Zeitschrift: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz

Band: - (1997)

Rubrik: Radon

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

2. Radon

W. Gfeller, M. Holliger, G. Piller, J. Rodriguez, G.-A. Roserens, W. Zeller

Office fédéral de la santé publique
Division Radioprotection, Service Radon et Déchets, 3003 BERNE

2.1. Sommaire

Voilà maintenant 3 ans que l'ordonnance sur la radioprotection est en vigueur. La valeur limite du radon y est fixée à 1'000 Bq/m^3. Pour les nouvelles constructions de même que pour les bâtiments rénovés, on a fixé une valeur directrice de 400 Bq/m^3. A titre d'exemple, un locataire peut exiger que son propriétaire fasse effectuer une mesure lorsqu'il habite une maison où il pourrait y avoir des concentrations élevées de radon. Si la mesure indique un dépassement de la valeur limite, le propriétaire a l'obligation d'assainir le bâtiment.

Les cantons se sont vu attribuer de nouvelles tâches dans le domaine du radon. Ils doivent veiller à ce que la valeur limite et si possible la valeur directrice soient respectées tant en ce qui concerne les nouvelles constructions qu'en ce qui concerne les bâtiments rénovés. Ils ont aussi reçu mission de définir les régions à concentrations accrues de radon en se basant sur les mesures.

L'ordonnance sur la radioprotection permet de fixer directement les priorités. La prévention vient en premier dans l'ordre des priorités. Il faut à l'avenir que l'on ne trouve plus de nouvelles constructions présentant des teneurs élevées en radon. Ceci signifie qu'il faut inclure le radon dans les législations cantonales et communales en matière de construction. Parallèlement il faut rechercher les zones où l'on peut s'attendre à des concentrations élevées. Dans le but de parvenir à une prévention judicieuse, il faut aussi mettre un accent tout particulier sur l'information et la formation des professionnels du bâtiment. Ces tâches prioritaires sont prises en considération tant par les cantons que par l'OFSP.

Pratiquement tous les cantons ont commencé la réalisation d'un cadastre du radon. Il a ainsi été possible de confirmer les valeurs accrues de quelques régions connues, mais aussi d'établir que le Plateau présentait également des dépassements de la valeur limite, alors qu'une précédente estimation classait cette région comme zone non problématique. Ceci tend à démontrer qu'il est possible de trouver presque partout des valeurs accrues. Il est donc à espérer que le dernier canton manquant effectue lui aussi ces mesures.

On continue d'examiner si et dans quelle mesure il est judicieux de faire des mesures dans les terrains destinés à la construction, ceci tant pour les nouvelles constructions que pour les nouvelles zones à bâtir. Il parait clair qu'il est nécessaire de faire les forages plus profonds qu'auparavant pour pouvoir se déterminer sur la nature du terrain. Il semble que la corrélation entre le radon présent dans le sol et sa concentration à l'intérieur de la maison soit faible.

L'utilisation de la teneur de l'eau en radon en tant que critère pour délimiter les régions à radon est contestée. Une recherche effectuée dans la province italienne de Bolzano donne des résultats plutôt positifs, alors que les recherches effectuées dans le cadre du programme radon autrichien, ne mettent en évidence aucune corrélation entre concentration de radon dans l'eau et celle à l'intérieur de l'habitation. Comme pour d'autres

recherches géologiques, les règles applicables à une région donnée ne peuvent pas être appliquées telles quelles à une autre région.

Les propriétaires ne sont pas forcément prêts à investir plusieurs milliers de francs dans l'assainissement de leur bâtiment. C'est la raison pour laquelle il est tout à fait utile d'expérimenter des méthodes d'assainissement moins chères. On peut citer un cas où une réduction effective a été obtenue pour une somme de 500.-. Plusieurs cantons offrent la possibilité de déduire des impôts les frais d'assainissement liés au radon.

Lors de concentrations élevées, il y a impérativement lieu de faire appel à un professionnel. Il est possible que, dans un proche avenir, des systèmes inhabituels voire occultes soient proposés. Dans ce cas il faudra impérativement s'enquérir auprès des responsables cantonaux ou auprès de l'OFSP si ces systèmes ont été expérimentés et de quelle manière ils l'ont été.

2.2. Mesures

Cadastre du radon

Durant l'hiver 1996/1997, environ 10'000 mesures ont été effectuées dans 17 cantons, dans environ 6'000 maisons. Elles ont alimenté la banque de données suisse de radon qui compte maintenant ainsi environ 40'000 mesures à long terme réparties sur 25'000 maisons. Les valeurs de mesure pour les parties habitées avoisinnent 70 Bq/m^3 et 90 Bq/m^3 pour les parties inhabitées (figure 1). Comparé à la période précédente (OFSP/BAG 1995 - 1997), on peut noter une légère augmentation de la concentration en gaz radon car de nombreuses mesures ont été effectuées dans des régions à concentration accrue en gaz radon. Environ 2 % des maisons mesurées montrent un dépassement de la valeur limite dans la partie habitée (figure 2). La valeur moyenne pour les parties habitées est de 80 Bq/m^3 et de120 Bq/m^3 dans les parties inhabitées. Environ 93 % des bâtiments mesurés montrent des concentrations situées en dessous de la valeur directrice de 400 Bq/m^3.

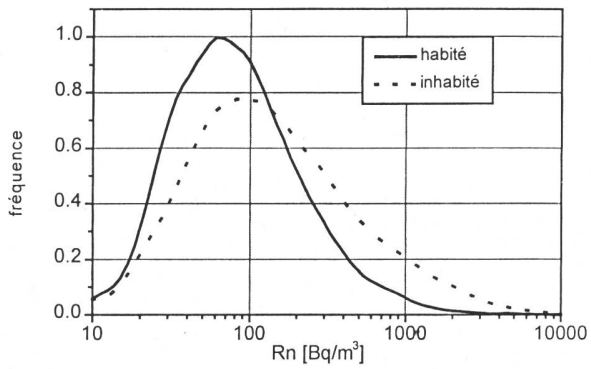


Figure 1: distribution des valeurs mesurées

La répartition pour la Suisse n'est pas représentative. D'une part certaines régions particulières et certains types de maisons sont surreprésentés et d'autre part les mesures ont été principalement effectuées en hiver et dans les étages inférieurs. Une pondération pourra être effectuée dès que suffisamment de répartitions typiques auront pu être mises en évidence. Un groupe de travail est actuellement en train de chercher à établir une procédure standard.

En Suisse, la valeur limite est vraisemblablement dépassée dans quelques milliers de maisons.

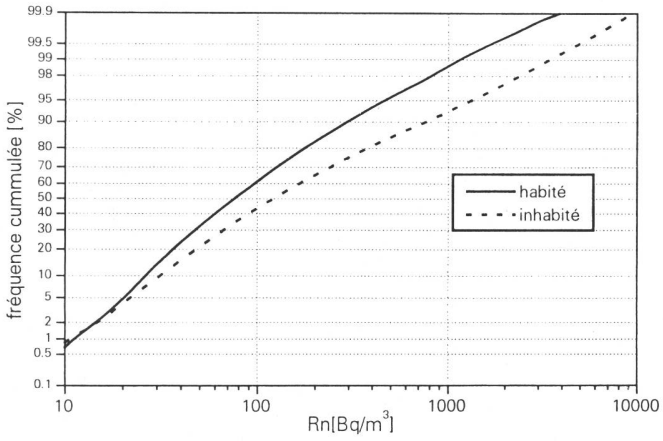


Figure 2: fréquence cumulée

La figure 3 montre les concentrations en radon mesurées jusqu'à ce jour dans la maison, le sol, l'air et l'eau (OFSP/BAG 1992). Cette année, c'est dans les Grisons qu'on a mesuré la concentration la plus élevée dans l'air contenu dans le sol (1'000'000 Bq/m^3). Les concentrations dans l'eau (pas les eaux de surface) sont du même ordre de grandeur que celles trouvées dans l'air du sol. Rien d'étonnant à cela si l'on considère que le radon est soluble dans l'eau et est en contact avec l'air présent dans le sol. Il n'est cependant pas possible, à l'heure actuelle, de se baser sur la concentration en gaz radon dans le sol ou dans l'eau pour en déduire celle présente dans l'habitation. Les recherches effectuées tant en Haute-Autriche que dans la province de Bolzano donnent des résultats contradictoires (ÖNRAP 1997, Bozen).

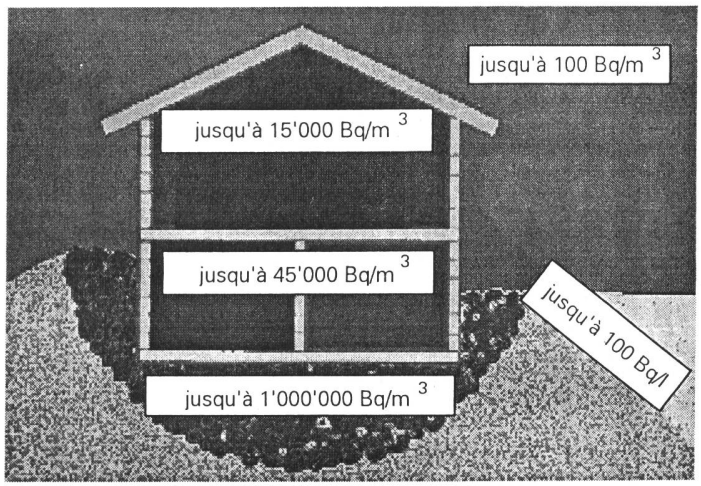


Figure 3: concentrations en gaz radon dans la maison et l'environnement.

Dans les cantons du Tessin et des Grisons de même que dans de grandes régions du Jura, on connaît des zones accusant des concentrations accrues en gaz radon. Le Plateau est encore insuffisamment mesuré mais on y a cependant enregistré par endroits des dépassements de la valeur limite (figure 4).

Les cantons d'Argovie, de Bâle-ville, de St Gall et du Tessin ont achevé l'établissement de leur cadastre radon. Dans ces cantons, à l'exception du Tessin, on n'a trouvé que quelques maisons présentant des dépassements de la valeur limite ou directrice.

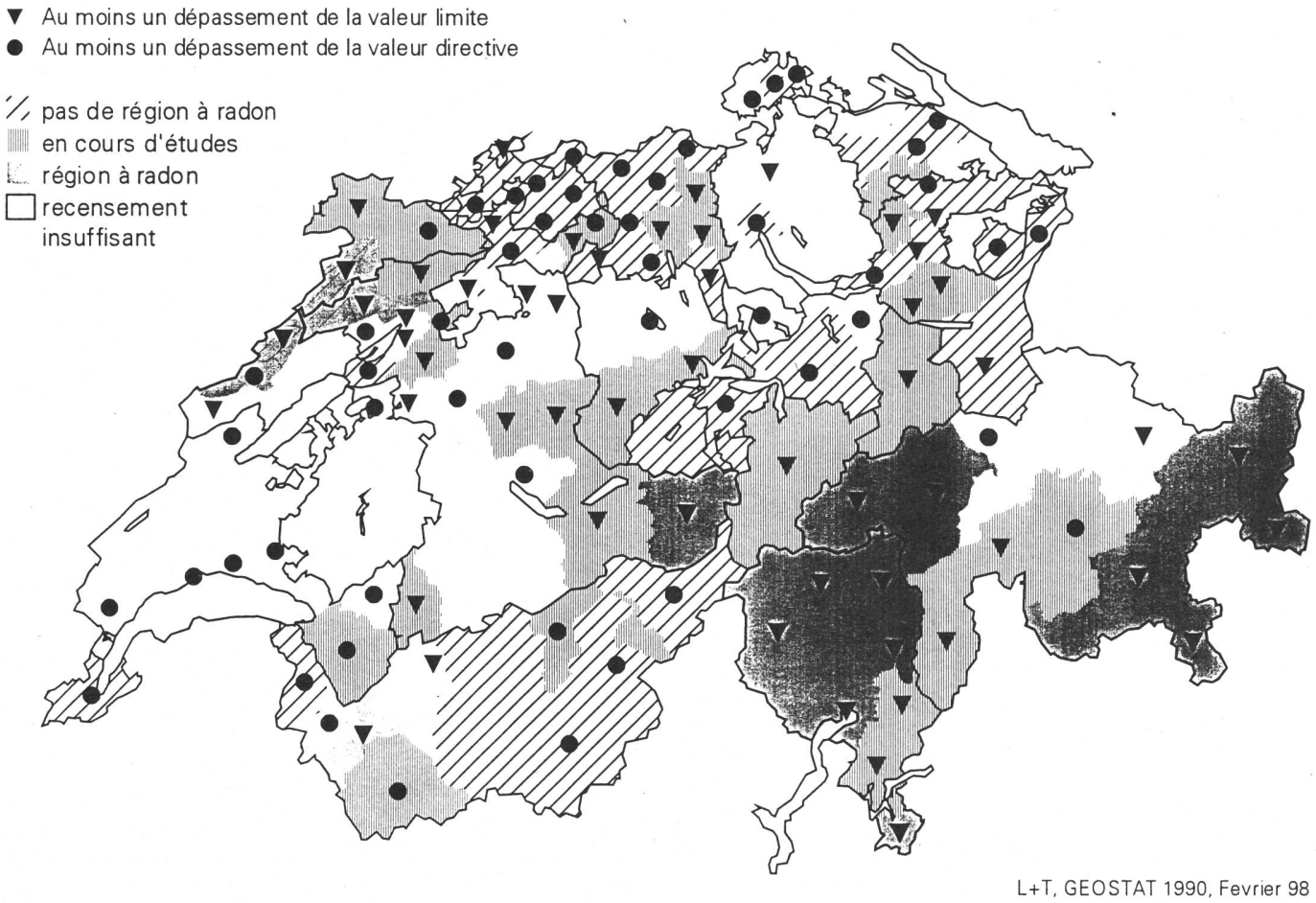


Figure 4: Carte du radon en Suisse

Services de mesure agréés

Quatorze services de mesure du radon agréés de même qu'un service de mesure étranger ont pris part aux mesures d'intercomparaison de novembre 1996. On a testé les dosimètres dans la chambre radon de l'IPS en les exposant durant 7 jours à une concentration de 6'000 Bq/m^3. Tous les appareils de mesure passifs ont satisfait aux exigences fixées pour leur reconnaissance (± 15% d'écart par rapport à la valeur de référence et ± 15% d'écart pour les valeurs individuelles, IPS 1997). Des dosimètres à traces (BAG G-old) entreposés depuis plus d'un an ont montré des valeurs inférieures d'environ 20% (figure 5). Ceci démontre que des détecteurs à traces ne devraient pas être conservés trop longtemps.

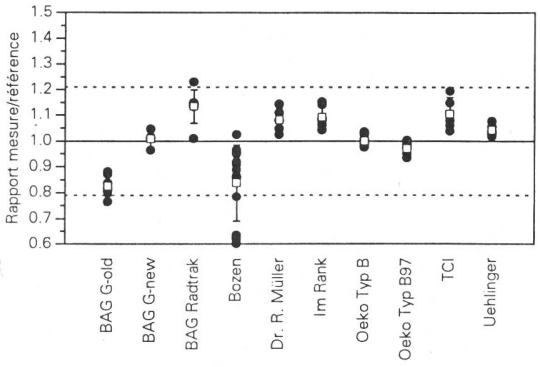


Figure 5: dosimètres à traces

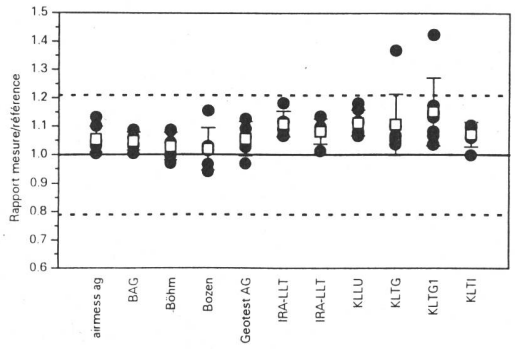
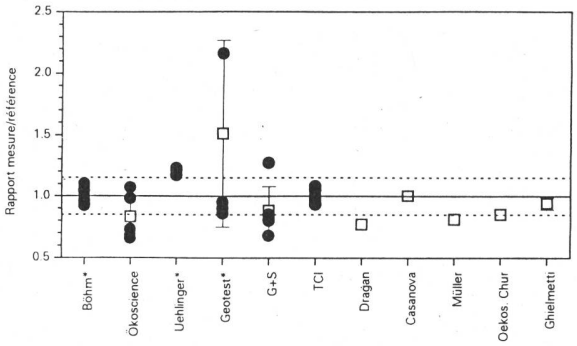


Figure 6: dosimètres à électret

Tous les dosimètres à électret indiquent des valeurs comprises à l'intérieur de l'intervalle de confiance prescrit mais ont cependant tendance à montrer des valeurs légèrement supérieures à la valeur de référence.

Figure 7:

mesure d'intercomparaison de la FPC. Les services avec un astérix (*) utilisent des dosimètres à électret.



Durant l'été 1997, la "Fondation pour la protection des consommateurs" (FPC) a effectué une analyse de marché des 16 services de mesure du radon agréés. Il s'agissait d'effectuer une étude à l'aveugle, étude qui, dans sa partie technique, a été soutenue par l'OFSP. Chez les services de mesure qui étaient importateurs généraux ou fournisseurs d'électrets on a commandé 5 dosimètres, chez les autres un seul. Les dosimètres ont été exposés dans la chambre à radon de l'IPS et renvoyés aux services concernés pour analyse. Le résultat de cette mesure d'intercomparaison n'est pas particulièrement réjouissant (figure 7). Un seul des services de mesure a obtenu l'appréciation " très bien " tant en ce qui concernait la mesure que le conseil donné (SKS 1997).

Bilan:
Lors de mesures d'intercomparaison officielles, tout est en général bon; la réalité est cependant quelque peu différente.

2.3. Construction

Terrain à bâtir

Lors de deux forages tests effectués à des profondeurs de 2.5 m on a constaté une grande diversité des propriétés du sol. Outre l'augmentation attendue de la concentration en gaz radon, on a constaté des variations de perméabilité de 1 à 3 ordres de grandeurs. Une forte érosion et l'activité biologique peuvent expliquer la perméabilité plus faible des couches proches de la surface.

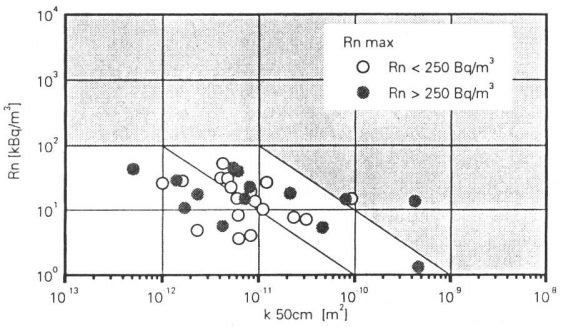


Figure 8: concentration en gaz radon versus perméabilité à 50 cm de profondeur.

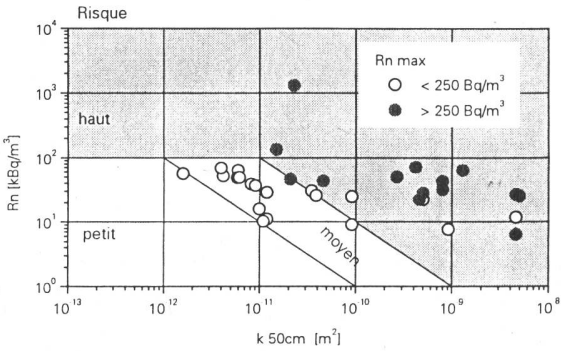


Figure 9: concentration en gaz radon versus perméabilité maximale.

Afin de mieux comprendre ces phénomènes, on a effectué des forages dans 30 propriétés situées dans les cantons de Berne et du Valais jusqu'en dessous des fondations et au maximum à 3.5 m. Dans les graphiques (figure 8 et figure 9) la cotation des sols est donnée pour 50 cm de profondeur et selon l'index maximal de radon trouvé (Rn max et k max sont les valeurs de concentration en radon et la perméabilité dans les profondeurs où l'index de disponibilité est maximal, C(Rn)*K max). Les maisons présentant des concentrations dépassant 250 Bq/m^3 sont représentées par des ronds noirs.

On voit que la cotation utilisée jusqu'à présent est applicable pour les valeurs maximales à plus grande profondeur. Les disponibilités de radon dans le sol et les concentrations en gaz radon dans les habitations sont faiblement corrélées (figure 10).

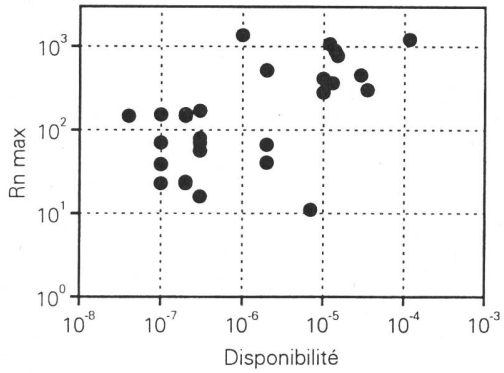


Figure 10:

concentration maximale en gaz radon dans la maison versus disponibilité maximale de radon dans le sol.

Assainissements

La majorité des propriétaires de maisons hésitent à entreprendre des travaux lorsque les mesures d'assainissement occasionnent des frais élevés. C'est la raison pour laquelle différentes phases d'assainissement seront envisagées. On donnera en premier la préférence aux méthodes simples et de moindre coût telles que le colmatage des fissures, l'étanchéisation des passages des conduites dans les parties enterrées et la ventilation des vides sanitaires. Au terme du processus, on procédera à une mesure de contrôle. Au cas où ces travaux s'avéreraient insuffisants, on procédera, dans une deuxième phase, à l'isolation de la partie habitation de la partie cave et à la pose de portes étanches entre les étages, ou à une ventilation mécanique provisoire. A chaque étape, on procédera à un contrôle en vue de déterminer si l'opération a eu le résultat escompté.

Quelques exemples d'assainissement sont décrits ci-dessous. Dans chaque cas, on procède à l'aspiration de l'air chargé en radon de même qu'à son évacuation vers l'extérieur. Dans ces méthodes d'assainissement, il est essentiel que le ventilateur reste toujours en fonction faute de quoi la concentration en radon remonte rapidement. Ceci explique pourquoi le système de ventilation doit être d'abord optimisé (consommation d'énergie) et sa fonctionnalité testée à intervalles réguliers.

Exemple 1: mise en équilibre de la pression de l'air dans la cave

L'air chargé en gaz radon est aspiré de la cave à l'aide d'un ventilateur de 30 W. Il peut s'ensuivre une montée de la concentration de radon dans la cave mais par contre celle-ci diminue dans l'habitation (figure 11). Ce système représente un coût d'environ Fr. 500.-. On procédera à une mesure à long terme pour contrôler la réussite de la méthode. Ce principe ne fonctionne pas partout; il est utile d'examiner à quel type de maison on a affaire.

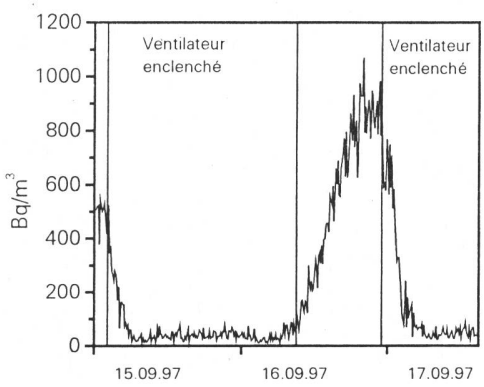
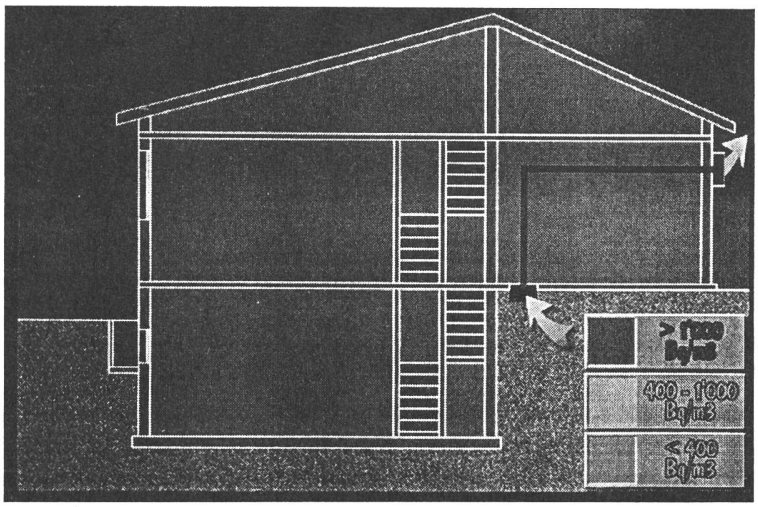


Figure 11:

concentration en gaz radon dans l'habitation avec ventilateur enclenché et déclenché.



Exemple 2: utilisation d'un petit puits à radon

Dans deux maisons du Tessin, on a installé un petit puits à radon (figure 12). On a mis en place des ventilateurs d'une puissance de 100 W et d'une différence de pression maximale de 350 Pa. L'air du sol chargé en radon est aspiré.

Dans un cas, le sol était perméable ce qui a rendu le puits à radon efficace. La maison peut être considérée comme assainie et un ventilateur de plus faible puissance a pu être installé.

Dans le deuxième cas, le sol était humide et peu perméable, mais on a toutefois pu noter une réduction de la concentration en gaz radon d'un facteur 3. Les valeurs sont toutefois légèrement supérieures à 400 Bq/m^3 (figure 13). On tentera de trouver une solution définitive au problème en installant un ventilateur de même débit mais produisant une dépression plus grande.

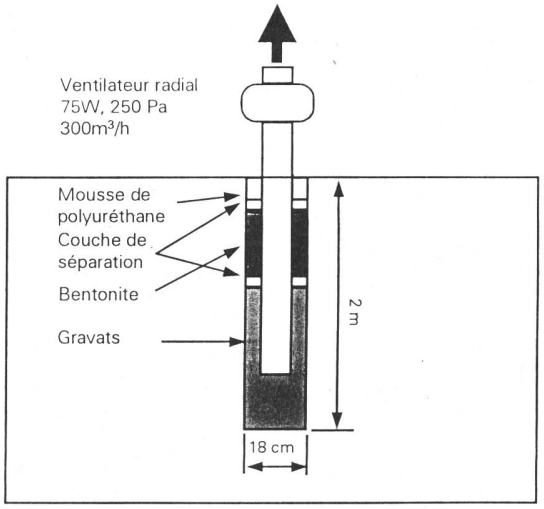


Figure 12: coupe du puits à radon

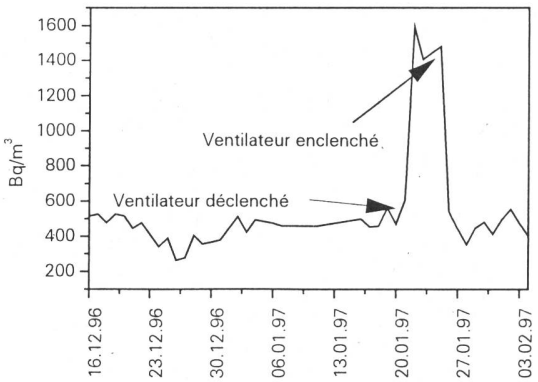


Figure 13: variation de la concentration lors de la mise en marche ou de l'arrêt du ventilateur.

Exemple 3: mise en dépression du sol de la partie non excavée

On procède à un forage horizontal sous la maison ce qui permet de conduire vers l'extérieur l'air présent dans la partie non excavée située sous la cuisine à l'aide d'un ventilateur (150 m^3/h). La figure 14 montre la concentration en gaz radon dans la salle de séjour du bâtiment assaini (année de construction antérieure à 1900). Les parties grises du graphique

correspondent au fonctionnement du ventilateur (70W). Les fortes chutes de la concentration du radon figurant dans les parties claires du graphique peuvent s'expliquer par l'aération produite mais la cause n'a pas vraiment été mise en évidence.

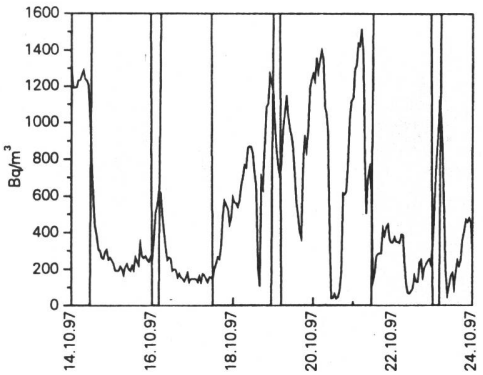


Figure 14: variation du taux de radon dans le séjour.

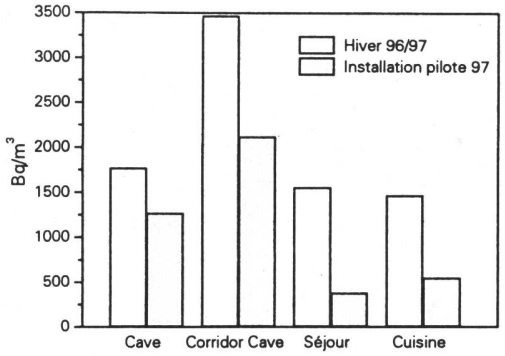


Figure 15: mesures à long terme dans différents locaux avant et après installation du dispositif pilote.

Après que les mesures recommandées aient été prises, on procède à des mesures à long terme pour contrôler les résultats (figure 15). En tenant compte des mesures prises individuellement, on peut dire que la concentration en radon qui se situait précédemment au-dessus de 1'500 Bq/m^3 est descendue au-dessous de 400 Bq/m^3. Les mesures en matière de construction nécessaires à cette amélioration représentent un coût d'environ Fr. 5'000.-.

Proposition inhabituelle de diminution du radon

Le problème du radon dans une maison revêt des aspects multiples comparables à ceux d'une maison présentant des problèmes d'humidité. On peut donc se poser la question de savoir si les systèmes proposés pour abaisser le taux d'humidité d'une habitation ne seraient pas utiles également contre le radon.

Il existe de nombreuses possibilités pour diminuer l'humidité des étages inférieurs d'une habitation. Si l'électro-osmose ou l'électrophorèse sont la cause de l'humidité des murs, des systèmes particuliers sont proposés pour essayer d'amener une solution à ce problème: grâce à un appareil, les champs électromagnétiques qui entretiennent le processus d'électro-osmose sont annihilés. On a cherché à savoir si, comme un fabricant l'espérait, ce système était efficace contre le radon.

Le système expérimenté ici consiste en un fil de cuivre qui a été mis autour de l'objet à assainir. On a vissé une extrémité du fil au mur de la maison et on a enterré l'autre extrémité qui se terminait dans une boîte au contenu mystérieux. La vis permettait de mettre en marche ou d'arrêter le système. On l'a installé dans une maison présentant un taux de radon élevé, de même qu'une forte humidité dans ses murs.

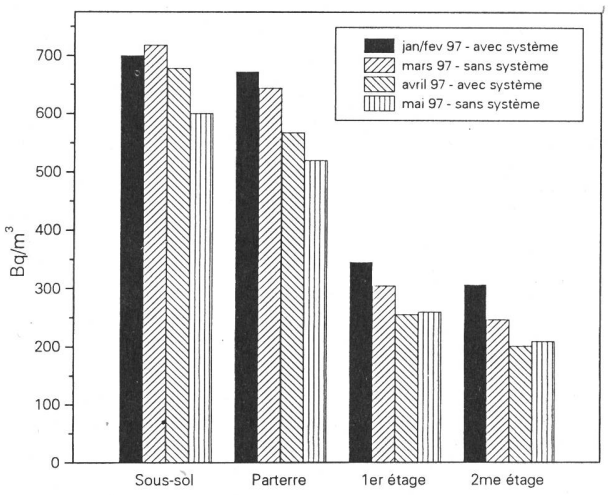


Figure 16: mesures à long terme avec et sans système.

Les mesures du radon n'ont montré aucune différence entre l'enclenchement et le déclenchement du système ce qui démontre que ce système n'est pas approprié pour résoudre le problème du radon dans une maison. Il est difficile de savoir si ce système a abaissé le taux d'humidité des murs car le concepteur du système a simplement "remarqué" que les murs étaient sensiblement plus secs sans toutefois s'appuyer sur une deuxième mesure.

Les mesures à long terme (figure 16) indiquent une légère diminution de la concentration en gaz radon causée par l'abaissement naturel lié à la saison (printemps). Ceci n'a rien à voir avec le système lui-même.

Formation

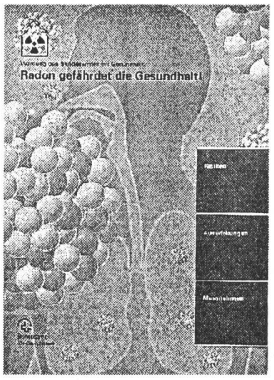
Jusqu'à ce jour, des cours sur le radon n'ont été organisés que sur demande. Le public-cible était les écoles techniques et des groupes régionaux d'éco-biologistes. Ces cours comprenaient la physique, la technique de mesure et les méthodes d'assainissement, et duraient chaque fois de 2 à 3 heures.

Dans les régions à radon, des séminaires ont de plus été organisés à l'intention des architectes et des ingénieurs. Ils étaient en général couplés à des expositions et foires régionales (ex: Arte-Casa Lugano) et étaient organisés en collaboration avec les associations et autorités locales.

L'OFSP est en train de préparer un cours dans différentes régions. Ces cours auront lieu en 1999. La base de ce cours sera un "Livre du radon".

Courier aux architectes

Les architectes sont les premiers concernés par la construction de nouveaux bâtiments ou la rénovation d'anciens. Il est donc primordial qu'ils soient informés sur le radon et les mesures de prévention et d'assainissement. Raison pour laquelle ils ont reçu durant cette année une documentation sur le radon. Il s'est agi de 4 couriers diffusés à intervalle de 2 mois. A ce jour, les réactions ont été tout à fait positives. Un questionnaire a été joint au dernier courier. Il devrait permettre d'évaluer cette action.



Financement

Une participation financière de la Confédération n'est pas prévue pour les assainissements. Les coûts liés à ces interventions sont supportés par le propriétaire du bâtiment. L'OFSP ne s'engage financièrement que dans des actions pilotes d'assainissement et dans la recherche et le développement de nouvelles méthodes.

Prescriptions modèles en matière de construction

Chaque canton est une région autonome et par conséquent est tenu d'arrêter des prescriptions en matière de construction visant à empêcher le dépassement de la valeur limite de la concentration en gaz radon. Pour faciliter l'adaptation des 26 réglementations en matière de construction, on a rédigé une proposition d'articles que les cantons peuvent, en fonction des besoins, inclure dans leurs dispositions cantonales.

Ces recommandations ne donnent pas de détails sur les mesures de prévention et d'assainissement car celles-ci sont en constante évolution.

Le "Livre du radon" décrira de manière détaillée les différentes méthodes à disposition. Ainsi, en fonction des développements en matière de construction, de nouvelles méthodes pourront être introduites sans pour cela que les ordonnances en matière de construction ne soient touchées. Il va de soi que l'efficacité de ces méthodes doit être contrôlée par des mesures du gaz radon.

2.4. Information

Le canton de Lucerne a entrepris une campagne de mesure du radon en collaboration avec le service de la protection civile. La situation du radon dans le canton a été présentée lors d'une exposition thématique consacrée à la protection civile lors de l'exposition industrielle de cette ville.

Le radon a aussi été un des thèmes de l'atelier du "Gesundheitsforum" de Lucerne. Les participants se sont vu présenter un aperçu de la problématique liée au radon et ont pu se familiariser avec quelques exemples d'assainissements possibles.

Le canton du Tessin a pris la problématique liée au radon très au sérieux. Voilà des années qu'il est un exemple pour les autres cantons et qu'il a montré que, même lors de concentrations élevées, on pouvait appréhender le problème avec transparence et sang-froid. Dans le but d'informer sa population, ce canton a choisi de présenter le thème du radon lors de l'exposition "Arte-Casa". En parallèle à cette manifestation s'est tenu un séminaire destiné lui aux professionnels de la branche, séminaire durant lequel le radon, la prévention et l'assainissement ont été abordés. Les réactions de la population ont été très favorables.

2.5. Bibliographie

OFSP/BAG, (1992), "Radonprogramm Schweiz RAPROS, Bericht über die Jahre 1987-1991", Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz, CH-3003 Bern, ISBN 3-905235-00-5

OFSP/BAG, (1996), "Radon-Jahresbericht 1995 / Radon: rapport annuel 1995", Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz, CH-3003 Bern, ISBN 3-905235-17-X

OFSP/BAG, (1997), "Radon-Jahresbericht 1996 / Radon: rapport annuel 1996", Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz, CH-3003 Bern

ÖNRAP, (1997), Radon in Oberösterreich, Teilergebnisse aus dem Österreichischen Nationalen Radonprojekt, Ausgabe 1997, Amt der o.ö Landesregierung, Lärm- und Strahlenschutz,.4021 Linz)

FPC/SKS, (1997), Tip & Test September 1997, Stiftung für Konsumentenschutz, 3000 Bern

IPS/PSI, (1997), ,Die Vergleichsmessung 1996 für Radongasmessgeräte am PSI, C. Schuler und G. Butterweck-Dempewolf, PSI Ber. 97 –05, PSI, 5032 Villigen/PSI

Bozen, Radonmessungen im Südtirol, Landesagentur für Umweltschutz und Arbeitssicherheit, Labor für Physikalische Chemie, L. Minach, Schriftenreihe Nr.1

Piller G. and Johner H.-U., (1998), Classification of Radon Areas in Switzerland, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 78. No. 1 pp. 7-9, Nuclear Technology Publishing

2.6. Radon-Diffusion in Baufolien

H. Surbeck und H.U. Johner

Sektion Ueberwachung der Radioaktivität (SUER)
Bundesamt für Gesundheit, ch. du Musée 3
1700 FRIBOURG

Einleitung

Im Rahmen eines Forschungsprojektes über Baumaterialien wurde in unserem Labor eine Vorstudie zur Messung der Radon-Diffusion in Baufolien durchgeführt. Solche Folien können unter dem Fundament verlegt werden um das Eindringen von Radon aus dem Boden ins Haus zu erschweren. Es ging bei dieser Vorstudie darum, Erfahrungen für den Bau der eigentlichen Messapparatur zu gewinnen.

Experimentelles

Mit dem Aufbau in Fig.1 wurde 4 Folien eines Schweizer Herstellers untersucht (Markennamen kodiert) :

- TF, 0.8 mm Dicke
- S12G, 1.2 mm Dicke
- SNH, 1.0 mm Dicke
- SG6, 0.6 mm Dicke

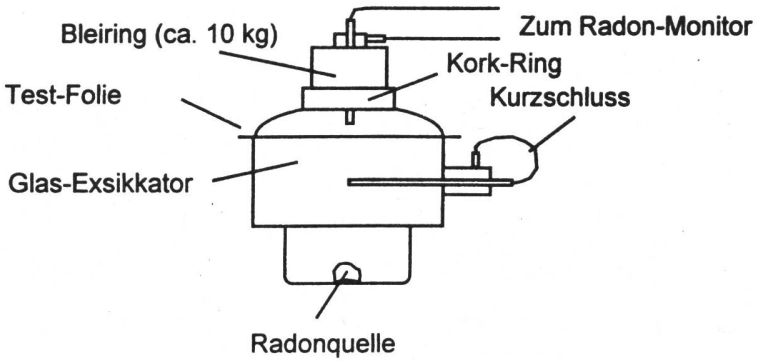


Fig. 1: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Radon-Diffusion in Folien.

Ein uran- und damit auch radiumhaltiges Gesteinsstück im unteren Teil des Exsikkators wird als Radon-Generator benützt (ca. 6 $*10^5$ Bq ^{226}Ra). Im Gleichgewicht würde das zu einer ^{222}Rn-Konzentration von ca. 10^8 Bq/ m^3 in diesem Teil des Exsikkators führen. Das durch die Folie diffundierte Radon wird mit einem an den oberen Teil des Exsikkators gekoppelten Radon-Monitor bestimmt. Die Messung erfolgt kontinuierlich in einem geschlossenen Kreislauf. Das Luftvolumen im Messkreis von ca. 2 Litern wird im Verlauf der Integrationszeit von 2 Stunden pro Messpunkt etwa 10 mal umgewälzt.

Unmittelbar nach dem Verschluss des Exsikkators liegt die Radonkonzentration sowohl vor als auch hinter der Folie unterhalb 100 Bq/m^3 (Raumluft). Die Radonkonzentration im Quellraum baut sich nun mit der Halbwertszeit des Radons auf ($T_{1/2}$=92h). Bereits in dieser Phase ("Aufbau"-Phase) wird die Radonkonzentration hinter der Folie kontinuierlich, mit einer Zeitauflösung von 2h, gemessen. Aus dem Anstieg dieser Konzentration lässt sich im Prinzip die Diffusionskonstante bestimmen.

Wenn im Messvolumen eine Konzentration von etwa 100 kBq/m^3 erreicht ist, wird der Quellraum belüftet. Ein dauernder Durchfluss von ca. 5 Litern/min Raumluft hält die Konzentration im Quellvolumen unter 100 Bq/m^3. Das Radon im Messraum beginnt nun in den Quellraum zurück zu diffundieren ("Zerfall"-Phase). Der Abfall der Radonkonzentration nähert sich mit der Zeit einer einfachen e-Funktion. Die Zerfallskonstante ist dabei die Summe aus der Zerfallskonstante des Radons, der Diffusionsrate und der Leckrate. Die Leckrate setzt sich aus Lecks im Messkreis und aus Lecks zwischen der Folie und den Planschliffen des Tubusdeckels zusammen. Im Gegensatz zur Aufbauphase spielen hier Undichtheiten zwischen der Folie und dem Exsikkator-Unterteil keine Rolle. In der Aufbauphase gehen dagegen die Undichtheiten hinter der Folie weniger ein.

Obwohl die Diffusionsgleichung im Prinzip einfach ist, ergeben sich durch die Randbedingungen, die endliche Lebensdauer des Radons und die nicht konstante Konzentration im Quellvolumen erhebliche Probleme bei der Auswertung der Messwerte. Nur mit groben Vereinfachungen und der Annahme eines "steady states" ist eine Lösung für den Anstieg und den Abfall der Radonkonzentration im Messraum überhaupt möglich.

Zusätzliche Schwierigkeiten ergeben sich dadurch, dass die Emanationsrate der Quelle stark von der Luftfeuchtigkeit abhängt. In trockener Luft wird nur sehr wenig abgegeben, da das Radon aus dem Zerfall des Radiums eine hohe Rückstossenergie besitzt und beim Fehlen eines bremsenden Wasserfilms auf den Gesteinskörnern in benachbarte Körner implantiert wird. Das Radon-Messgerät liefert aber nur bei trockener Luft brauchbare Resultate. Dem Messgerät wird daher eine Trockenpatrone vorgeschaltet. Das führt dazu, dass bei einer Messung in einem geschlossenen Kreislauf, bei der das ganze Messvolumen mehrmals umgewälzt wird, die Luft im ganzen Messvolumen getrocknet wird (< 1% rel.Feuchte). Daher wurde die Radonproduktionsrate in einem offenen Kreislauf gemessen. Raumluft wurde mit konstanter Rate in das Quellvolumen eingesaugt, durch das Messgerät geleitet und am Ende des Messgerätes abgeblasen.

Resultate

In einem ersten Versuch wurde die Folie gegen die Planschliffe des Glas-Exsikkators mit Hochvakuum-Silikonfett abgedichtet. Nach Zweifeln an der Dichtheit wurden dann aber für die weiteren Versuche die Folien mit Rubber-Cement auf die Planschliffe aufgeklebt. Figur 2 zeigt, dass die Zweifel berechtigt waren.

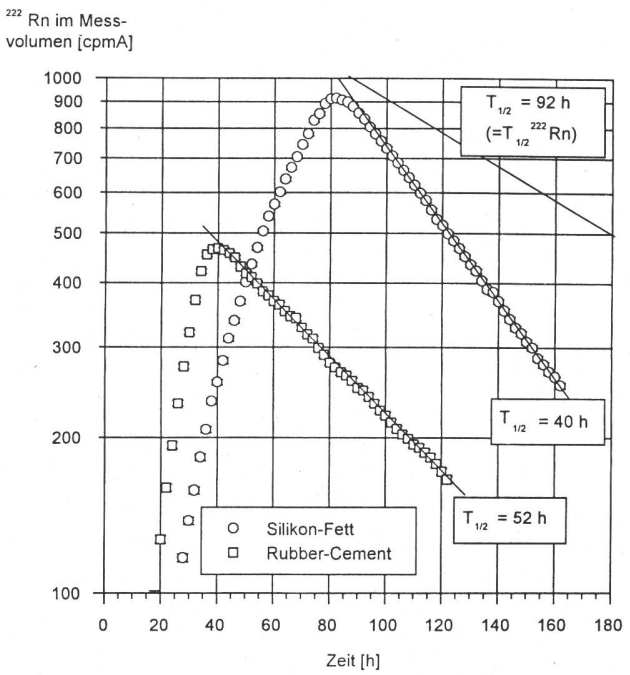


Fig. 2: Vergleich der Abdichtungen. Folie : TF 0.8 mm. 1 cpmA entspricht 182 Bq/m³. Fehlerbalken : ± 2σ Zählstatistik.
Belüftung des Quellvolumens : bei Abdichtung mit Silikonfett nach 72 h, bei Abdichtung mit Rubber-Cement nach 30 h.

Die Resultate der Messungen an den 4 Folien, mit Rubber-Cement aufgeklebt, zeigt die Figure 3

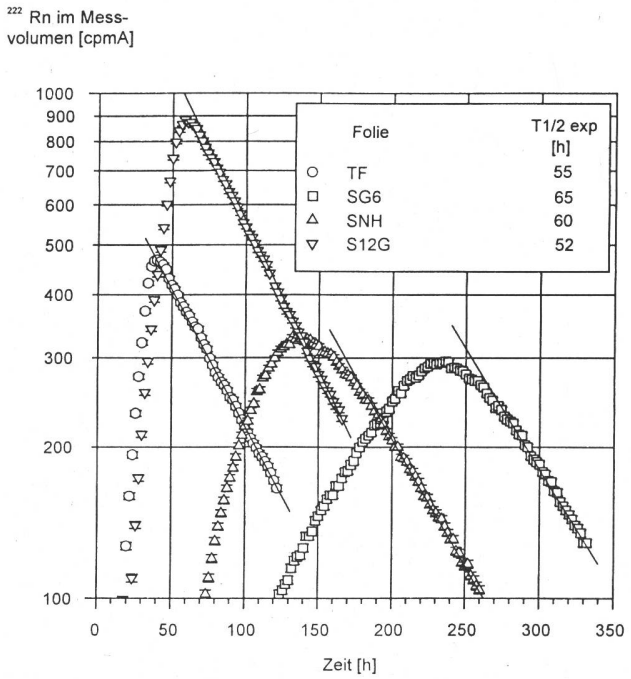


Fig. 3 : Verlauf der Radonkonzentration im Messvolumen hinter der Folie. 1 cpmA entspricht 182 Bq/m³. Fehlerbalken : ± 2σ Zählstatistik.
Belüftung des Quellvolumens nach folgenden Zeiten : TF, 30 h, S12G, 48 h, SNH, 102 h, SG, 190 h.

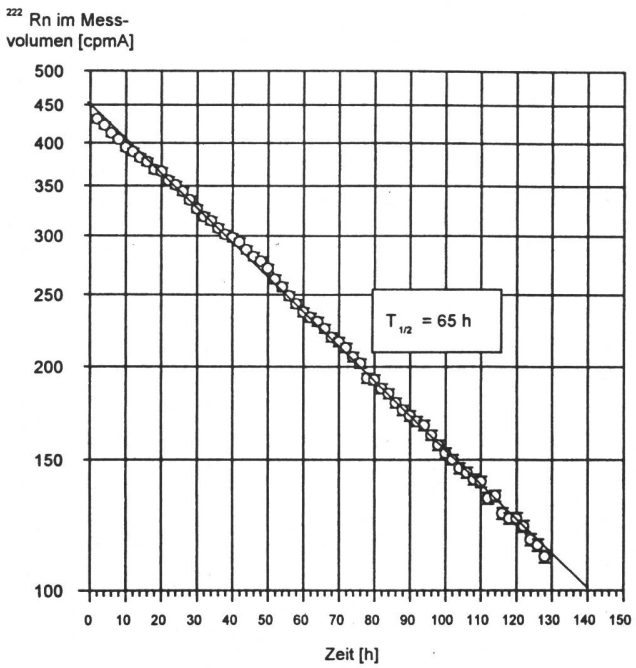


Fig. 4 : Verlauf der Radonkonzentration im Messvolumen, das mit einer mit Rubber-Cement aufgeklebten Aluplatte abgedichtet wurde . 1 cpmA entspricht 182 Bq/m³. Fehlerbalken : ± 2σ Zählstatistik.

Aus dem Verlauf in Fig. 4 ergibt sich für die Diffusionskonstanten der 4 Folien, mit den Halbwertszeiten aus Fig.3 :

Folie	d[cm]	$T_{1/2exp}$[h]	D	
			[cm^2h^{-1}]	[m^2s^{-1}]
S12G	**0.12**	**52 ± 1**	**(20 ± 3)*10^{-4}**	**54 ± 9)*10^{-12}**
TF	**0.08**	**55 ± 1**	**(9 ± 2)*10^{-4}**	**26 ± 6)*10^{-12}**
SNH	**0.1**	**60 ± 1**	**(5 ± 2)*10^{-4}**	**15 ± 6)*10^{-12}**
SG6	**0.06**	**65 ± 1**	**< 10^{-4}**	**< 2*10^{-12}**

Ein Vergleich mit publizierten Werten für Baufolien (Hulka and Jirdnek, 1996) zeigt, dass diese, aus der Zerfallsphase bestimmten, Diffusionskonstanten wahrscheinlich zu gross sind. Die Leckraten des gegenwärtigen Versuchsaufbaus beschränken auch den Messbereich auf $D > 2 \cdot 10^{-12} m^2 s^{-1}$. Abklingmessungen mit dem mit Radon beladenen Messkreis allein (ohne Tubusdeckel) zeigen, dass die Leckraten eindeutig durch Lecks im Messkreis selbst bestimmt sind. Die Leckrate der Abdichtung der Folie gegen den Flansch des Exsikkators ist um mindestens eine Grössenordnung kleiner.

Zur Bestimmung der Diffusionskonstanten aus der Aufbauphase kann die zeitliche Ableitung der Daten in Fig.3 benützt werden (Fig.5).

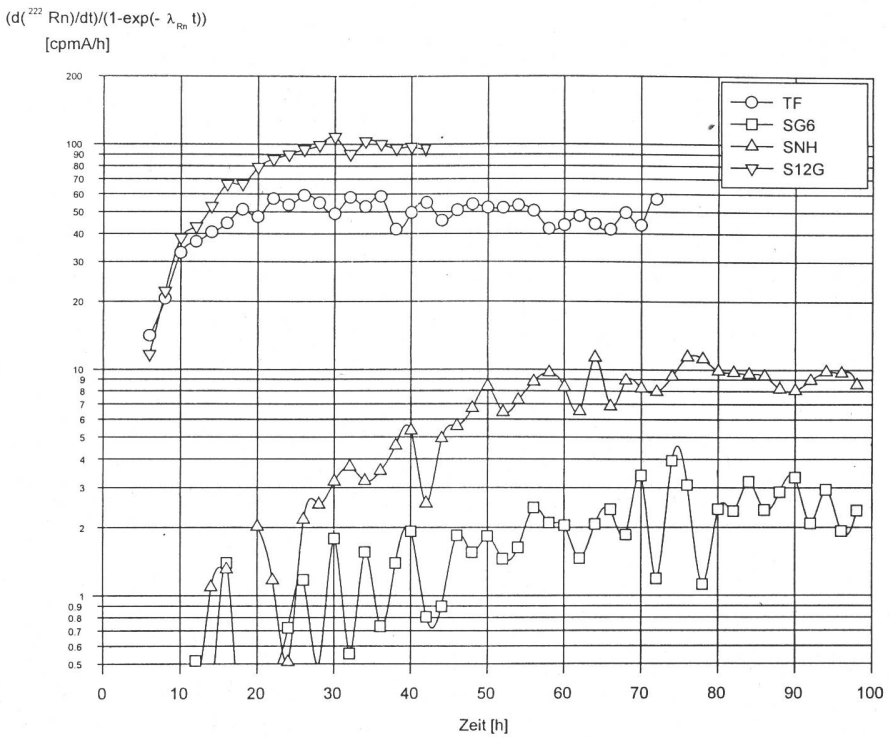


Fig. 5 : Erste Ableitung der Aufbauphase der Kurven in Fig.3, geteilt durch den relativen Aufbau der Radonkonzentration im Quellvolumen ((1-exp(-λ_{Rn}*t)). 1 cpmA entspricht 182 Bq/m³. Die eingezeichneten Kurven sind nur Hilfslinien und haben keine physikalische Bedeutung.

Folie	d[cm]	asympt. y-Wert	D [cm²h⁻¹]	D [m²s⁻¹]
S12G	0.12	100 ± 10	$(4 \pm 0.4)*10^{-4}$	$(11 \pm 1)*10^{-12}$
TF	0.08	50 ± 10	$(1.4 \pm 0.3)*10^{-4}$	$(4 \pm 1)*10^{-12}$
SNH	0.1	10 ± 2	$(0.4 \pm 0.1)*10^{-4}$	$(1 \pm 0.2)*10^{-12}$
SG6	0.06	3 ± 1	$(0.06 \pm 0.02)*10^{-4}$	$(0.2 \pm 0.1)*10^{-12}$

Die Fehlerangaben berücksichtigen nur die Unsicherheiten bei der Bestimmung des asympt. y-Wertes in Fig.5.

Diese aus der Aufbauphase bestimmten Diffusionskonstanten liegen schon eher bei den publizierten Werten.

Diskussion der Resultate und weiteres Vorgehen

Bereits mit diesem sehr einfachen Versuchsaufbau konnten die Unterschiede in den Diffusionskonstanten der 4 Folien klar gezeigt werden. Die Absolutwerte sind allerdings mit grosser Vorsicht zu betrachten, insbesondere wegen der Unsicherheiten beim Modell. Das gilt übrigens auch für die publizierten Werte.

In der Zerfallsphase ist der Messbereich durch die Leckraten, insbesondere im Messkreis begrenzt. Verbesserungen sind hier nur schwer möglich, da sie einen Eingriff in das Mess-

gerät selbst bedeuten würden und angesichts des komplexen Aufbaus des Messgerätes kaum unter Kontrolle zu bringen sind. Die Messung in der Zerfallsphase hat auch den Nachteil, dass sie sehr lange dauert. Dieser Betriebsmodus sollte daher nicht weiter verfolgt werden.

In der Aufbauphase liegen die Schwierigkeiten eindeutig beim Modell. Leckraten im Messkreis spielen hier kaum eine Rolle. Verbesserungen wären möglich, indem das verwendete statische Modell durch ein dynamisches Modell ersetzt wird. Die Diffusion könnte z.B. als Monte-Carlo Simulation formuliert werden. Da die Diffusion am einfachsten als "random walk" zu behandeln ist, dürfte das auch der richtige Ansatz sein. Erste Versuche dazu sehen vielversprechend aus. Falls es gelingt, diesen Formalismus in den Griff zu bekommen, ist die Bestimmung der Diffusionskonstante aus der Aufbauphase der Bestimmung aus der Zerfallsphase eindeutig überlegen. Sie ist sehr viel schneller und wenig empfindlich auf Undichtheiten im Messkreis. Wenn es gelingt, auch den transienten Teil des Aufbaus, den Bereich vor dem Uebergang zu einem konstanten Wert in Fig.5, befriedigend zu modellieren, wäre eine Messung in bisher konkurrenzlos kurzer Zeit über mindestens zwei Grössenordnungen der Diffusionskonstante möglich.

Die Abdichtung der Folien durch Aufkleben mit Rubber-Cement hat sich bewährt und scheint genügend dicht zu sein. Allerdings hält die Verbindung so gut, dass einige Tubusdeckel geopfert werden mussten. Der nächste Versuchsaufbau wird daher aus einem Metallgefäss für die Quelle und einem leicht ausgedrehten Metalldeckel mit Anschlüssen an das Messgerät bestehen. Die Dichtung erfolgt ohne Klebstoff durch kräftiges Verklemmen zwischen den Metallflanschen.

Es ist vorgesehen, in Zukunft simultan mit der Radondiffusion auch die CO_2- Diffusion und die Methangas-Diffusion zu bestimmen.

Literatur

Hulka, J. and Jirdnek, M., (1996), Determination of Radon Diffusion Coefficient of Radon Barriers, In : Radon Investigations in the Czech Republic, Proc. 3rd Int. Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Barnet, I. and Nezal, M. (Eds.), Czech Geological Survey Radon Corp., Prague

Zapalac, G. H., (1983), A Time Dependent Method for Characterizing the Diffusion of ^{222}Rn in Concrete, Health Physics 45/2, pp. 377-383