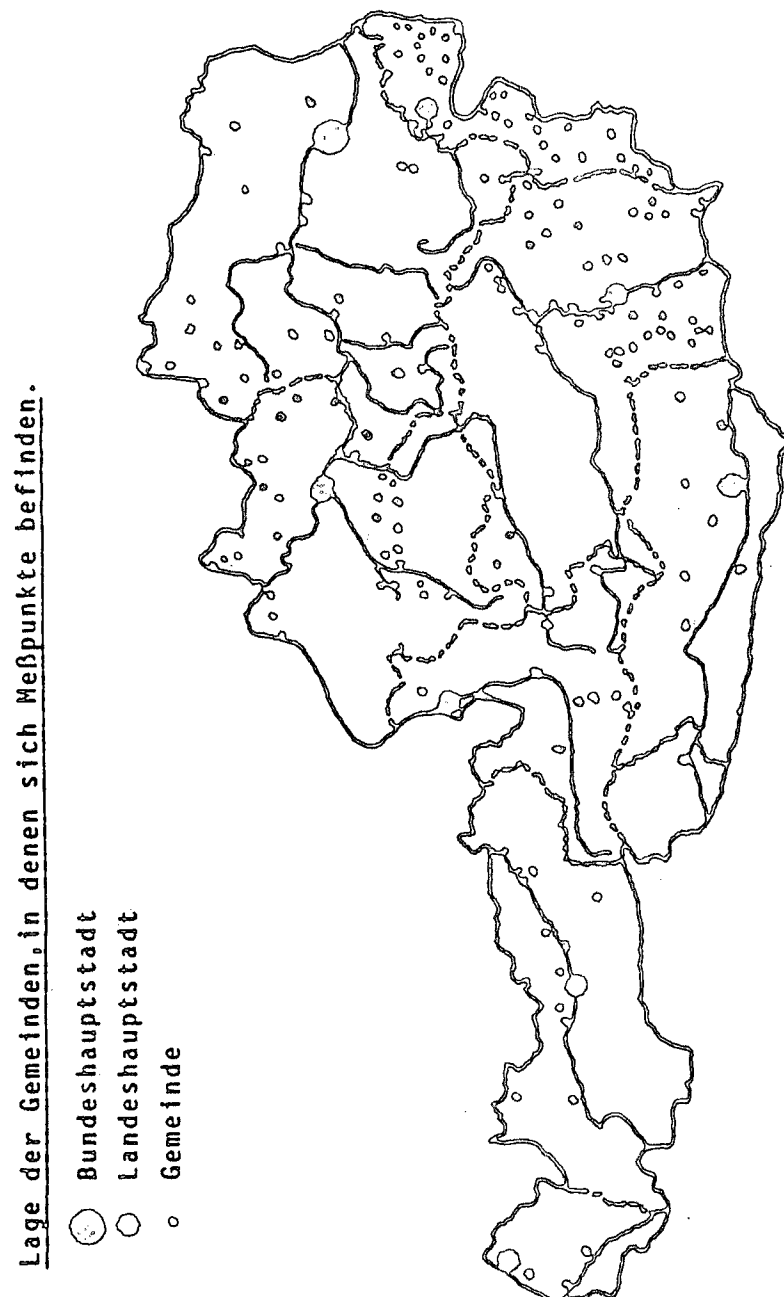


Abb. 2: Lage der Gemeinden in denen Dosisleistungsmessungen in Innenräumen vorgenommen wurden.

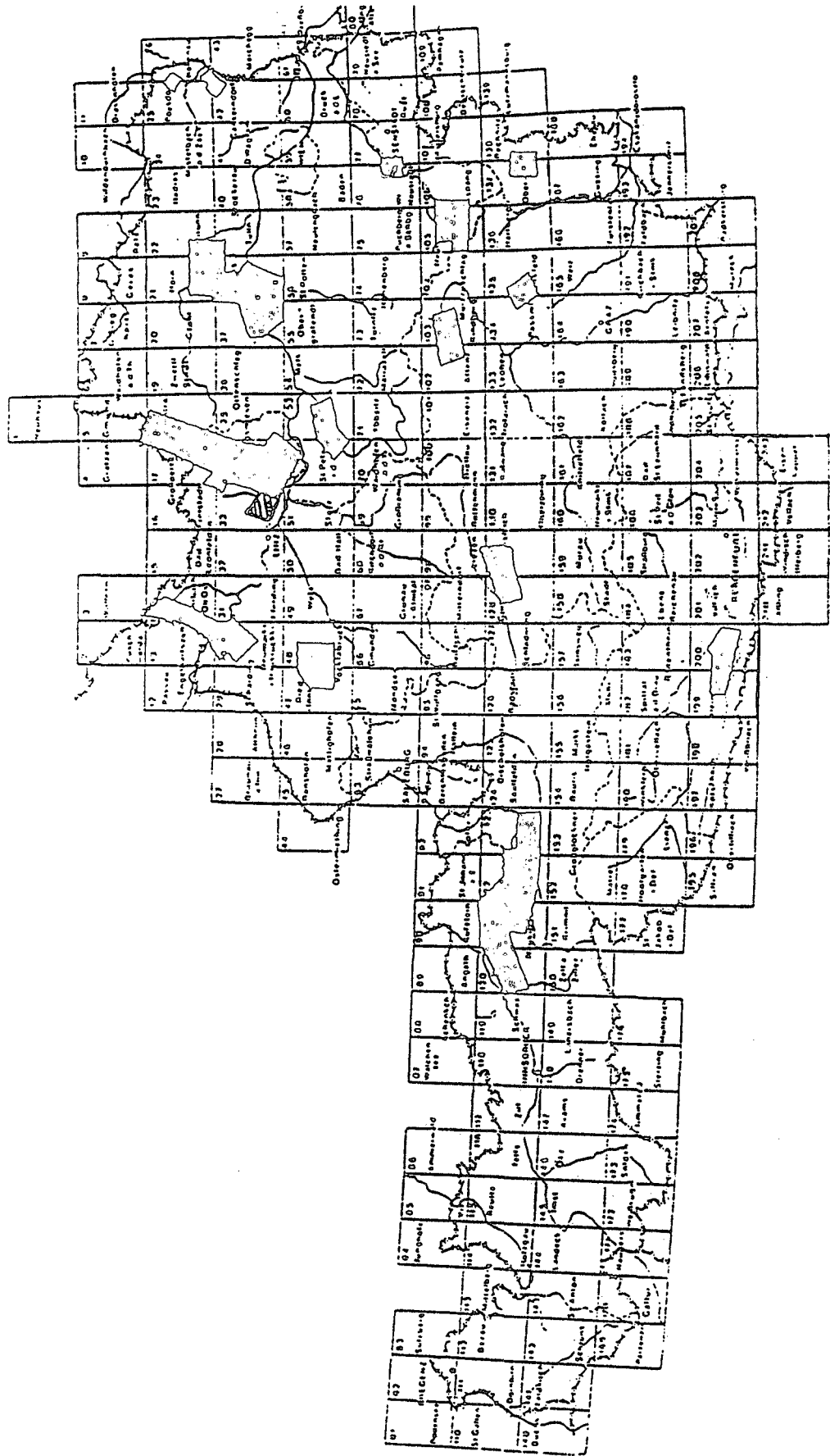


Abb. 3: Derzeitiger Stand der Aeroradiometrie. Beflogene Gebiete sind schwarz eingezeichnet.

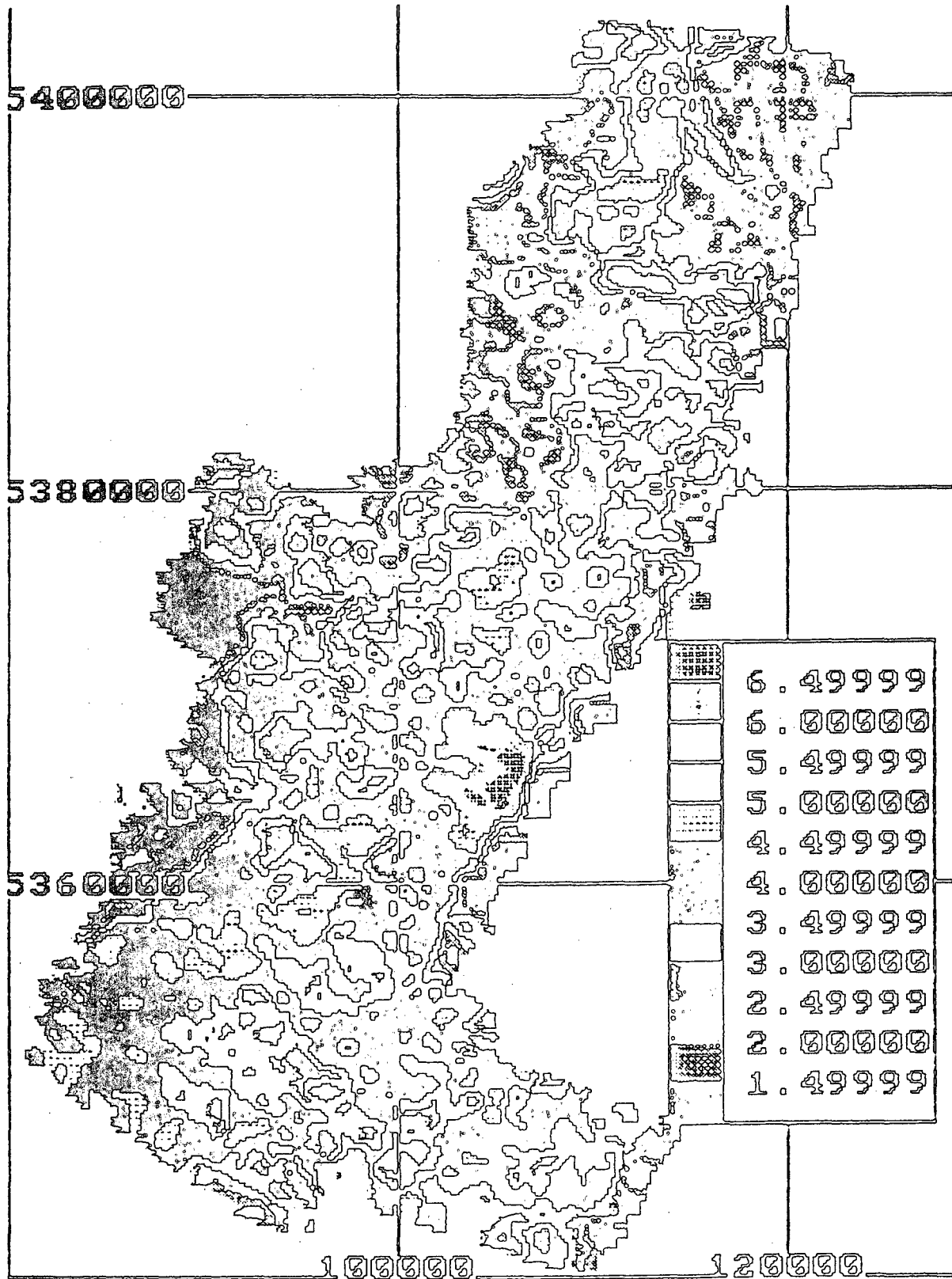


Abb. 4: Uranverteilung Freistadt, Weinsberger Wald

Uran [ppm]
 Freistadt, Nebelstein
 Weinsberger-Wald

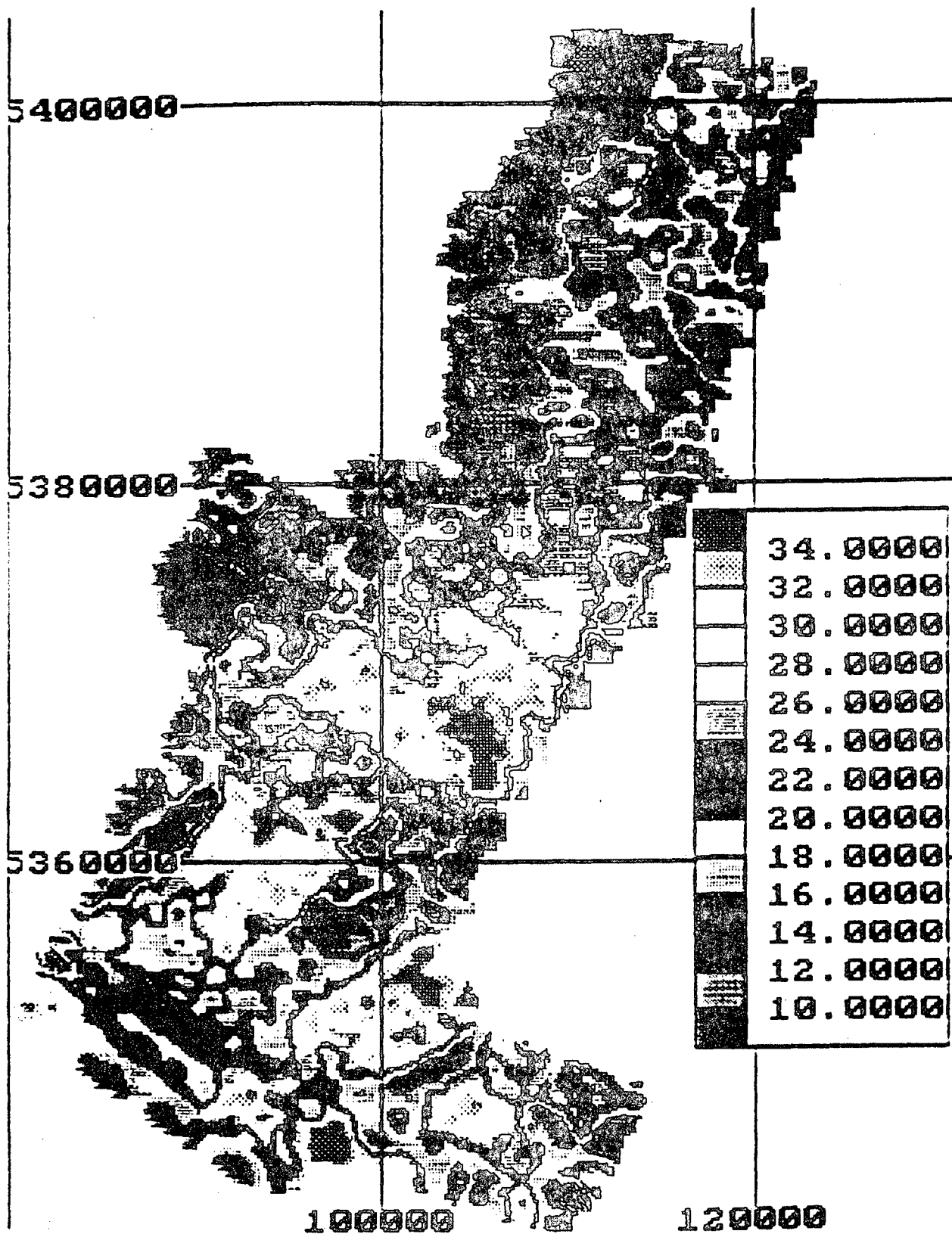


Abb. 5: Thoriumverteilung Freistadt, Weinsberger Wald

Thorium [ppm]
 Freistadt, Nebelstein
 Weinsberger-Wald

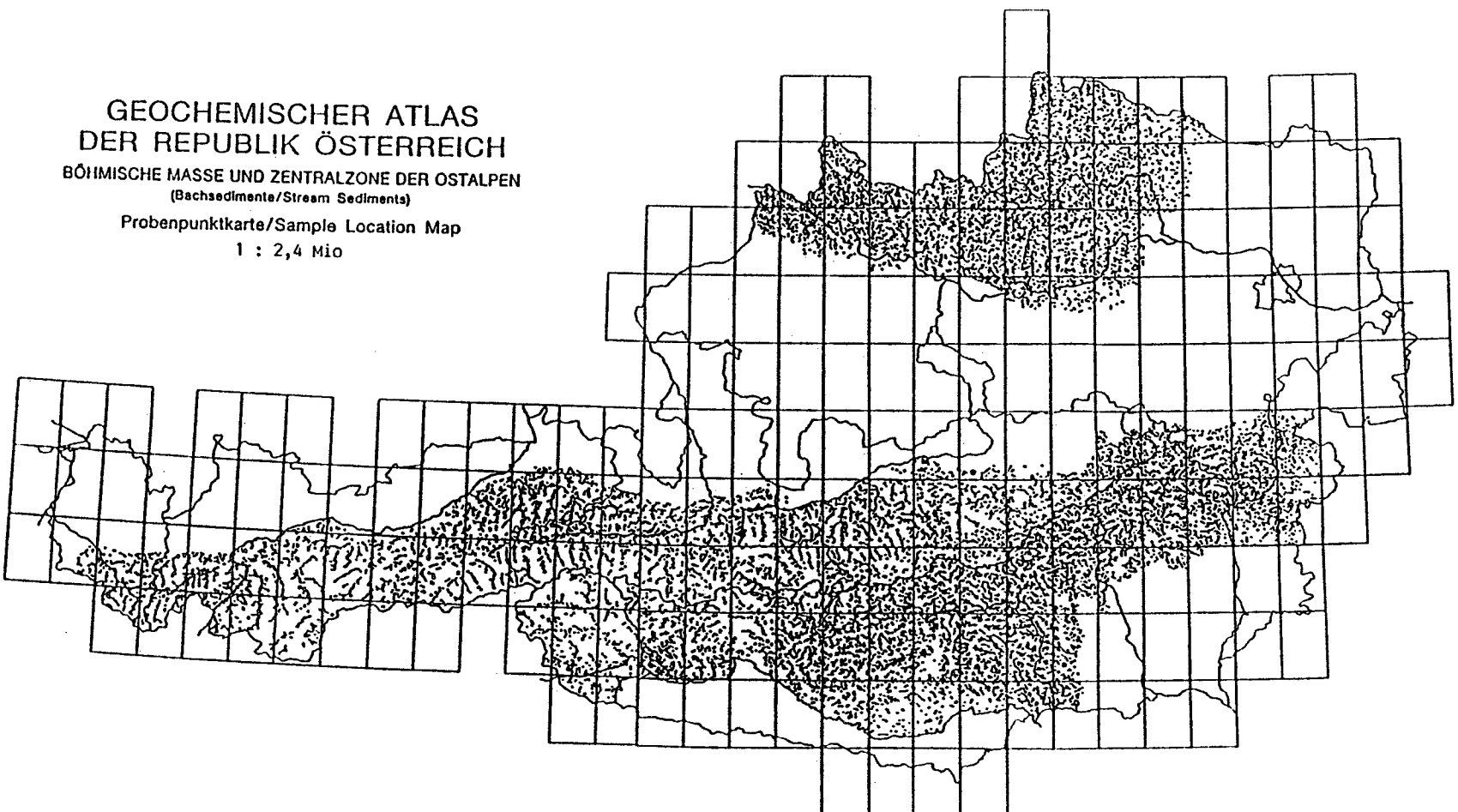


Abb. 6: Geochemischer Atlas, Verteilung der Probennahmepunkte

In beiden Abbildungen spiegelt sich der geologische Aufbau des Untersuchungsgebietes wider. Es lassen sich die unterschiedlichsten Granittypen teilweise gut erkennen. Besonders auffällig sind die Kontaktzonen zwischen den erwähnten Granittypen, wobei sich die Kontakthöfe, sie stellen besondere geologische Zonen dar, in der Thoriumverteilung abgrenzen lassen.

Folgende Daten sind verfügbar: Datum, Uhrzeit, x-, y-Koordinaten (Gauß-Krüger), Uran (ppm), Thorium (ppm), bei Bedarf: Kalium, Abschätzung der Dosisleistung. Ein Beispielausdruck ist unter Pkt. 5 (Datenbanken) ersichtlich.

3.3.3. Geochemie (Geochemischer Atlas)

Ein geochemischer Atlas Österreichs wurde im Rahmen einer Kooperation der VOEST-ALPINE, der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal und der Geologischen Bundesanstalt in den Jahren 1978 bis 1987 erstellt. Über die Beprobung (1978 bis 1982) und Multielementanalytik (bis Ende 1986) von Bachsedimenten wurde die geochemische Grundaufnahme der Böhmisches Masse (6.771 Proben) und der Zentralzone der Ostalpen (22.619 Proben) durchgeführt. Die flächenmäßige Auflösung der Auswertung (Glättung und Mittelung) beträgt 1 x 1 km (Rasterzellen). In Abb. 6 ist die Verteilung der Probennahmepunkte im österreichischen Bundesgebiet dargestellt.

Im Zusammenhang mit der Strahlenbelastung und dem Radonpotential sind die Karten für Uran, Thorium und Kalium von Bedeutung. Die Karten dieser Elemente sind auch auf Datenträger für PC (dBASE) verfügbar (29.719 Datensätze). Ein Beispielausdruck und die dazugehörige Legende sind unter Pkt. 5 (Datenbanken) zu finden.

4. Zusammenstellung von analogen Programmen im Ausland

Derzeit werden im Ausland sowohl auf nationaler Ebene, als auch auf internationaler Ebene erhebliche Anstrengungen unternommen, um die Strahlenbelastung der Bevölkerung durch Radon (^{222}Rn) und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte besser quantifizieren zu können. Eine aktuelle Übersicht wird den Proceedings des "5th International Symposium on the Natural Radiation Environment", Sept. 22-28, 1991, Salzburg, zu entnehmen sein. Im folgenden werden die wichtigsten Programme zusammengefaßt dargestellt.

4.1. Radon-Programme der an Österreich angrenzenden Staaten

Deutschland:

In Deutschland wurde in den letzten 10 Jahren eine umfangreiche nationale Studie über die Radonkonzentration in der Raumluft und im Freien durchgeführt (ca. 6.000 Wohnungen in den alten Bundesländern, Mittelwert ca. 50 Bq/m^3) [BMI 1985]. Man nimmt an, daß in der Bundesrepublik zwischen 4% und 12 % der gesamten Anzahl von Lungenkrebsfällen möglicherweise durch Radon in Räumen verursacht sein könnte. Bei einer Gesamtzahl von ca. 25.000 Lungenkrebstoten in Westdeutschland entspricht dieser Schätzwert einer jährlichen, durch Radon induzierten Zahl von 1.000 bis 3.000 Todesfällen.

Derzeit wird eine groß angelegte epidemiologische Studie im Rahmen der US-Dept. of Energy/EG Arbeitsgruppe "International Residential Radon Epidemiology" durchgeführt, um für die deutsche Bevölkerung das Lungenkrebsrisiko durch Radon-Inhalation besser abschätzen zu können.

Schweiz:

Aufgrund hoher Radonwerte in Wohnräumen im Jura-Gebirge ($\geq 5 \text{ kBq/m}^3$) wurde 1987 ein landesweites 5-Jahres Programm (RAPROS)

begonnen. Es zeigte sich, daß in der Schweiz Baumaterialien und Trinkwasser vernachlässigbare Radonquellen darstellen, und der Radon-Beitrag aus dem Untergrund dominiert. Erhöhte ^{222}Ra -Werte wurden vor allem in Böden nicht-granitischen Ursprungs gefunden (Maximalwert: 880 Bq/kg Trockengewicht), so vor allem im Jura-Kalkstein. Der Schwerpunkt des Radon-Programms der Schweiz liegt in der Identifikation und Sanierung von Gebieten mit besonders hohen Rn-Werten. Derzeit sind etwa 1.600 Gebäude mit 5.000 Räumen (je 2 Detektoren pro Gebäude) untersucht worden [H. Surbeck et al., US-EPA Int. Symp. on Radon and Radon Reduction Techn. Philadelphia, USA, 1991].

Italien:

In Italien wird das landesweite Radonprogramm vom Instituto Superiore di Sanita (ISS) und der ENEA/DISP (beide in Rom) in Zusammenarbeit mit lokalen Meßstellen durchgeführt. Beide Institute sind weitgehend unabhängig und direkt dem zuständigen Ministerium verantwortlich. Die Arbeiten zum Radonprogramm werden als essentielle Aufgabe der Institutionen angesehen.

Bereits 1982 wurde eine regional begrenzte Studie in Umbrien begonnen, um die Vorgangsweise im Hinblick auf eine nationale Studie zu testen. Dabei sind Messungen von Baumaterial, Gammamessungen in Innenräumen und Track-Etch-Messungen durchgeführt worden. Die Auswahl der Meßorte wurde unter Berücksichtigung der Geologie in Zusammenarbeit mit dem Geologischen Institut der Universität Perugia getroffen.

Seit einigen Jahren wird nunmehr ein landesweites Programm durchgeführt, bei dem externe Dosisleistung und Radonkonzentration gemessen werden. Herstellung und Verteilung der Detektoren, das Handling der Fragebögen und die Messung erfolgt durch lokale Laboratorien. Das Rohmaterial für die Detektoren wird durch ISS bzw. ENEA zur Verfügung gestellt, welche auch die Qualitätskontrolle durchführen. Die Gammadosis wird größtenteils einmalig

während 6 Monaten mittels TLD gemessen, für Radon wird die Track-Etch-Methode über jeweils zwei Sechsmonatsperioden verwendet.

Die Auswahl der zu messenden Wohnungen wurde sehr sorgfältig getroffen. Insbesondere ist dabei auf freiwillige Meldungen verzichtet worden, da dadurch eine für die Bevölkerung nicht repräsentative Auswahl getroffen wird. Da der Erfolg wesentlich von der Akzeptanz der Bevölkerung abhängt, wurde das nationale Gesundheitsservice, bzw. lokale Gesundheitsorganisationen mit Verteilung und Interview beauftragt. Als Basis wurde die administrative Struktur des Landes gewählt und innerhalb dieser ist ein repräsentatives "Sample" ausgesucht. Es sind 5.000 Wohnungen (eigentlich: Familien) in 200 administrativen Einheiten ausgewählt worden mit dem Ziel, im Mittel etwa eine Wohnung von je 4.000 Wohnungen zu vermessen. Dabei wurde bei Städten noch unterschieden zwischen solchen mit mehr und mit weniger als 100.000 Einwohnern. Zur Zeit gehen die Bestrebungen dahin, in Landgebieten verhältnismäßig mehr Wohnungen (etwa 1 pro 2.000) zu erfassen. In jeder Wohnung wurde nur ein Raum (üblicherweise das Schlafzimmer) vermessen. Bei Ablehnung der Teilnahme durch eine Familie wurde eine "Ersatzfamilie" herangezogen, um auf eine repräsentative Untersuchungszahl zu kommen.

Derzeit liegen vorläufige Detaillerggebnisse von ca. 1.000 Gebäuden aus dieser Studie vor [G. Sciocchetti et al., 1985, G.C. Venuti et al., 1990, H. E. Wichmann, 1991, F. Bochicchio et al., 1991]. Seitens ISS und ENEA wurden zwar Überlegungen zur Messung von Radontöchtern angestellt, aber nur in sehr geringem Umfang auch durchgeführt. Ebenfalls nur in kleinem Umfang wurde auch ^{220}Rn (Thoron) meßtechnisch erfaßt.

Man hofft auf einen vorläufigen Abschluß dieser Studie bis Ende 1992 - was einer Dauer von etwa fünf Jahren entspräche.

Jugoslawien:

Die bisherigen Untersuchungen haben sich vor allem auf Aschen bezogen. Dies ist insofern verständlich, da etwa in Kroatien Aschen produziert werden, deren Urangehalt so hoch liegt, daß eine Gewinnung dieses Urans als Kernbrennstoff in Erwägung gezogen wurde. Die jahrzehntelange unkontrollierte Verwendung als Baumaterial ist derzeit Gegenstand von mehreren Projekten. 1990 wurde ein landesweites Radonprogramm geplant. Unter anderem sind in einem speziellen Programm für Kindergärten und Schulen etwa 300 Gebäude untersucht worden.

Ungarn:

In Ungarn befaßt man sich vor allem mit dem Problem der uranhaltigen Industrieabfälle, die als Baumaterial Verwendung finden wie z.B. Aschen. Dabei konnten durchschnittliche jährliche effektive Äquivalentdosen von 1.5 mSv durch Rn-Zerfallsprodukte und 0.3 mSv durch Gammastrahlung festgestellt werden.

1985 wurde in Zusammenarbeit von OSSKI (Forschungsinstitut für Strahlenbiologie und Strahlenhygiene in Budapest) und ATOMKI (Atomkernforschungsinstitut Debrecen) eine landesweite Untersuchung in Wohngebäuden des Landesmeteorologischen Dienstes durchgeführt. Dabei wurde zweieinhalb Jahre lang mit Track-Etch Detektoren die Radonkonzentration in Innenräumen gemessen. Es sind in dieser Weise insgesamt 122 Gebäude untersucht worden, wobei im Verlauf der Versuchsdauer von 30 Monaten pro Wohnung 10 Dosimeter exponiert wurden. Die Meßergebnisse wurden hinsichtlich Baumaterial und Jahreszeit ausgewertet und eine provisorische Radonkarte von Ungarn erstellt, wobei man sich bewußt ist, daß die untersuchten Gebäude nicht für den ungarischen Gebäudebestand repräsentativ sind [G. Somogyi et al. 1989].

CSFR:

Aufgrund des Uranabbaues besteht in der CSFR eine lange Tradition in Untersuchungen betreffend die Belastung durch Radon [Ludewig et al. 1924, Sevc et al. 1972, 1976]. In den Jahren 1981 und 1982 wurde eine Studie durchgeführt, in deren Verlauf in 1.200 Häusern in Böhmen und Mähren, die nach demographischen Gesichtspunkten ausgewählt wurden, die Radonkonzentration gemessen wurde. (in der Slowakei gibt es aufgrund der geologischen Gegebenheiten kein Radonproblem.) Aus dem Ergebnis konnte abgeschätzt werden, daß in etwa 1.000 Häusern von insgesamt 1.6 Millionen Häusern eine Strahlenbelastung von über 50 mSv/a zu erwarten ist. 1987 wurde von der Regierung der tschechischen Teilrepublik der Auftrag zu einem Meßprogramm in Ostböhmen gegeben - in erster Linie zum Auffinden der mit hochaktiven Baustoffen erbauten Häusern und zur Kontrolle der Baustoffe. Neben dem die Baustoffe betreffenden Projekt, laufen mehrere umfangreiche Radon-Programme, deren Themen die Belastung in Gebieten mit erhöhter Radon Exhalation aus dem Untergrund, Radon-Kurorte sowie weitere Problemkreise im Zusammenhang mit Radon umfassen [I. Barnet (ed.), 1991]. Im besonderen sollten vielleicht die Aktivitäten in Hinblick auf eine Risikokarte von Böhmen und Mähren hervorgehoben werden. Diese Risikokarte beruht neben geologischen Daten und Dosisleistungsmessungen vor allem auf der Messung von Radonkonzentrationen in Bodengasen in Verbindung mit der Durchlässigkeit des Bodens. Insbesondere haben sich Durbachit und Granit als mit hohem Risiko behaftete Untergrundmaterialien erwiesen. Aus den Bodengaskonzentrationen und der Permeabilität des Bodens wurden folgende Risikoqualitäten definiert (siehe Tab. 6).

Rn-Konzentration im Bodengas in kBq/m ³			
Bodenpermeabilität	gering	mittel	hoch
geringes Risiko	<30	<20	<10
mittleres Risiko	30-100	20-70	10-30
hohes Risiko	>100	>70	>30

Tabelle 6: Risikodefinitionen in der CSFR

Es werden pro Monat etwa 1.000 Track-Etch-Detektoren auf dem Weg über die Gemeinden verteilt. Die Kapazität soll in Zukunft bis auf das zehnfache gesteigert werden. Als eine Konsequenz dieser Arbeiten kann man die Verordnung des Gesundheitsministeriums der CSFR vom 12.2.1991 bezeichnen, welche die Dosisbelastung der Bevölkerung durch Radon und andere natürliche Radionuklide zum Inhalt hat. Interessanterweise ist in derselben Verordnung auch für die Radonkonzentration im Trinkwasser ein "investigation level" von 50 Bq/l und ein "action level" von 1.000 Bq/l festgesetzt.

Eine große epidemiologische Studie über das Lungenkrebsrisiko bei Rn-Exposition in Wohnräumen wird unter Beteiligung der US-EPA durchgeführt (siehe auch [I. Barnet (ed.), 1991])

4.2. Radon-Programme im übrigen Europa

Finnland:

Erste Vorschläge bzw. Empfehlungen betreffend die Radonproblematik wurden bereits 1980 und 1982 vom Finnischen Strahlenschutzinstitut und vom "National Board of Health" gegeben. 1986 wurden die Grenzwerte für die Radonkonzentration in Altbauten mit 800 Bq/m³ und in Neubauten mit 200 Bq/m³ festgesetzt (die Werte wurden später modifiziert) und die lokalen Behörden aufgefordert Wohnungen mit Radonkonzentrationen über 800 Bq/m³ zu erfassen. Das Finnische Umweltministerium finanzierte ein Forschungsprogramm, um das Problem Radon in Gebäuden durch entsprechende Bau-

vorschriften in den Griff zu bekommen. 1987 wurden Radongrenzwerte in die gesetzlichen Bauvorschriften aufgenommen. Vom organisatorischen Standpunkt sind die lokalen Gesundheits- und Baubehörden für das Auffinden hochbelasteter Gebäude verantwortlich und für entsprechende Maßnahmen zur Verringerung dieser Belastung. Das Finnische Strahlenschutzinstitut (STUK) führt die Messungen für die lokalen Behörden (und auch für Privatpersonen) gegen Bezahlung durch und berät diese betreffend Auffindung hochbelasteter Gebäude und entsprechender Gegenmaßnahmen. Alle Meßwerte werden in Datenbanken gespeichert inkl. aller notwendigen Zusatzinformationen wie Koordinaten, geologische Daten, Hauskonstruktion u.s.w. sowie alle eventuell durchgeführten Sanierungsmaßnahmen. Mittels dieser Datenbank können Modelle erarbeitet werden, die zur Prognose der Radonbelastung bei der Erschließung neuer Baugründe verwendet werden können. Neben den Messungen der Radonbelastung in der Luft wird auch das Wasser auf natürliche Radionuklide untersucht. Man nimmt jedoch an, daß erst ab einem Radongehalt von einigen kBq/l Wasser dies für die Atemluftkonzentration von Bedeutung ist.

Eine epidemiologische Studie mit 400 Fällen wurde 1990 durchgeführt. Das Ergebnis ist jedoch nicht zufriedenstellend, da die Statistik sich als nicht ausreichend erwiesen hat [E. Ruosteenoja , 1991].

Schweden:

In Schweden wurden seit 1928 Häuser aus Gasbeton (Ausgangsmaterial: Alaunschiefer) erzeugt. Es war schon damals bekannt, daß der Beton einen hohen Urangehalt aufwies, allerdings wurde erst während der Fünfzigerjahre seine Eignung als Baumaterial angezweifelt. In den frühen Siebzigerjahren wurden hohe Radonkonzentrationen in Gasbetonhäusern gemessen und Messungen des Schwedischen Strahlenschutzinstitutes (SSI) zeigten, daß die Radonkonzentration mit der Einführung von Energiesparmaßnahmen (Abdichten und geringere Ventilation) anstiegen. Im Jahr 1978 wurden aber auch hohe Werte in Häusern aus normalem Baumaterial gefunden. Am

1. Feb 1979 ist von der Schwedischen Regierung eine Kommission eingesetzt worden, um Möglichkeiten zur Reduktion der Strahlenbelastung in Häusern zu untersuchen und die Forschung um diesen Fragenkomplex zu intensivieren. In dieser Kommission waren Experten von SSI, der Behörde für Stadtplanung, der Bauindustrie, des "Geological Surveys" (eine Art verstaatlichter Forschungsanstalt für Geologie) und der Vereinigung Schwedischer Lokalbehörden vertreten. Bereits am 30. Mai 1979 (!) ist ein vorläufiger Bericht fertiggestellt worden, der provisorische Grenzwerte für die maximale Radonfolgeproduktkonzentration in Luft, für die maximale ^{226}Ra -Konzentrationen in Baumaterialien und einer entsprechenden Gammadosisleistung enthielt. Es wurde gefordert, daß die Forschung auf dem Gebiet der Radonproblematik intensiviert werde, hochbelastete Häuser zu suchen sind, und daß die Erstellung von Landkarten in Angriff genommen werden soll, die Verteilung von höher radioaktiven Gesteinen und Böden (z.B. Alaunschiefer, uranreiche Granite, Pegmatite) zeigen sollten.

Das erste landesweite Programm war die Suche nach den "Radonhäusern", die im Februar 1979 begann. Ursprünglich suchte man nach jenen Häusern, die aus dem hochaktiven Gasbeton gebaut worden waren. Im Jahr 1982 entdeckte man jedoch, daß Radon aus dem Boden das eigentlich größere Problem darstellt. Damit hat sich die Arbeit auf jene Häuser verlegt, die aufgrund von hoher Radonkonzentration im Boden hohe Werte in der Innenluft zeigen. Für die Suche waren die lokalen Gesundheitsbehörden zuständig. Ursprünglich wurde die Gammastrahlung mittels Szintillationshandgeräten oder durch Szintillationsmessungen vom Auto aus gemessen. Damit konnte eine effektive Kontrolle von etwa 600 bis 1.000 Häusern pro Tag auf erhöhte Gammastrahlung mittels Messung der Außenwände gewährleistet werden. Bei Häusern mit hoher Aktivität wurde ein Meßprogramm für Radontöchter in der Innenluft durchgeführt. Bis 1981 wurden bereits etwa 20.000 Häuser auf Radontöchter vermessen.

Der "Geological Survey" erstellte sogenannte "Geo-Radioaktivitätskarten", die auf der Geologie, auf Radioaktivitätsmessungen

aus der Luft und auf Gammamessungen am Boden basierten. 1980 waren bereits 450 Karten im Maßstab 1 : 50.000 produziert, die etwa 55% des schwedischen Staatsgebietes abdeckten. Die Gebiete mit Alaunschiefer sowie Graniten und Pegmatiten mit hohem Uran und/oder Thoriumgehalt waren jedoch vollständig erfaßt.

Im Zusammenhang mit der Forderung nach dem Bau "radonsicherer Häuser" sind im Prinzip zwei Alternativen denkbar - einerseits Bau von Häusern, die gegen den Eintritt von Radon völlig abgekapselt sind, andererseits aber Untersuchung des Untergrundes hinsichtlich der überhaupt vorhandenen Möglichkeit für erhöhte Radioaktivitäten und entsprechende Abstimmung der Bauweise. Der letztere Weg wird als der ökonomischere angesehen. "Geological Survey" führte daher nach geologischen Untersuchungen Bodengasmessungen mit verschiedenen Methoden durch, um kleinräumig das Radonrisiko abzuschätzen (Einzelheiten siehe [G. Akerblom et al., 1988]). Der erwähnte Report behandelt sowohl Theorie als auch Praxis und ist auch als Anleitung für damit befaßte Personen gedacht. Das SSI führte Kurse u.a. zum Thema "Bodenradon" und "Radonmessung in Luft" durch.

Einem Auftrag der Regierung folgend wurde in Schweden im Jahr 1988 eine radonepidemiologische Untersuchung beschlossen. Die Projektgruppe besteht aus Repräsentanten des Staatlichen Umweltmedizinischen Laboratoriums, der Sozialbehörde, dem Strahlenschutzinstitut, Experten der Bautechnik und Geologie. Die Arbeit wird ausgeführt vom Staatlichen Umweltmedizinischen Laboratorium, der arbeitsmedizinischen Abteilung des Regionalkrankenhauses in Linköping und dem Onkologiezentrum in Umea. Die Kosten betragen etwa 10 Millionen Kronen (etwa 20 Mio.S), wobei das Strahlenschutzinstitut etwa 5 Mio. Kronen trägt. Die Arbeiten dauern etwa 5 Jahre. Es sollen etwa 1.500 Lungenkrebsfälle und 3.000 Kontrollfälle untersucht werden. [Stralskyddsnytt 8, nr2, 1988, p 1]

Eine ausführliche Arbeit über die Konzentration von ^{222}Rn (und ^{226}Ra) in Trinkwasser wurde vom SSI ebenfalls durchgeführt,

wobei eine Einteilung nach der Art des Wasservorkommens und der Anzahl der damit versorgten Personen getroffen wurde. [J. Kulich et al., 1988].

Die Arbeit hinsichtlich Auffinden der "Radonhäuser", Effizienz der Gegenmaßnahmen, Planung etc. im Zusammenhang mit dem Radonproblem wird auch selbstkritisch unter die Lupe genommen. 1987 erschien ein Bericht [SSI-rapport, 1987] gemeinsam verfaßt vom SSI, der Sozialbehörde und der Staatlichen Planungsbehörde. Außer einer sehr ausführlichen, kritischen Beleuchtung der bisherigen Maßnahmen sind auch Vorschläge zur Verbesserung enthalten.

Norwegen:

Durch Vorarbeiten zu Anfang der Achtzigerjahre wurde 1985 eine Fachgruppe gebildet, die Ende 1986 mit 1 Million Nkr mit einer epidemiologischen Studie begann. 1988 wurden weitere 175.000 Nkr bewilligt. Insgesamt wurden zwischen Jänner 1987 und Mai 1989 etwa 7.500 Messungen in Wohnungen, gewichtet nach der Bevölkerungsdichte, im ganzen Land durchgeführt. Zur Messung wurden Track-Etch-Detektoren herangezogen, die Auswertung erfolgte durch das NRPB in Großbritannien. Die Auswahl der Wohnungen erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Statistischen Zentralbureau. Eine Grobeinteilung bei der Auswahl und der Auswertung wurde durch die Einteilung nach Gemeinden gegeben. Die Meßergebnisse sind publiziert [T. Strand et al. 1991], der vom "Krebsregister" durchgeführte epidemiologische Teil soll in Kürze ebenfalls publiziert werden.

Großbritannien:

Eine Anfangsstudie mit etwa 3.000 Messungen - z.T. von der EG finanziert - wurde durchgeführt [Wrixon, A.D. et al., 1988]. Sie hatte die Aufgabe, einen angenäherten nationalen Durchschnitt zu finden und Gebiete mit hohen Konzentrationen zu identifizieren. Die Arbeit in den höher belasteten Gebieten dauert noch an; das Ziel ist, sie in einem Raster von 5 km zu kartieren, für den Rest des UK wird ein Raster von 10 km angestrebt. (Besonders Cornwall und Devon zeigen erhöhte Konzentrationen.)

Auf Anforderung können Hausbesitzer ihre Häuser ausmessen lassen, wobei in Risikogebieten das Service kostenlos ist. In Devon und Cornwall wurden im März 1991 sogar sämtliche Haushalte angeschrieben. In den Broschüren wurde Aufklärung über Radon gegeben und eine Gratisuntersuchung durch NRPB explizit angeboten. Bis September 1991 hatten 11% der Hausbesitzer geantwortet und es waren 30.000 Resultate dieser Aktion bereits verfügbar - bis März 1992 werden es mindestens 70.000 sein.

Bis September 1991 waren insgesamt über 58.000 Meßdaten vorhanden, bis März 1992 werden es etwa 103.000 sein.

Das NRPB ist in ein extensives Programm der EG eingebunden, bei dem die Faktoren, die Radonkonzentration in der Raumluft bestimmen, untersucht werden bzw. die Effektivität von Gegenmaßnahmen geprüft wird. Ein Teil dieser Untersuchungen, nämlich das Radonpotential zu kartieren [NRPB, Natural Radiation-Magnitudes, 1989], ist ein gemeinsames Projekt mit dem British Geological Survey, wobei Daten von Radonkonzentrationen in Gebäuden, Bodenradonwerte als auch geologische Informationen benutzt werden sollen wie z.B. Urankonzentration und Permeabilität [Green, B.M.R. et al., 1991].

British Geological Survey hat bereits viele geologische Aspekte des Radonproblems sowohl theoretisch als auch durch Messungen bearbeitet. [Ball, T.K. et al., 1991]

Irland:

Es existiert ein ausgedehntes Programm über Bodengasmessungen und Bodenanalysen eine nationale Radonpotentialkarte zu erstellen.

Niederlande:

Es werden Modellstudien über Transportwege in verschiedenen Gebäudetypen durchgeführt.

Belgien:

In einem groß angelegten Programm werden Schulen und öffentliche Gebäude landesweit bezüglich der Innenraumradonkonzentration untersucht.

Frankreich:

Eine kombinierte nationale und regionale Studie soll zur Identifizierung von Gebieten mit stark erhöhten Rn-Werten dienen. So sind etwa in der Bretagne Werte von mehrerer kBq/m³ in Gebäuden nachgewiesen worden.

Portugal:

Es existiert das Projekt einer nationalen Radonstudie, bei der geplant ist, etwa im Mittel eine Radonmessung pro 2.000 Einwohner durchzuführen. Bisher wurden mehr als 3.000 Häuser untersucht.

Spanien:

Die Radonkonzentration in der Atemluft wird schwerpunktmäßig in Großstädten (Madrid, Barcelona - bisher etwa 500 Gebäude) untersucht.

Griechenland:

Eine landesweite Studie über die Belastung in Radonkurorten wird durchgeführt.

Bulgarien:

Es existiert eine Studie über erhöhten Radongehalt in Gebäuden aufgrund der Verwendung von Ra-kontaminiertem Abraum-Haldenmaterial als Baumaterial.

Polen:

Radonkurorte werden hinsichtlich der beruflichen Belastung des Personals untersucht (es wurden Belastungen bis über 30 WL festgestellt).

4.3. Radon-Programme außerhalb Europas**USA:**

Das weltweit größte Radon-Programm wird derzeit in den Vereinigten Staaten durchgeführt. Die Untersuchungen werden vom Department of Energy, Office of Health and Environmental Research (DOE/OHER) finanziert, wobei seit etwa 1987 jährlich mehrere Millionen US\$ dafür bereitgestellt werden. So wurden etwa für 1989 und 1990 etwa 13 Millionen US\$ in diese Arbeiten investiert. Zusätzlich laufen Radonprogramme betreffend Militärstützpunkte und diplomatische Botschaften. Die Aktivitäten werden jährlich in Berichten, herausgegeben vom DOE/OHER, publiziert [Radon Research Program FY 89; FY 90, DOE, Washington, A.V. Nero et al., 1990]. Aus diesen Jahresberichten können die Literaturzitate zu den entsprechenden Forschungsergebnissen entnommen werden. Daneben ist aber auch vor allem auf die Publikationen des National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) [NCRP 1984, 1988, 1989] und des National Research Council [BEIR 1980, 1988] hinzuweisen. Die Arbeiten in den USA umfassen nahezu alle Problemkreise, beginnend vom nachweislich erhöhten Lungenkrebsrisiko von Uranbergarbeitern [Intern. Conf., 1981, A.S. Whittemore et al. 1983], über epidemiologische Studien [C.T. Hess, 1983, H.E. Wichmann, 1991] bis zu möglichen Hormesiseffekten [B.L. Cohen 1986, 1987, 1989].

Kanada:

In Kanada wurden ähnlich wie in den USA schon frühzeitig Untersuchungen bezüglich des Lungenkrebsrisikos von Bergarbeitern durchgeführt [Proc. Int. Conf. 1985].

VR China:

Ein äußerst umfangreiches Radon-Programm wird dzt. in der VR China durchgeführt, wobei das Ministerium für Gesundheit und Umweltschutz (Beijing) ausgewählte Populationen mit erhöhter Radonexposition in den Provinzen Gansu und Jianxi auf deren Lungenkrebsrisiko untersucht (in Kooperation mit der Universität Salzburg).

Weitere Radonstudien:

In den folgenden Ländern werden Radonstudien unterschiedlichen Umfangs durchgeführt (ohne Anspruch auf Vollständigkeit): Ägypten, Algerien, Brasilien, Indien, Japan, Mexiko, Peru, Kuwait, Saudi-Arabien, Türkei.

4.4. Internationale Programme

Im Rahmen der Vereinten Nationen wurden bereits viele Arbeiten hinsichtlich der Belastung der Bevölkerung und des daraus resultierenden Lungenkrebsrisikos getätigt [UNSCEAR 1986, 1989]. Derzeit wird von der International Atomic Energy Agency ein internationales Forschungsprogramm namens "Radon in the Human Environment" durchgeführt.

Natürlich hat auch die ICRP das Problem Radon und Lungenkrebsrisiko untersucht. Insbesondere hat sie die Einbeziehung der natürlichen Belastung in alle Dosisberechnungen empfohlen [ICRP, 1984 und 1987].

Von der Europäischen Gemeinschaft existiert ein Strahlenschutzprogramm, das sich ebenfalls mit dem Problem Radon befaßt. Gemeinsam mit dem DOE/OHER wurde u.a. das Problem der Epidemiologie diskutiert [CONF 1989].

Aus Großbritannien, vom National Radiation Protection Board, stammt ein internationaler Strahlenatlas, der die Radonbelastung für die verschiedenen Verwaltungsbezirke der einzelnen Länder zusammenfaßt und mittelt [NRPB 1991]. Da aus vielen Ländern (u.a. auch Österreich) die Daten nur relativ unvollständig vorliegen, sind die in diesem Atlas angeführten Daten nicht in allen Fällen repräsentativ für das jeweils angegebene Gebiet.

4.5. Vergleich internationaler Radon Richtwerte

Von verschiedenen Ländern, nationalen und internationalen Organisationen sind Grenzwerte der Radonbelastung in Gebäuden festgelegt worden. Zumeist wird zwischen bereits existierenden und neu zu errichtenden Bauwerken unterschieden. Für erstere wird zumeist eine Interventionsgrenze (action level) festgelegt, d.h. überschreitet die mittlere Radonkonzentration in einem bestehenden Gebäude diesen Grenzwert, so müssen Sanierungsmaßnahmen gesetzt werden. Im allgemeinen haben sich dabei Maßnahmen, die das Eindringen von Radon in das Luftvolumen der Gebäude verhindern (Kellerbodenabdichtung, Wandanstriche etc.) gegenüber jenen, die Radon aus der Luft entfernen (Ventilationen, Filterung etc.), überlegen erwiesen. Für Neubauten wird zumeist ein strengerer oberer Grenzwert (upper bound) der zulässigen Radonkonzentration angegeben. Die in Tabelle 7 angegebenen Werte sind zumeist Richtwerte für die äquivalente Radonaktivitätskonzentration (EER) und haben in den meisten Fällen keine legislative Grundlage. Die Werte werden laufend geändert und betreffen teilweise Radon und teilweise Folgeprodukte. Sie sind daher insgesamt nur als Richtwerte anzusehen.

Land	Interventionsgrenze in Bq/m ³	Neubaugrenzwert in Bq/m ³	Bemerkungen
Australien	200		Kein Neubaugrenzwert vorgesehen
CSFR	200	200	zu kombinieren mit Gamma Dosis
VR China	200	100	geplante Werte
Dänemark			Skand. Werte anwendbar
Deutschland	250	250	
Finnland	800	200	Radon Gas
Frankreich			EG Werte anwendbar
Großbritannien	200 (400)	200 (100)	zusätzliche Empfehlungen
Indien			EPA Werte anwendbar
Irland	200	200	Empfehlung: ALARA
Japan			Entscheidung nach nation. Studie
Kanada	800		langfristig: Außenkonzentration
Luxemburg	250	250	
Norwegen	200	70	60-70 Bq/m ³ ist nation. Mittel
Österreich	12	12	SSVO, gilt nicht f. nat. Strahlung
Schweden	200	70	70 Bq/m ³ wenn einfach erreichbar
Schweiz			in Vorbereitung
Südafrika			in Vorbereitung
USA	150	Außenwert	
USSR	200	100	Umsiedlung wenn <400 Bq/m ³ nicht erreichbar
EG	400	200	Radon-Gas
EPA (USA)	150	150	
ICRP	400	200	Radon-Gas
NCRP (USA)	370	370	
Skand. Staaten	400	100	
WHO	100	100	

Tabelle 7: Internationaler Vergleich höchstzulässiger (äquivalenter) Radonkonzentrationen.

Es ist ersichtlich, daß zum Teil noch beträchtliche Unterschiede für die Grenzwerte in den einzelnen Ländern existieren. Sogar unter verschiedenen Organisationen ein und desselben Landes bestehen verschiedentlich Unterschiede bezüglich der empfohlenen Maximalwerte. Aus der Tabelle ist jedoch zumindest in der Größenordnung eine Übereinstimmung in den Richtwerten zu erkennen. In manchen Ländern (Österreich: ÖNORM S 5200) wurden auch Richtlinien bezüglich der maximal zulässigen Radioaktivität des zu verwendenden Baumaterials erlassen.

5. Datenbanken

Um in Zukunft die Auswertung der vorhandenen und noch zu erhebenden Meßdaten über Radon in Österreich vielseitig und leistungsfähig durchführen zu können, ist der Aufbau eines entsprechenden Datenbanksystems zweckmäßig. Im Rahmen dieses ersten Projekts waren zunächst primär eine Erhebung über Anforderungen und Möglichkeiten solcher Systeme durchzuführen und Grundsatzentscheidungen über den Aufbau und die Organisation der zukünftigen Datenbank zu fällen. In der Folge wurde mit dem Aufbau eines derartigen Systems begonnen, wobei bereits auch testweise mit der Dateneingabe begonnen werden konnte.

Folgende Hauptforderungen wurden an das zu schaffende Datenbanksystem gestellt:

a) Kompatibilität: Da eine Vielzahl von verschiedenen Quellen für die vorhandenen und zukünftig erhobenen Daten herangezogen werden soll, ist ein möglichst weitverbreitetes System zweckmäßig, das an vielen Institutionen bedient werden kann. Da heute bereits an vielen Stellen Datenbanksysteme im Einsatz sind, ist es jedenfalls anzustreben, die Daten aus den vorhandenen Systemen direkt zu übernehmen. Ebenso soll natürlich eine Auswertung der gespeicherten Daten in externen Rechnersystemen möglichst einfach sein.

b) Möglichst weitgehende Sicherheit und Komfort bei der Dateneingabe. Dazu ist die Erstellung von leistungsfähigen Eingabeprogrammen erforderlich, die einfach zu bedienen sind und Eingabebefehle soweit wie möglich abfangen (Menueunterstützung, Abfrage auf Gültigkeit der eingegebenen Werte). Ebenso sollten die Kontrolle und Sichtung der eingegebenen Daten einfach möglich sein.

5.1. Hard- und Software

Für die zu schaffenden Datenbanken wurden als Basis IBM-kompatible PCs und die Datenbanksoftware dBase IV festgelegt. Diese Auswahl stellt im Datenbankbereich einen Quasi-Standard dar, der weitverbreitet ist und auch von fast allen fremden Systemen unterstützt wird. Da an den meisten Institutionen, die an dem Projekt mitarbeiten, Erfahrungen mit diesem System vorhanden sind, sind optimale Voraussetzungen für die problemlose Eingabe bzw. Übernahme von Daten gegeben.

5.2. Aufbau und Merkmale der Datenbanken

Zu den beiden bestehenden Datenbanken (Aerospektrometrie und Geochemischer Atlas) wurde der Aufbau von zwei weiteren Datenbanken festgelegt (Radon und Radium im Wasser sowie Radon in der Luft).

Die bereits bestehenden Datenbanken werden nur durch Beispielausdrucke und entsprechenden Kurzinformationen in den entsprechenden Unterpunkten beschrieben.

Der Aufbau der beiden neuen Datenbanken wurde, soweit möglich, einheitlich gestaltet. Damit ist eine parallele Auswertung beider Datenbanken deutlich vereinfacht. Angesichts der zahlreichen unterschiedlichen Parameter wurde aber eine Zusammenführung aller Daten in eine einzige Bank als nicht sinnvoll erachtet.

Als "Grundeinheit" für Herkunftsangaben sind in den neuen Datenbanken der Name der Ortschaft und - sofern vorhanden - die

geographischen Koordinaten vorgesehen. Die Kennzeichnung der Ortschaft erfolgt durch den Ortsnamen und eine Gemeindenummer nach dem System des Österreichischen Statistischen Zentralamtes. Darin ist jeder Gemeinde eine eindeutige 5-stellige Nummer zugeordnet, in der auch Bundesland und politischer Bezirk codiert sind. Über die Gemeindenummern ist für graphische Auswertungen die Umrechnung in Lagekoordinaten einfach möglich. Parallel dazu ist auch eine Eingabe gemäß österreichischem Bundesmeldenetz geplant. Die Koordinaten können im Gauß-Krüger-System als auch in Grad und Minuten eingegeben werden. Die Umrechnung ist sowohl innerhalb der Datenbank als auch durch die in Frage kommenden Graphikprogramme möglich.

Die Meßwerte werden in den verschiedenen, von den Autoren verwendeten Einheiten eingegeben. Zwecks einfacher Auswertung werden bei der Sichtung der Daten generell alle Werte in die gültigen SI-Einheiten umgerechnet und separat gespeichert.

In jedem Datensatz ist die Ursprungsliteratur entweder als volles Zitat oder als Code gespeichert.

5.2.1. Aerospektrometrie

Die Aerogammaspektrometerdaten sind nicht als dBASE-Datei gespeichert, können aber auf verschiedenen Datenträgern (z. B.: 9-Spurmagnetbänder, Syquestcartridges, Disketten) zur Verfügung gestellt werden. Tabelle 8 zeigt einen Beispielausdruck.

x	y	DL [$\mu\text{R}/\text{h}$]	Ur [ppm]	Th [ppm]
122301.0	5401355.0	7.9	1.4	9.7
122094.0	5401409.0	7.9	2.4	9.2
121887.0	5401463.0	6.6	1.5	8.4
121680.0	5401516.0	5.2	1.7	7.0
121473.0	5401570.0	5.3	1.9	6.8
121224.0	5401635.0	4.6	0.5	7.0
121017.0	5401689.0	4.7	0.4	7.1
120727.0	5401764.0	5.4	0.3	7.7
.....

Tabelle 8: Beispiel-Ausdruck der Aerospektrometrie

5.2.2. Geochemischer Atlas

Der geochemische Atlas ist als dBASE Datei gespeichert. In Tabelle 9 findet sich dazu ein Beispielausdruck und in Tabelle 10 die dazugehörige Legende der dBASE Datei.

BLATT_NR	PKT_NR	RECHTS_WER	HOCH_WERT	K_CODE	K	TH_CODE	TH	U_CODE	U
1	11000	952660	5430100	6	2806099	6	-1000	6	1280
1	11001	952770	5431230	6	2498190	6	2350	6	-500
1	11003	953430	5431300	6	2362969	6	3110	6	-500
1	11004	954740	5431490	6	2129109	6	1640	6	630
1	11005	955850	5431300	6	1849640	6	3010	6	-500
1	11006	956230	5431560	6	2960440	6	2090	6	-500
1	11007	955070	5430660	6	2852309	6	1930	6	-500
1	11008	955160	5430600	6	2845989	6	2850	6	-500
3	31001	790780	5402120	6	2172379	6	3570	6	-500
3	31002	790800	5402050	6	2328199	6	2260	6	-500
3	31004	790210	5401870	6	2625180	6	2110	6	560
3	31005	790050	5401760	6	2403879	6	2590	6	-500
3	31006	787010	5402750	6	3515220	6	2540	6	1030
3	38003	790280	5401790	6	2718219	6	3430	6	-500
3	38007	786980	5402890	6	3291400	6	2220	6	-500
.....

Tabelle 9: Beispielausdruck des geochemischen Atlas

Feld	Feldname	Typ	Länge	Index	Beschreibung
1	BLATT_NR	Numerisch	3	N	Blattnummer DK-50.000
2	PKT_NR	Numerisch	4	N	Probenpunktnummer
3	RECHTS_WER	Numerisch	7	N	Rechtswert (Militärkoord.)
4	HOCH_WERT	Numerisch	7	N	Hochwert (Militärkoord.)
5	K_CODE	Zeichen	2	N	Code für Analysenmethode
6	K	Numerisch	8	N	Analysenwert in [ppm/100]
7	TH_CODE	Zeichen	2	N	Code für Analysenmethode
8	TH	Numerisch	8	N	Analysenwert in [ppm/100]
9	U_CODE	Zeichen	2	N	Code für Analysenmethode
10	U	Numerisch	8	N	Analysenwert in [ppm/100]
** Gesamt **			52		

Tabelle 10: dBASE Felder und deren Beschreibung:

Negative Analysenwerte bedeuten, daß das Meßergebnis an oder unterhalb der Nachweisgrenze der jeweiligen Analysemethode liegt.

5.2.3. Radonmessungen in Wasser ("RNWASSER")

Diese Datenbank umfaßt ^{222}Rn -Messungen an Wässern aller Art, (Quellen, Brunnen, Oberflächenwasser, Trinkwasser usw.). Zusätzlich sind auch zugleich durchgeführte ^{226}Ra -Bestimmungen sowie Messungen des Radongehalts in Quellgasen erfaßt worden. Zur Charakterisierung der Probe werden neben Name und Herkunft auch die Art und Verwendung des Wassers herangezogen, weiters (sofern vorhanden) Wassertemperatur, Quellschüttung sowie die Anzahl der mit diesem Wasser versorgten Personen. (Als Basis dient vor allem eine umfangreiche Datenbank des Radiuminstituts, die Literatur ab dem Beginn dieses Jahrhunderts umfaßt.) Tabelle 11 zeigt das Datensatzformat.

Feld	Feldname	Typ	Länge	Dez.	Beschreibung
1	LAUFNR	Numerisch	5		lfd. Nr.
2	PRZ	Zeichen	20		Probenzeichen
3	NAME	Zeichen	28		Name
4	ALTNAME	Zeichen	28		ehemal. oder anderer Name
5	ART	Zeichen	1		Art des Vorkommens
6	VERWEND	Zeichen	1		Art der Verwendung
7	TYP	Zeichen	20		Zustand, Ort d. Probenahme
8	ORT	Zeichen	30		Ort
9	POLBEZ	Zeichen	15		politischer Bezirk
10	LAND	Zeichen	2		Bundesland
11	GEMNR	Zeichen	5		Gemeindenummer
12	SEEHOEHE	Numerisch	4		Seehöhe
13	RASTER	Numerisch	3		Blatt der ÖK 1:50.000
14	MERID	Numerisch	1		Gauß-Krüger Meridian
15	KOORDX	Numerisch	6	1	W-E-Koordinaten
16	KOORDY	Numerisch	6	1	N-S-Koordinaten
17	PERSPROZ	Numerisch	2		% von versorgten Personen
18	PERSGES	Numerisch	7		versorgte Personen
19	ANMERK	Zeichen	30		Anmerkungen
20	TAG	Numerisch	2		Tag der Messung
21	MONAT	Numerisch	2		Monat der Messung
22	JAHR	Numerisch	2		Jahr der Messung
23	TEMPERA	Numerisch	4	1	Temperatur
24	SCHUETT	Numerisch	6	2	Schüttung
25	SCHTTEIN	Zeichen	8		Einheiten für Schüttung
26	LIT	Zeichen	70		Literaturzitat
27	RAWZAHL	Numerisch	9	3	Ra-Konzentration, original
28	RAWBQ	Zeichen	9		Ra-Konzentration in SI
29	RAWEINH	Zeichen	8		Einheiten für Ra-Konzentr.
30	RAWMETH	Zeichen	10		Methode der Ra-Bestimmung
31	RNWZAHL	Numerisch	9	3	Rn-Konzentration im Wasser
32	RNWEINH	Zeichen	8		Einheiten für Rn-Konzentr.
33	RNWBQ	Zeichen	9		Rn-Konzentration in SI
34	RNWMETH	Zeichen	10		Methode der Rn-Bestimmung
35	RNLZAHL	Numerisch	9	3	Rn-Konzentration im Gas
36	RNLEINH	Zeichen	8		Einheiten für Rn-Konzentr.
37	RNLBQ	Zeichen	9		Rn-Konzentration in SI
38	RNLMETH	Zeichen	10		Methode der Rn-Bestimmung
39	KOMMENT	Zeichen	40		Kommentar 1
40	KOMM	Memo	10		Kommentar 2
41	EINGEBER	Zeichen	2		Code des Eingebers
** Gesamt **			469		

Tabelle 11: Datensatzformat der dB-Datei RNWASSER.DBF

Feld	Feldname	Typ	Länge	Dez.	Beschreibung
1	LAUFNR	Numerisch	5		lfd. Nummer
2	PRZ	Zeichen	20		Probenzeichen
3	ORT	Zeichen	30		Ort
4	POLBEZ	Zeichen	15		politischer Bezirk
5	LAND	Zeichen	2		Bundesland
6	GEMNR	Zeichen	5		Gemeindenummer
7	SEEHOEHE	Numerisch	4		Seehöhe
8	RASTER	Numerisch	3		Blatt der K 1:50.000
9	MERID	Numerisch	1		Gauß-Krüger Meridian
10	KOORDX	Numerisch	6	1	W-E-Koordinaten
11	KOORDY	Numerisch	6	1	N-S-Koordinaten
12	ANMERK	Zeichen	30		Anmerkung
13	HAUSLAGE	Zeichen	1		Hauslage
14	HAUSTYP	Zeichen	1		Haustyp
15	GESETAGE	Numerisch	2		Anzahl der Stockwerke
16	KELLMAT	Zeichen	6		Gebäudecharakterisierung
17	KELLDICH	Zeichen	8		Gebäudecharakterisierung
18	HAUSJAHR	Numerisch	4		Gebäudecharakterisierung
19	UNTERGR	Zeichen	3		Gebäudecharakterisierung
20	HAUSMAT	Zeichen	6		Gebäudecharakterisierung
21	MESSRAUM	Zeichen	1		Gebäudecharakterisierung
22	UNTKELL	Zeichen	1		Gebäudecharakterisierung
23	DECKKONS	Zeichen	6		Gebäudecharakterisierung
24	ETAGE	Numerisch	2		Gebäudecharakterisierung
25	WOHNMAT	Zeichen	6		Gebäudecharakterisierung
26	FENSNDICH	Zeichen	1		Gebäudecharakterisierung
27	LUEFT	Zeichen	1		Gebäudecharakterisierung
28	VENTIL	Zeichen	1		Gebäudecharakterisierung
29	OFFEN	Zeichen	1		Gebäudecharakterisierung
30	LIT	Zeichen	6		Literaturzitat codiert
31	RNLDATA	Datum	8		Beginn der Rn-Messung
32	RNLDATE	Datum	8		Ende der Rn-Messung
33	DOSDATA	Datum	8		Beginn der Dosismessung
34	DOSDATE	Datum	8		Ende der Dosismessung
35	RNLEEC	Zeichen	1		Radonäquivalentkonz.
36	RNLZAHL	Numerisch	9	3	Rn-Konzentration, original
37	RNLEINH	Zeichen	8		Einheit der Rn-Konzentr.
38	RNLBQ	Zeichen	9		Rn-Konzentration in SI
39	RNLMETH	Zeichen	10		Meßmethode
40	RNLUNS	Numerisch	4	1	Unsicherheit in %
41	DOSZAHL	Numerisch	9	3	Dosisleistung
42	DOSMETH	Zeichen	10		Methode Dosisl.-Messung
43	KOMMENT	Zeichen	40		Kommentar 1
44	KOMM	Memo	10		Kommentar 2
45	EINGEBER	Zeichen	2		Code des Eingebers
** Gesamt **			334		

Tabelle 12: Datensatzformat der dB-Datei RNLUFT.DBF

5.2.4. Radonmessungen in Luft ("RNLUFT"):

Die Datenbank ist konzipiert für ^{222}Rn -Messungen in der Raumluft und für Messungen der externen Dosisleistung in Gebäuden. Die Probenbeschreibung umfaßt neben der Ortsangabe Daten über Lage, Größe und Aufbau des Hauses und über wesentliche Parameter der untersuchten Räume wie z.B. Fenster, Ventilation und Unterkellerung. Als Ergebnisse können sowohl die Messung des Radons selbst als auch die Bestimmung der Tochterprodukte berücksichtigt werden. Im letzteren Fall wird eine Gleichgewichtsäquivalentkonzentration des Radons berechnet und dies entsprechend vermerkt. Tabelle 12 beinhaltet das Datensatzformat.

5.3. Auswertung der Daten und graphische Umsetzung

Das Datenbanksystem soll eine komfortable Erstellung von einfachen Auswertungen (Listen und Übersichten von Ergebnissen anhand von vorzugebenden Kriterien) ermöglichen. Die entsprechenden Routinen können entsprechend den noch zu definierenden Anforderungen in relativ kurzer Zeit erstellt werden.

Für die graphische Auswertungen der Daten gibt es zwei Bereiche:

a) Das Erstellen von graphischen Statistiken (Balkendiagramme u.a.) ist mit zahlreichen, allgemein verbreiteten PC-Programmen einfach möglich. Die Übergabe von ausgewählten Daten aus der Datenbank an diese Programme bietet absehbar keinerlei Probleme.

b) Die Kombination der Daten mit geographischen Informationen (Erstellen von Landkarten, die regionale Verteilung der Werte zeigen) erfordert den Einsatz von eher aufwendigen Programmen. Hierbei wäre heute nicht mehr die Rechenkapazität der PCs begrenzend, vielmehr erfordert die Bedienung und die Betreuung derartiger sehr komplexer Programme (und auch der großen Datenmenge) einen beträchtlichen personellen Aufwand, der nur bei entsprechen-

der Auslastung gerechtfertigt ist. Im Rahmen dieses Projekts erscheint es sinnvoll, geographische Auswertungen an entsprechend ausgerüsteten Institutionen durchführen zu lassen. Unter anderem kommt dafür das Forschungszentrum Seibersdorf in Betracht, das über ein geographisches Informationssystem verfügen, mit dem routinemäßig derartige Auswertungen durchgeführt werden: die Übernahme von PC-Daten ist keine Schwierigkeit.

6. Zusammenfassung und Folgerungen

Nach Sichtung aller in Österreich verfügbarer Meßdaten muß festgestellt werden, daß damit eine Abschätzung der Radonbelastung der Bevölkerung nicht möglich ist. Es gibt jedoch in Österreich eine Reihe von Messungen und Untersuchungen, die zur Planung und bei einer eventuellen Durchführung einer bundesweiten Studie herangezogen werden können. Eine derartige Studie erscheint dringend notwendig, da die Existenz von Risikogebieten schon durch die wenigen, unsystematisch durchgeführten Messungen nachgewiesen wurde. Da die in ganz Österreich gemessenen Werte der Radonkonzentration in Innenräumen erhebliche Unterschiede zeigen, ist eine flächendeckende Erfassung aller relevanten Daten zur Ermittlung der Gesamtbevölkerungsbelastung nötig.

Die vorhandenen Daten umfassen Radonmessungen in Gebäuden, Bodengasen und Wasser, Messungen der Folgeprodukte von Radon und Thoron, Gammadosisleistungsmessungen am Boden und von der Luft aus, geologische Untersuchungen des Untergrundes, chemische Analysen von Bodenproben, Gesteinsproben und Bachsedimenten sowie Uran- und Thoriumkonzentrationsbestimmungen im Boden von der Luft aus. Außer der Sichtung dieser Daten wurde im Zuge dieses Projektes versucht eine exemplarische Datenaufbereitung zur Verwendung in Datenbanken zu erarbeiten, die dazu dienen soll, in Zukunft alle Daten mittels EDV zu erfassen. Erschwerend sind in diesem Zusammenhang die völlig unterschiedlichen Strukturen der Daten, die sich in sehr unterschiedlichen Bedürfnissen betreffend die zu verwendenden Datenbanken manifestieren. Außerdem liegen den Daten unterschiedliche Bezugssysteme zugrunde (Bundesmeldenetz, geographische Koordinaten, Gauß-Krüger Koordinaten, Militärkoordinaten, Gemeindenummernverzeichnis) und bei den verschiedenen Studien sind nicht die gleichen zusätzlichen Informationen (z.B. Baumaterial des Hauses, Stockwerke, Unterkellerung etc.) erfaßt worden, sodaß eine Korrelation mit solchen Parametern nicht möglich ist. Da bei der Durchführung einer großflächigen Studie solche Parameter von Wichtigkeit sind, ist die Erarbeitung entsprechende Fragebögen notwendig. Solche wurden intern auch be-

reits erstellt und diskutiert, wobei jedoch derzeit noch keine endgültige Empfehlung möglich ist.

Um eine vollständige Erfassung der Radonbelastung in Österreich gezielt und effizient durchzuführen, bedarf es der Zusammenarbeit aller in Österreich mit dieser Problematik vertrauten Organisationen.

Als erstes sollte eine vollständige und systematische Aufarbeitung aller vorhandenen Daten (Datenbanken, Softwareentwicklung) erfolgen. Als Grundlage bieten sich das Österreichische Meldernetz und die Gemeindefnummern gemäß der Erfassung durch das statistische Zentralamt an. So könnte durch eine systematische Erfassung aller in Frage kommender Daten geklärt werden, welche Parameter für die Radonbelastung von besonderer Relevanz sind. In Verbindung mit der jeweiligen Bevölkerungsdichte sollte sodann eine Optimierung betreffend die Kombination der zu verwendenden Untersuchungsmethoden vorgenommen werden. Es können jedoch bereits jetzt gewisse Richtlinien vorgegeben werden:

Geologische Parameter: Beim geochemischen Atlas sind Böhmisches Massiv und Zentralalpen vollständig erfaßt. Weitere Messungen erscheinen nicht notwendig. Uran- und Thoriumgehalte sind in etwa 9% der Oberfläche durch Flugmessungen bestimmt worden. Weitere Meßflüge, eventuell mit größeren Meßpunktabständen, dürften eine kostengünstige Methode zur Bestimmung des Urangehaltes des Bodens darstellen. Permeabilitätsmessungen des Bodens wurden in Österreich zumindest nicht in größerem Umfang durchgeführt. Diesbezüglich besteht ein Nachholbedarf, da die Permeabilität zu den wichtigsten Parametern betreffend die Radonbelastung in Bauwerken zählt.

Bodengasmessungen: Soweit bekannt befinden sich eine Reihe von Meßresultaten in Firmenbesitz (BBU). Wie weit diese zugänglich gemacht werden können ist derzeit noch nicht geklärt. Vermutlich sind jedoch weitere Messungen notwendig, da die Radonkonzentration im Bodengas in den allermeisten Fällen die Ursache

erhöhter Radonkonzentrationen in Gebäuden darstellt. Man hat z.B. in der CSFR die Kombination aus Radonkonzentration im Bodengas und Permeabilität des Bodens als entscheidend für die Radonbelastung der Bevölkerung erachtet.

Radon in Wasser: Es gibt österreichweit eine große Anzahl von Daten, nach denen bereits Risikogebiete eingegrenzt werden können, obwohl ein direkter Zusammenhang zwischen Konzentration in Wasser und in Luft nicht besteht. Eine flächendeckende Untersuchung im Mühlviertel wird demnächst durchgeführt. Österreichweit wäre die Erhebung weiterer Daten günstig, die allerdings zum Großteil automatisch anfielen, wenn die Wasserversorgungsunternehmen ihrer Verpflichtung zu Messungen im Rahmen des Trinkwassercodex nachkommen würden.

Radon in der Luft von Gebäuden: Die tatsächlichen Messungen werden sich nach dem Ergebnis der Erhebung der Risikogebiete richten. Bei der Auswahl der Meßdichte und der Auswahl der Ansprechpersonen sollten Statistiker (Biometriker) zu Rate gezogen werden. Bei direkten Messungen der Radonkonzentration in Gebäuden ist auch die überblicksmäßige Verifizierung der Verteilung von Gleichgewichtsfaktoren bzw. Radon-Folgeprodukt-Konzentrationen zur möglichst genauen Abschätzung der Dosisbelastung von Wichtigkeit. Für eine österreichweite Studie erscheint eine anstrebbare mittlere Meßdichte von etwa einer Messung auf 2.000 Einwohner erstrebenswert [Friedmann et al., 1990]. In Begleitung der Messungen müßten Fragebögen zu beantworten sein, die zusätzliche Informationen über Lebensgewohnheiten, Haustyp, Baumaterial, Untergrundmaterial etc. liefern sollen.

Weitere Parameter: Ebenfalls von Interesse wäre die Miterhebung des Thoron-Potentials des Untergrundes und, sofern der Verdacht erhöhter Thoronkonzentrationen besteht, des Thoron-Anteils zur Gesamtbelastung in Innenräumen. Eine bautechnische Kategorisierung aller Gebäude hinsichtlich der Verbindung der Innenraumluft mit der Radongas-Exhalation aus dem Untergrund und zur Beschreibung der vorhandenen Lüftung (Verbindung mit der Au-

ßenluft) erscheint sinnvoll. Aus den gemessenen Unterschieden in den Raumluftradonkonzentrationen zwischen Winter und Sommer ergibt sich die Konsequenz, daß zumindest an einigen Stellen über ein ganzes Jahr hindurch Radonmessungen durchzuführen wären, um auch aus kürzer integrierenden Messungen Jahresdurchschnitte ableiten zu können.

7. Empfehlungen

Es wird empfohlen folgende Maßnahmen einzuleiten:

- 1) Erstellung eines Radonkatasters (Risikokarte) für Österreich;
- 2) Teilnahme an bzw. Durchführung von epidemiologischen Studien betreffend das durch Radon verursachte Krebsrisiko;
- 3) Technische, administrative und legislative Richtlinien zur Verminderung des Radonrisikos zu erstellen.

7.1. Radon-Risikokarte für Österreich

Die Erstellung einer Radon-Risikokarte sollte in mehreren Schritten (Stufen) durchgeführt werden:

1. Stufe: Aufarbeitung aller bereits vorhandenen Daten (vgl. Pkt.3 vorliegenden Berichts). Unter anderem sollten alle derzeit verfügbaren Daten der Aerogammaspektrometrie - ca. 9 % des Bundesgebietes - in der in Punkt 3.3.2 beschriebenen Form bearbeitet werden. Alle Daten müßten sodann in Datenbanken eingebracht werden und Darstellung in entsprechenden geografischen Informationssystemen erlauben.

2.Stufe: Flächendeckende Erfassung der Radonbelastung im ganzen Bundesgebiet, wobei die Wahl der Dichte der durchzuführenden Messungen unter Berücksichtigung von geologischem Untergrund

und Bevölkerungsdichte erfolgen sollte. Außerdem sollten zumindest in Gebieten mit höherer Thoriumkonzentration im Boden auch Thoron- bzw. Thoronzerfallsproduktmessungen durchgeführt werden. Eine Interkalibrierung sämtlicher Meßstellen zur Eingrenzung systematischer Abweichungen untereinander und zur Vereinheitlichung der Auswertung wäre zweckmäßig.

3. Stufe: Hochbelastete und besonders dicht bewohnte Gebiete sollten speziellen Untersuchungen unterzogen werden.

7.2. Epidemiologische Studien

Da ein lineares Dosis-Wirkungsmodell das Radonrisiko, wie es im Niederdosisbereich der natürlichen Strahlung in Österreich besteht, wahrscheinlich überschätzt, ist eine bessere Kenntnis des Radonrisikos in diesem Bereich von größter Bedeutung. Experimentelle Resultate können dazu durch epidemiologische Studien erzielt werden. Man kann zwischen Kohorten- und Case-control-Studien unterscheiden. Derzeit wird bezüglich der Aussagekraft und der Kosten international empfohlen, Case-control-Studien durchzuführen. Wird die unter 7.1. empfohlene Risikokarte erstellt, so sind in Österreich beide Arten der Studien durchführbar, wobei in diesem Fall eine Kohortenstudie nur relativ wenig zusätzlichen (meßtechnischen) Aufwand erfordern würde. Jedenfalls ist zusätzlich eine Case-control-Studie durchzuführen. Könnten alle Kofaktoren, die zu Lungenkrebs führen, genau bestimmt werden, so wäre eine Studie in Österreich ausreichend, um eine entsprechende Abschätzung des Radonrisikos zu erhalten [H. Friedmann, 1990]. Studien in anderen Ländern haben jedoch ergeben, daß ausreichend genaue Bestimmungen dieser Kofaktoren nicht oder nur beschränkt möglich sind. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit solche epidemiologische Studien wesentlich größer anzulegen. Von Seite des hauptverantwortlichen Projektleiters der deutschen epidemiologischen Studie liegt eine Einladung vor, im Falle einer österreichischen Studie diese mit der deutschen Studie zu kombinieren, um bei gleichzeitiger Kostenreduktion die statistische Signifikanz der Aussage zu erhöhen. Es wird empfohlen diese Einladung anzunehmen

und an der deutschen Studie teilzunehmen bzw. entsprechende Kooperationsverhandlungen aufzunehmen.

7.3. Maßnahmen zur Minderung des Radonrisikos

Neben einer Reihe von weiteren Tätigkeiten sollten vor allem die im folgenden genannten Maßnahmen eingeleitet werden:

a) Es sollten Empfehlungen für die Bevölkerung höher belasteter Gebiete erarbeitet werden, damit in bestehenden Häusern das Radonrisiko minimiert werden kann (Lüftung, Anstriche etc.)

b) Es müßten Richtlinien für den Bau von Häusern in Gebieten erhöhten Radonrisikos erarbeitet werden.

c) Alle Wasserversorgungsunternehmen wären zu verpflichten, bei der Untersuchung des Trinkwassers (Erstuntersuchung, Neufassung von Quellen etc.) auch die darin enthaltene Radonkonzentration überprüfen zu lassen, und gegebenenfalls müßten Auflagen erteilt werden, um die Radonkonzentration zu senken.

d) Die Radonexposition von beruflich möglicherweise belasteten Personengruppen sollte genauer untersucht werden.

Literaturverzeichnis

AIGAMDAT: Datenbank von Gammadosisleistungsmessungen durchgeführt vom Atominstitut der Österr. Hochschulen (derzeit unveröffentlicht), Anfragen an M. Tschurlovits, Atominstitut der Österr. Hochschulen, Schüttelstr. 115, A-1020 Wien

Akerblom G. et al.: Radon i bostäder - Markradon (Radon in Wohnungen - Bodenradon), R85:1988

Ball, T.K. et al.: Behaviour of radon in the geological environment: a review, Quarterly Journal of Engineering Geology, 24, 169-182, 1991

Barnet I.(ed.): Radon investigations in Czechoslovakia, Geological Survey, Prague, 1991

BEIR - National Research Council: The effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiation. Report of the BEIR III-Committee. Nat. Academy of Sciences, Washington D.C. 1980

BEIR - National Research Council: Health risks from radon and other internally deposited alpha-emitters. Report of the BEIR IV-Committee. Nat. Academy of Sciences. Washington D.C. 1988

BMI (Bundesministerium des Inneren - Herausgeber): Radon in Wohnungen und im Freien: Erhebungsmessungen in der Bundesrepublik Deutschland, BMI-Bericht, Bonn 1985; siehe auch: Schmier H. et al.: Sci. Total Env. 45 p 307, 1985

Bohicchio F. et al.: First results of the indoor natural radiation survey in Italy, Paper presented at the Conference on the Natural Radiation Environment V, Salzburg, Sept. 1991

Bossew P.: Radium in Mineralwasser, OEI-GAM-28, Oktober 1991

Chmelevsky D., Kellner A.M., Lafuma J., Chameaud J.: Maximum likelihood estimation of the prevalence of nonlethal neoplasms - An application to radon-daughter inhalation studies. Radiat. Res. 91, p 589, 1982

Cohen B.L.: A national survey of radon in homes and correlating factors. Health Phys. 51, p 175, 1986

Cohen B.L.: Test of the linear, no-threshold dose-response relationship for high-LET radiation. Health Phys. 52 No.5, p 629, 1987

Cohen B.L.: An experimental test of the linear, no-threshold theory of radiation carcinogenesis. Preprint 1989

CONF: Proceedings of the International Workshop on Residential Radon Epidemiology. CONF-8907178, 1989

Danzer M.: Untersuchung der Konzentration der Folgeprodukte von Rn-222 in der Luft von Wiener Wohnungen. Diplomarbeit, Atominstitut d. Österr. Hochschulen, 1982

Ennemoser O., Schneider P., Brunner P., Ambach W.: Erhöhte Radonkonzentration in Werkräumen von Schulen, ÖPG Jahrestagung 1991

Ennemoser O, Schneider P., Schöpf T., Ambach W., Brunner P.: Radonkonzentration in Gebäuden der Universität Innsbruck. Berichte d. naturw. Vereins, Innsbruck 1991/92.

Friedmann H.: A portable continuously working radon measurement system, Rad. Prot. Dos. Vol.7, No.1-14, p 181-184, 1984.

Friedmann H., Vonach H.: Diskussion der Voraussetzungen für die Durchführbarkeit einer epidemiologischen Studie der Lungenkrebsmortalität in Abhängigkeit von der Luftkonzentration von Radon- und Folgeprodukten unter Berücksichtigung laufender nationaler und internationaler Projekte. Im Auftrag der Republik Österreich, vertreten durch das Bundeskanzleramt, erstellter Statusbericht, Wien 1990.

Green, B.M.R. et al.: Radon studies in UK homes, Beitrag zu Natural Radiation Environmet V, Salzburg, Sept. 1991

Großkopf A.: Die Strahlenbelastung von Bergleuten im österr. Bergbau durch Inhalation radioaktiver Folgeprodukte des Edelgases Radon. Sichere Arbeit Jahrg.1977, Nr.2, p 14, 1977

Hess C.T., Weiffenbach C.V., Norton S.A.: Environmental radon and cancer correlations in Maine, Health Phys. 45, p 339. 1983

ICRP: Principles for Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation. ICRP Publ. 39, Annals of the ICRP 14 No.1, Pergamon Press, Oxford 1984

ICRP: Lung cancer risk from indoor exposure to radon daughters: ICRP Publ. 50, Annals of the ICRP 17 No.1, Pergamon Press, Oxford 1987

Internat. Conference on Radiation Hazards in Mining, Golden, Co, USA, ISBN-No.0-89520-290-5, 1981

Jacobi W.: Das Lungenkrebsrisiko durch Inhalation von ^{222}Rn Zerfallsprodukten. Biophys. 10, p 103, 1973

Jacobi W.: Possible lung cancer risk from indoor exposure to radon daughters. Rad. Prot. Dos. 7, p 395, 1984

Jacobi W.: Lungenkrebs nach Bestrahlung: Das Radonproblem. Naturwissenschaften 73, p 661, 1986

Kindl P., Breitenhuber L.: Radon: Der natürlichen Strahlung auf der Spur, Umweltschutzbericht des Landes Steiermark Nr.6, p 298-300, 1990

Kulich J. et al.: "Radon och radium i hushallsvatten" - (Radon und Radium in Haushaltswasser), Report SSI-Rapport 88-11, 1988

Kunz E., Sevc J., Placek V., Horacek J.: Lung cancer in man in relation to different time distribution of radiation exposure. Health Phys. 36, p 699, 1979

Ludewig P., Lorensen E.: Untersuchungen der Grubenluft in den Schneeberger Gruben auf den Gehalt an Radiumemanation, Z. f. Physik 22, p 178, 1924

Mache H.: Wiener Berichte IIa, Bd. 113, p 1329, 1904

Martirelli W., L. Mossbauer: Bodengasmessungen zur Erfassung von Störungen und Großfugensystemen. ELA-Bericht Nr. 62, Geologie Nr. 18, ÖFZS, 1991

NCRP: Evaluation of occupational and environmental exposures to radon and radon daughters in the United States. Report No. 78, Bethesda, NCRP 1984

NCRP: Measurement of Radon and Radon Daughters in Air. Report No. 97, Bethesda, NCRP 1988

NCRP - N.H.Harley (ed.): Radon, Proceeding of the 24th Annual Meeting of the National Council on Radiation Protection and Measurements, March 30-31, 1988, Washington, 1989

Nero A.V., Gadgil A.J., Nazaroff W.W., Revzan K.L.: Indoor Radon and Decay Products: Concentrations, Causes, and Control Strategies, DOE/OHER, Washington, November 1990

NRPB: Natural Radiation-Magnitudes, 1989

NRPB - B.M.R. Green et al.: Radiation Atlas, 1991

OEFZS: Endbericht über die Studie "Bestimmung von Radon in Wohnräumen", OEFZS Bericht No. A0715, August 1985

Pohl E., Pohl-Rüling J.: Die Strahlenbelastung der Bevölkerung von Badgastein/Österreich. Ber. Med.-natw. Ver. Innsbruck 57, p 95-110, 1969

Pohl E., Pohl-Rüling J.: Strahlendosen und Strahlenrisiken in den Gasteiner Kurorten. Tagungsbericht ÖSRAD, Frühjahrstagung 1980 "Natürliche Radioaktivität und Strahlung in Österreich", p 169-179, 1980

Pohl-Rüling J., Scheminzky F.: The natural radiation environment of Badgastein/Austria and its biological effects. Proc. 2nd Symp. Nat. Rad. Env., Houston NTIS-CONF-720805-P1, p 393-420, 1972

Pohl-Rüling J., Fischer P., Pohl E.: Chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes dependent on various dose levels of natural radioactivity. Proc. of Biological and Environmental Effects of Low-Level Radiation, IAEA, Vienna, Vol.II, p 317-324, 1976

Pohl-Rüling, J., Fischer P.: The dose effect relationship of chromosome aberrations to alpha and gamma irradiation in a population subjected to an increased burden of natural radioactivity. Radiation Research 80, p 61-81, 1979

Proc. Int. Conf. on Radiation Safety in Mining. Canad. Nucl. Assoc., Toronto 1985

RADIRADO: Datenbank der Radonkonzentrationen in Quell- und Grundwässern (derzeit unveröffentlicht), Anfragen an H. Friedmann, Institut f. Radiumforschung und Kernphysik d. Univ. Wien, A-1090 Boltzmannng.3

Radon Research Program FY 89, DOE/OHER, Washington, March 1990

Radon Research Program FY 90, DOE/OHER, Washington, March 1991

Ruosteenoja E.: Indoor radon and risk of lung cancer: an epidemiological study in Finland. STUK-A99, p 111, Helsinki 1991

Sagan L.A.(ed.): Radiation hormesis. Health Phys. 52, No.5, 1987

Schönhöfer F.: Radon-222 und Ra-226 in Trinkwasser und Radon-222 in Luft. Einige Untersuchungen in Niederösterreich. Interner Bericht BA f. Lebensmitteluntersuchung und -Forschung, 1988

Schönhöfer F.: Determination of Radon-222 and Radium-226 in Mineral Water and Drinking Water - a Survey in Austria. Analyst, Vol. 114, p 1345-1347, Oct. 1989

Sciocchetti G., Sacco F., Baldassini P.G., Battella C., Bovi M., Monti L.: The Italian National Survey of Indoor Radon Exposures, The Science of the Total Environment 45, p 327-333, 1985

Sevc J., Placek V.: Lung cancer risk in relation to long-term exposure to radon daughters, Proc. 2nd Europ. Rad. Prot. Cong., p 129, Budapest, May 1972

Sevc J., Kunz E., Placek V.: Lung cancer in uranium miners and long term exposure to radon daughter products. Health Phys. 30, p 433, 1976

Somogyi G. et al.: Die Messung der Radonaktivitätskonzentration und Abschätzung der aus der Inhalation stammenden Strahlenbelastung, Izotoptechnika, Diagnosztika 32 (4), p 177-183, 1989

SSI-rapport 87-17: "Radon i bostäder - Lägesrapport 1987 (Radon in Wohnungen - Zustandsbericht 1987)", 1987

Stadtmann H.: Passiv integrierendes Radondosimeter mit Elektretionisationskammer. OEFZS-4500, ST-166/89, April 1989

Steger F. et al.: Bestimmung von Radon in Wohnräumen, ÖFZS Ber. A0619, ST-125/84, Dezember 1984

Steinhäusler F.: Long-term investigations in Austria of environmental natural source of ionizing radiation and their impact on man. Ber. nat. med. Ver. Salzburg Bd.6, p 7-50, 1982

Steinhäusler F.: Epidemiological evidence of radon-induced health risks. Radon and its Decay Products (Eds.: W.W. Nazaroff, A.V. Nero, Jr.) John Wiley & Sons, Inc, 1988

Stralskyddsnytt 8, nr2, 1988, p 1

Strand T., Green B.M.R., Lomas P.R., Magnus K., Stranden E.: Radon i norske boliger, Rapport 1991:3, Statens Institutt for Strålehygiene, 1991

Surbeck H. et al.: US-EPA Int. Symp. on Radon and Radon Reduction Techn. Philadelphia, USA, 1991

Tschirf E., Baumann W., Niesner R.: Natürliche äußere Strahlung in Innenräumen. Beiträge Nr. 5/80, Forschungsberichte des Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz, 1980

Tschirf E., Tschurlovits M.: Proc. XVth Regional Congress of IRPA, p 256, Visby 1989

UNSCEAR: Genetic and somatic effects of ionizing radiation, United Nations, New York 1986

UNSCEAR: Sources, effects and risks of ionizing radiation, United Nations, New York 1988

Venuti G.C., Piermatti S.: National Survey of National Radiation Indoors: Sampling Strategy, Proceedings of the Intern. Workshop on Radon Monitoring in Radioprotection, Environmental radioactivity and Earth Sciences, ICTP, Trieste, Italy, April 3-14, 1989, World Scientific Publ., Singapore, 1990

Vychytil P. (Hrsg.), Tschirf E., Baumann W., Niesner R.: Strahlenkarte Österreichs, Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz, Wien 1975

Whittemore A.S., McMillan A.: Lung cancer among U.S. uranium miners: A reappraisal. J. Nat. Cancer Inst. 71, p 489, 1983

Wichmann H.E.: Int. Resid. Radon Epid. Study Group, Alexandria, USA, 1991

Willau E.: Neuere Untersuchungen und Erkenntnisse zur Strahlenbelastung durch Radon und seine Folgeprodukte in Innenräumen. Diplomarbeit, Atominstitut d. Österr. Hochschulen, 1984

Wrixon, A.D. et al.: Natural radiation exposure in UK dwellings. NRPB-R190. Chilton, NRPB, 1988