

SPEZIAL

Strahlentelex

Informationsdienst • Unabhängige Meßstelle Berlin des Strahlentelex

Nr. 88-89 / 4. Jahrgang

RADON-Spezialausgabe

20. September 1990

RADON

Radioaktivität aus dem Untergrund

Von den von der Atomindustrie erzeugten und freigesetzten radioaktiven Isotopen ist wahrscheinlich weder radioaktives Jod-131, Cäsium-137, Strontium-90, Krypton-85, Tritium oder Kohlenstoff-14 das für die menschliche Gesundheit schädlichste, schrieb 1978 Bernard L. Cohen, Professor an der Universität von Pittsburgh/USA, in seiner grundlegenden Arbeit über das Radon-Problem. Viel bedeutender als alle diese zusammengenommen ist nach gängigen Theorien und Einschätzungen das aus dem Erdreich aufsteigende farb-, geruch- und geschmacklose radioaktive Edelgas Radon-222 und seine kurzlebigen sogenannten Töchter. Radon und seine Töchter machen im Durchschnitt etwa die Hälfte der natürlichen Strahlenbelastung aus. Nicht kosmische Strahlung, nicht Uran und Radium in der Erde und in Baumaterialien oder Kalium-40 in unseren Körpern sind für die meisten Todesfälle durch natürliche Strahlung verantwortlich. All diese zusammengenommen belasten den ganzen Körper durchschnittlich mit 80 bis 100 Millirem oder 0,8 bis 1 Millisievert pro Jahr. Dadurch wird in den USA nach einem Bericht des Komitees zur Beurteilung der biologischen Wirkung ionisierender Strahlung (BEIR) der amerikanischen Akademie der Wissenschaften der Tod von jährlich etwa 3.000, nach neueren Untersuchungen zwischen 5.000 und 20.000 Menschen verursacht. Allein Radon und seine Töchter wirken im Durchschnitt mit ebenfalls 100 Millirem oder 1 Millisievert pro Jahr auf den Körper ein. Möglicherweise sterben dadurch jedes Jahr in der Bundesrepublik 2.000 bis mehr als 6.000 Menschen an Lungenkrebs,

weil sie in ihren Wohnungen oder am Arbeitsplatz Radon in der Atemluft ausgesetzt sind. So kalkulierte Professor Wolfgang Jacobi, Mitglied der bundesdeutschen Strahlenschutzkommission und Leiter des Instituts für Strahlen- und Umweltforschung (GSF) in Neuherberg bei München.

Betrachte man einen Zeitraum von einer Million Jahre oder mehr, so ist behauptet worden, dann sei Kernenergie eine Methode zur Reinigung der Erde von schädlicher Radioaktivität. Denn das Verbrennen von Uran im Kernreaktor verringere die Mengen an Radon-Gas, die aus der Erde entweichen könnten. Zumindest vor Ablauf dieser Million Jahre erhöht jedoch die Kernindustrie den Radongehalt in unserer Atemluft. Da Radon ein Produkt des Uranzerfalls ist, kann jegliche Aktivität im Umgang mit Uran, beim bergmännischen Abbau und bei der Aufbereitung, einen Einfluß auf die Radonkonzentrationen in der Umwelt haben. Die Einrichtung eines Bergwerks in uranhaltigem Gestein, das Fördern von Uranerz an die Erdoberfläche, gestattet das Entweichen von Radon, das normalerweise tief im Untergrund eingeschlossen bliebe und dort unten weiter zerfallen würde. Beim Weiterverarbeiten und Zermahlen wird die Oberfläche des Gesteins vergrößert, so daß Radon besser entweichen kann. Aus den Abfällen, den künstlich erzeugten Gebirgen von Erzurückständen, dringt weiter Radon in die Umgebung, verursacht durch den ständigen Zerfall des bei der Aufbereitung nicht abgetrennten Radium-226 und Thorium-230. Diese Rückstände nehmen nur mit der Halbwertzeit von rund

80.000 Jahren des Thorium-230 ab. Die Gebirge von Erzurückständen sind deshalb der hauptsächlichste Beitrag der Atomindustrie zum Radonproblem.

Vom Westerzgebirge über das Vogtland und Westböhmen bis zum Fichtelgebirge und im Nordwesten bis nach Ostthüringen erstrecken oder erstreckten sich die größten Uranlagerstätten Mitteleuropas. Nach ihrem bis jetzt erfolgten Abbau durch die Sowjetisch-Deutsche Aktiengesellschaft (SDAG) Wismut sind 10.000 Quadratkilometer zwischen dem Westerzgebirge und Ostthüringen in Ostdeutschland verseucht. Wer dort wohnt, atmet nicht wie anderswo durchschnittliche 50 Becquerel Radon pro Kubikmeter Zimmerluft ein, sondern häufig 30.000, 100.000 oder mehr Becquerel pro Kubikmeter Luft im Wohn-, Schlaf- oder Kinderzimmer. Entsprechend gefährdeter durch Lungenkrebs ist die dortige Bevölkerung. Die Kosten für die notwendige Sanierung der Halden im Süden Ostdeutschlands wurden zuletzt bereits auf rund 40 Milliarden Mark geschätzt.

Absicht dieser Radon-Spezialausgabe des Strahlentelex ist es, den Leserinnen und Lesern einen eingehenderen Überblick über die Radon-Problematik zu ermöglichen, Verständnis und Urteilsbildung zu fördern und damit Hilfe zur Selbsthilfe zu geben.

RADON-Spezialausgabe

Entstehung, Vorkommen
und Gesundheitsrisiken
von Radon-Gas 2-12

Mit ausführlicher Beschreibung
der Maßnahmen zur Verringerung
des Radongehalts in Häusern 13-20

Anhang: Begriffe 21, 22

Die Geschichte des Radons - Die Geschichte einer Krankheit

Seit 500 Jahren „Schneeberger Lungenkrankheit“ - und kein Ende

„Schneeberger Krankheit“, „Schneeberger Bergmannskrankheit“, „Schneeberger Lungenkrankheit“, „Schneeberger Lungenkrebs“, das sind seit langer Zeit in der medizinischen Fachliteratur bedeutungsgleiche Namen für den strahlenbedingten Lungenkrebs, der durch die Einwirkung der Alphastrahlung der Radonisotope und deren kurzlebigen Zerfallsprodukten verursacht wird. Radon ist überall in der Luft vorhanden. Besonders groß jedoch sind die Konzentrationen in Gebieten, in denen sich im Boden höhere Uranvorkommen befinden und die deshalb zum Teil gezielt abgebaut werden. In Graniten und manchen Gesteinen vulkanischen Ursprungs ist der Urangehalt hoch. Deshalb ist die radioaktive Belastung durch Radon in Gebieten wie dem Bayerischen Wald, Oberfranken, dem Fichtelgebirge, Hunsrück und Taunus relativ hoch. In Europa haben außerdem Schweden, Norwegen und Finnland besondere Radon-Probleme.

Zu den Bergwerken mit einem besonderen radioaktiven Untertageklima gehörten schon früh die Gruben des im Erzgebirge gelegenen Schneeberger Reviers, in denen seit der Mitte des 15. Jahrhunderts bis zum 17. Jahrhundert Silbererze, Blei, Kupfer, Zinn, Nickel, Kobalt und Eisen abgebaut wurden. Dies begründete den damaligen Reichtum Sachsens. Dabei wurde auch vielfach Uranerz mit zu Tage gefördert. Als unbrauchbares Material wurde es unerkannt auf Halde geschüttet. Pechblende hieß das Uranerz bei den Bergleuten nicht nur wegen seiner schwarzen Farbe, sondern auch, weil es den Bergleuten Pech brachte, denn es lagerte meist da, wo die Silber-Erzgänge zu Ende waren. (Beleites)

Vom Westerzgebirge über das Vogtland und Westböhmen bis zum Fichtelgebirge und im Nordwesten bis nach Ostthüringen erstrecken sich die wohl größten Uranlagerstätten Mitteleuropas. Von dort stammen auch die radioaktiven Materialien, die schließlich zur Entdeckung der Radioaktivität durch Henri Becquerel gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts führte.

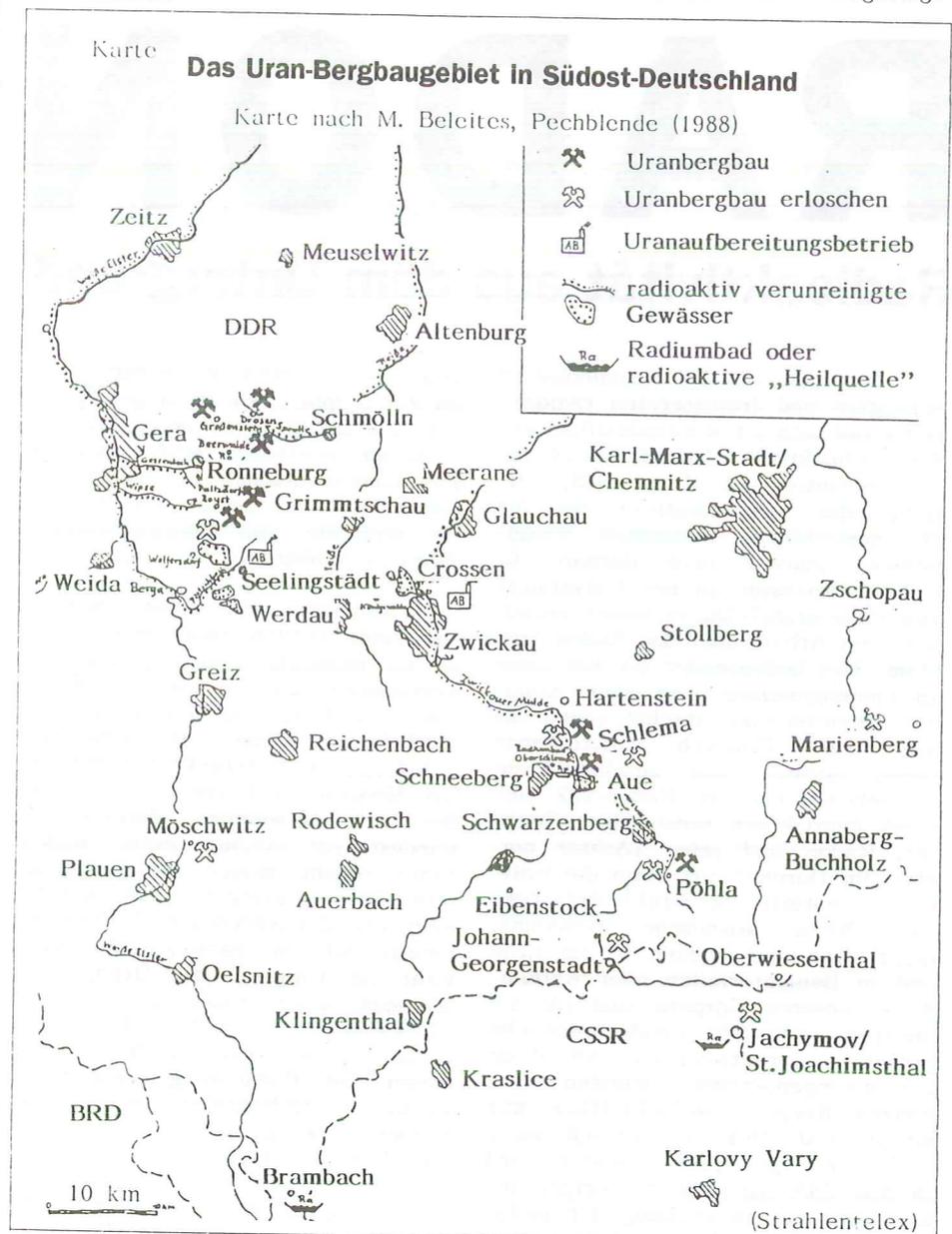
Um 1820 begann in den sächsischen Bergbaurevieren die Gewinnung und Verwertung von Uranerzen, zur Herstellung von gelbem Glas, später auch für Leuchtfarben und zur Radiumgewinnung für medizinische und wissenschaftliche Zwecke.

Nach 1945 gewann der Abbau von Uranerzen in der DDR an Bedeutung, weil die Sowjetunion es als Rohstoff für Bomben und Kernreaktoren benötigte. Der Uranbergbau in der DDR war nach dem Krieg

als Reparationsleistung zunächst vollständig in sowjetischen Besitz übergegangen. 1954 wurde die DDR mit fünf Prozent beteiligt und der Name Sowjetisch-Deutsche Aktiengesellschaft (SDAG) Wismut eingeführt. Ein Staat im Staate war diese Gesellschaft, mit eigener Staatssicherheit (Stasi), eigener Polizei und einer vom übrigen Gesundheitswesen der DDR getrennten medizinischen Versorgung. Heute hat diese Gesell-

ner Vereinbarung aus dem Jahre 1962, die bis zum Jahr 2000 Gültigkeit haben sollte. Für jeden Fünfjahresplan wurde ein Regierungsprotokoll über Aufgaben, Finanzierung, Förderumfang, Lieferungen und Preis abgefaßt. Der zuletzt im Januar 1986 signierte Fünfjahresplan läuft nun Ende Dezember 1990 aus und soll nicht wieder erneuert werden. Denn, so das sowjetische Vorstandsmitglied Nasarkin am 18. August 1990 in einem Interview mit der Ost-Berliner CDU-Zeitung „Neue Zeit“: „Seit etwa 1980 liegen die Aufwendungen zur Förderung über dem Weltmarktpreis.“

Die meisten der erzgebirgi-



schaft noch 34.000 Beschäftigte, die ihre Zukunft vorzugsweise in der notwendigen Sanierung der etwa 10.000 Quadratkilometer radioaktiv besonders belasteten Gebiete in Sachsen und Thüringen suchen müssen. Die dazu erforderlichen Finanzmittel wurden zunächst auf 4 und zuletzt bereits auf 40 Milliarden DM geschätzt.

Zur Zeit arbeitet die SDAG Wismut noch auf der Grundlage ei-

schen Schächte waren Anfang der 70er Jahre erschöpft und der Uranabbau wurde immer weiter nach Norden ausgedehnt (Karte). Durch riesige Abfallerzhalden und Schlammabsetzanlagen wurde der Charakter der Landschaft verändert, Ortschaften umgesiedelt, neue künstliche „Erzgebirge“ geschaffen. Ronneburg zum Beispiel wird heute von vier über 100 Meter hohen schwarzen Spitzhalden überragt. Die Uran-

erzhalden sind weder abgedeckt noch abgesperrt und reichen zum Teil bis unmittelbar an Wohnhäuser (zum Beispiel in Crossen und Schlema) und Felder und Weiden (zum Beispiel bei Paitzdorf) heran. In Schneeberg sind bis heute bewohnte Häuser auf alten Halden oder über alten, zu Kellern umfunktionierten Bergwerksschächten erbaut worden. Entsprechend hoch ist in ihnen der Radongehalt der Atemluft.

Radonausgasungen bereits 1913 in Verdacht

Agricola und Paracelsus berichteten bereits im frühen 16. Jahrhundert pauschal von einer „Bergsucht“, an der sehr viele Bergleute starben. Die erste schriftlich fixierte Äußerung über einen möglichen ursächlichen Zusammenhang zwischen Radioaktivität in den Schneeberger Gruben und dem Lungenkrebs der dortigen Bergleute fand der Internist und Arbeitshygieniker Professor Dr. Werner Schüttmann, früher Leiter der Hauptabteilung Strahlenschutzmedizin des Staatlichen Amtes für Atomicherheit und Strahlenschutz (SAAS) der DDR, im Bergarchiv in Freiberg in den Unterlagen des Jahrgangs 1913. Schüttmann beschäftigt sich seit seiner Emigration als Honorarprofessor für Arbeitshygiene an der Berliner Humboldt-Universität bevorzugt mit der Geschichte des Strahlenschutzes und der Strahlenforschung. Der damalige Zwickauer Bergdirektor H. E. Müller, betrachtete nach den Äußerungen in einer Gutachtenakte zur Lungenkrebskrankung eines Schneeberger Bergschmiedes „den Schneeberger Lungenkrebs als eine besondere Berufskrankheit der Gruben, deren Gesteine Radium enthalten und deren Luft mit starker Emanation beladen ist“.

Von den Gesundheitsbehörden des damaligen Freistaates Sachsen wurden zwischen 1922 und 1926 insgesamt 5 Reihenuntersuchungen von Schneeberger Bergleuten durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Ergebnisse im Jahre 1926 waren von 154 erfaßten Bergleuten in 3 1/4 Jahren 21 verstorben. Unter diesen wurde in 13 Fällen durch Sektion die Diagnose Lungenkrebs gestellt. Damit waren 62 Prozent der verstorbenen Bergleute Opfer des Schneeberger Lungenkrebses. Bei Einbeziehung begründeter klinischer, jedoch nicht sezierter Verdachtsfälle erhöhte sich dieser Satz auf 71 Prozent. Damit ergab sich für den Lungenkrebs als Todesursache Schneeberger Bergleute eine annähernd gleich große Häufigkeit wie zur Zeit von Härtung und Hesse, die 1879 umfangreiche Untersuchungen zur Schneeberger Lungenkrankheit veröffentlicht hatten, wonach zu jener Zeit 75 Prozent der dortigen Bergleute an einem „primären

Lungenkrebs“ verstarben. Härtung und Hesse waren die ersten, die diese Erkrankung als Lungenkrebs identifizierten. Heute weiß man, daß es sich dabei stets um ein vom Bronchialepithel ausgehendes Karzinom handelt.

Die Schneeberger Lungenkrankheit ist unter dieser Bezeichnung auch in der nach 1925 im ehemaligen Deutschen Reich erlassenen Überarbeitung der Berufskrankheitenverordnung enthalten gewesen. Sie galt als Musterbeispiel einer Berufskrankheit, lange bevor ihre Ursache erkannt war. Desgleichen wurde sie in den entsprechenden Nachfolgeverordnungen in der DDR von 1950 und 1957 unter einer selbständigen Ziffer aufgeführt. Allerdings war der Geltungsbereich der Anerkennung als Berufskrankheit 1925 noch auf „Betriebe des Erzbergbaues im Gebiet Schneeberg“ beschränkt und nur zögerlich erweitert. Zunächst wurde zur Anerkennung als Berufskrankheit auch noch der Nachweis einer gleichzeitig bestehenden Steinstaublung (Silikose) verlangt. 1950 bezog sich dann die Anerkennung auf „Unternehmen des Erzbergbaues im Erzgebirge“ und erst 1957 wurden alle regionalen Beschränkungen weggelassen und der Geltungsbereich allgemein auf „Erzbergbau“ festgelegt. (Schüttmann)

Das Wissenschaftliche Komitee der Vereinten Nationen für die Wirkung der Atomstrahlen (UNSCEAR) erwähnt im Anhang seines Berichts aus dem Jahre 1982 die Radonkon-

zentrationen in den bekannten alten Bergwerken in Schneeberg und Jachymov (St. Joachimsthal) im Erzgebirge als eine Mergwürdigkeit („curiosity“): Die Messungen wurden zu Beginn dieses Jahrhunderts durchgeführt und in den 20er Jahren publiziert. (...) Die Radon-Konzentrationen in verschiedenen Teilen der Schneeberger Schachtanlagen reichten von 20.000 bis 600.000 Becquerel pro Kubikmeter und der Durchschnitt lag bei über 100.000 Becquerel. In Schachtanlagen von Jachymov lagen die Werte übereinstimmend zwischen 10.000 und 300.000, im Durchschnitt bei 100.000 Becquerel pro Kubikmeter.

Die Radonhypothese stieß anfangs vielfach auf Ablehnung. Erst später fand sie eine wesentliche Unterstützung, als sich amerikanische Autoren überzeugen mußten, daß in dem während des 2. Weltkrieges intensivierten Uranbergbau im Colorado Plateau, bei dem außer Radon und silikogenen Gesteinsstäuben keine sonstigen gesundheitsschädlichen Faktoren zu erkennen waren, ebenfalls gehäuft Lungenkrebs auftraten.

„Nach Schließung der Gruben (wegen mangelnder Rentabilität) wird der Schneeberger Lungenkrebs bald nur noch historisches Interesse haben“, hoffte man vor dem 2. Weltkrieg. Diese Hoffnung erwies sich wegen der später bewußt gewordenen weltweiten Allgegenwart von Radon als Illusion. ●

Entstehung, natürliche Vorkommen und Eigenschaften von Radon

Vom Edelgas zum Schwermetall

Radon (Rn-222 und Rn-219) und Thoron (Rn-220), alles natürliche Edelgase und weder zu sehen, noch zu riechen oder zu schmecken, entstehen beim radioaktiven Zerfall von Radium (Ra-226, Ra-223 und Ra-224) im Rahmen der Zerfallsreihen der natürlichen schweren Ausgangselemente Uran-238, Uran-235 und Thorium-232. Natururan besteht zu über 99 Prozent aus Uran-238.

Radon-222 zerfällt innerhalb von etwa 3,8 Tagen zur Hälfte (Halbwertszeit), Thoron bereits innerhalb von 55 Sekunden und Radon-219 innerhalb von 3,9 Sekunden. Dies macht Radon-222 für die Betrachtung des Strahlenrisikos des Menschen wichtiger als Radon-219 und Thoron. Wird allgemein von Radon gesprochen, so ist im wesentlichen praktisch immer das Radon-222 gemeint.

Chemisch gesehen ist Radon ein Edelgas in derselben Gruppe des Periodensystems der Elemente wie Helium, Neon, Argon, Krypton und Xenon.

Die gefährlichen „Töchter“ des Radon

Unmittelbar vor Radon-222 in der Zerfallsreihe liegt Radium-226 mit 1.600 Jahren Halbwertszeit und davor wiederum Thorium-230 (Halbwertszeit 77.000 Jahre) und Uran-234 (Halbwertszeit 244.000 Jahre). Unter Aussendung von hochenergetischer Alpha-Strahlung zerfällt Radon-222 in kaskadenförmiger Abfolge in eine Reihe relativ kurzlebige sogenannte Töchternuklide: Polonium-218, Blei-214, Wismut-214 und Polonium-214. Dies geschieht ebenfalls unter Aussendung von Alpha- und Beta-Strahlung innerhalb von Minuten bis Sekundenbruchteilen. Deshalb machen diese „Töchter“ die eigentliche Gefährlichkeit aus. Danach entstehen daraus das wieder langlebige Blei-210 (Halbwertszeit 22,3 Jahre) und nach weiteren Zwischenschritten das stabile, nicht mehr radioaktive Blei-206.

Sehr feuchter Boden, etwa nach einem Regenguß oder in feuchten Niederungen, strömt nur ungefähr die Hälfte oder ein Drittel der Radonmenge ab wie im trockenen Zustand. Kalter oder gefrorener Boden strahlt ebenfalls weniger Radon ab als im warmen Zustand, wobei aber geringe Temperaturänderungen auch nur geringe Auswirkung haben. Tauperioden, die auf lange Gefrierzeiten folgen, sind mit großen Freisetzungen verbunden. Das Vorkommen täglicher periodischer Schwankungen bei der Ausgasung ist umstritten.

Im Mittel entweichen etwa 10 bis 15 Prozent des gesamten im Erdboden entstehenden Radon-Gases in die Atmosphäre.

Thorium-232 kommt typischerweise dreimal so häufig in der Natur vor wie Uran-238. Da die Halbwertszeit von Thorium gleichzeitig ebenfalls rund dreimal länger ist, zerfällt pro Sekunde etwa gleichviel Thorium-232 wie Uran-238. Thoron (Rn-220 aus Thorium-232) und Radon (Rn-222 aus Uran-238) werden im Boden dadurch in etwa gleicher Aktivitätsmenge erzeugt. Da die Halbwertszeit von Radon aber etwa 6.000 mal länger ist als die des Thoron und die Emissionsrate von Thoron aus dem Boden ungefähr 50 mal höher liegt, ist in der atembaren Luft im Mittel etwa 120 mal mehr Radonaktivität als Thoronaktivität vorhanden. Das gilt nicht für die Luft unmittelbar über dem Erdboden, weil dort die höhere Emissionsrate des Thoron überwiegt.

In Höhen von über einem Meter über dem Erdboden wird die Radonkonzentration in der Luft sowohl von atmosphärischen Einflüssen wie auch von Blütenpollen oder Schmutzpartikeln in der Luft bestimmt. Atmosphärische Stabilität, etwa ruhige Luft am Nachmittag, führt oft zu dieser Tageszeit zu starker vertikaler Mischung und in der Nacht und am frühen Morgen zu geringer vertikaler Mischung, die das Radon-Gas dann wie bei Inversionswetterlagen (Smog) am Boden hält. Ungefähr eine Stunde nach Sonnenuntergang sind die Radonkonzentrationen in freier Luft meist am höchsten.

Unterschiedliche atmosphärische Stabilität und Windverhältnisse führen auch zu Unterschieden im Jahresverlauf. So sind meist die Radonkonzentrationen im Herbst doppelt so hoch wie im Frühjahr. Im Sommer und Winter liegen die Werte dazwischen.

Die vorherrschende Windrichtung und die Entfernung vom Meer sind ebenfalls bestimmend für die Radonkonzentrationen der Luft. Da vom Meer erheblich weniger Radon ausströmt als vom Land, hat ein Gebiet im Fallwind weiter Landstrecken eine höhere Radonkonzentration als ein Gebiet im Meereswind, wodurch sich ebenfalls jahreszeitlich bedingt örtlich typische Verläufe ergeben können. ●

Das Arbeitsniveau WL - die Radon-Einheit im Bergbau

Zur Einschätzung der gesundheitlichen Auswirkungen von Radon sind insbesondere auch die Radon-Töchter von Bedeutung. Am genauesten wäre es, die Mengen jeder einzelnen Radon-Tochter zu spezifizieren, was sowohl schwierig zu messen als auch beschwerlich in der Anwendung ist. Deshalb wurde als ein Kompromiß die Einheit des Arbeitsniveaus WL (working level unit) akzeptiert, das ursprünglich zum Gebrauch im Bergbau entwickelt worden war.

Ein WL ist definiert als eine Energie von 130.000 Mega-Elektronenvolt (MeV), die von einer Mischung aus Alpha-Partikeln in einem Liter Luft stammt. Diese Energie ist genauso groß wie die der Töchtern von 3,7 Becquerel Radon, die diese im Gleichgewicht bei ihren Alpha-Zerfällen aussenden.

Wenn alle Tochterprodukte sich im Zerfallsgleichgewicht befänden, würde eine Radon-Konzentration von 3,7 Becquerel pro Liter oder 3.700 Becquerel pro Kubikmeter Luft 1 WL ergeben. Das entspricht einem Becquerel-Verhältnis von Radon-222 : Polonium-218 : Blei-214 : Wismut-214 = 1 : 0,1 : 0,52 : 0,38.

Insbesondere in Abhängigkeit von Luftbewegung und Luftaustausch sind die Töchter jedoch üblicherweise in einer geringeren als der Gleichgewichtskonzentration vorhanden, so daß 1 WL im Bergbau etwa 2- bis 3mal soviel Radon-Gas, 7.400 bis mehr als 11.000 Becquerel pro Kubikmeter entsprechen kann.

Zum Beispiel: Wenn das Verhältnis von Radon-222 : Polonium-218 : Blei-214 : Wismut-214 = 1 : 1 : 0,5 : 0,25 ist und 3.700 Becquerel Radon pro Kubikmeter vorhanden sind, dann ist das Arbeitsniveau $(1 \times 0,1) + (0,5 \times 0,52) + (0,25 \times 0,38) = 0,46$ WL.

In der Praxis wird oft die Konzentration von Blei-214 bezogen auf 3.700 Becquerel pro Kubikmeter dem WL gleichgesetzt, in diesem Beispiel also ungefähr 0,5 anstelle des genauen Wertes 0,46. Oft wird auch pauschal das Verhältnis von WL zur Radon-Konzentration (als Vielfaches von 3.700 Becquerel pro

Kubikmeter) angegeben. Dieser Wert wird Gleichgewichtsfaktor F genannt, hier $F = 0,46$ oder rund 0,5.

Die Einheit bezogen auf einen Monat Arbeitsaufenthalt in radonhaltiger Luft unter Tage ist das WLM (working level month): $1 \text{ WML} = 1 \text{ WL} \times 170$ Stunden Arbeitszeit im Monat.

Für eine mittlere Radonkonzentration in freier Luft von 5,5 Becquerel pro Kubikmeter und einem Verhältnis Radon-222 : Töchter = 1 : 1 : 0,7 : 0,6, ($F = 0,7$), ergibt sich ein Wert von $(0,7 \times 5,5) / 3.700 = 0,00104$ WL oder $(365 \times 24) / 170 \times 0,00104 = 0,054$ WLM pro Jahr. So rechnete die Strahlenschutzbehörde der USA (NCRP).

Das Wissenschaftliche Komitee der Vereinten Nationen für die Wirkung der Atomstrahlung, UNSCEAR, ging dagegen von 3,7 Becquerel Radon pro Kubikmeter freier Luft und $F = 0,6$ aus und errechnete damit 0,0006 WL und 0,031 WLM pro Jahr in freier Luft.

Die Zahl der zusätzlichen Lungenkrebs-Toten, die auftreten, wenn 1 Million Menschen während ihres Lebens insgesamt einer Radon-Belastung von 1 WLM ausgesetzt sind (das entspricht zum Beispiel einem einjährigen Aufenthalt in Luft mit rund 100 Becquerel pro Kubikmeter bei $F = 0,7$), haben verschiedene Untersuchungen und Kommissionen in den letzten Jahren zwischen 115 und 730 abgeschätzt.

Studie	Lungenkrebs-Tote pro 1 Million Personen-WLM
UNSCEAR 1977	200-450
BEIR III 1980	730
NCRP 1984	130
EPA 1986, 1988	115-400
ICRP 1987	170-230
BEIR IV 1988	350
UNSCEAR 1988	150-450
EPA 1989	360
ICRP 1990	360

Das Strahlenrisiko

2000 bis 6000 Lungenkrebstote jährlich in der Bundesrepublik durch Radon

Als Gas gelangt Radon beim Atmen mit der Luft in die Lunge. Insbesondere an Stäube und Rauch angelagert gilt das auch für die Zerfallsprodukte von Radon, den Polonium-, Blei- und Wismut-Nukliden. Dort kann die Alpha- und Beta-Strahlung dieser Partikel ihre zerstörerische Wirkung entfalten und als bekanntestes Beispiel Lungenkrebs erzeugen. Radon ist ein Edelgas und wird deshalb nicht im Stoffwechsel des Körpers verarbeitet. Zwar kann es sich wie alle Gase auch rein physikalisch, ohne chemische Verbindung, in Flüssigkeiten lösen, das geschieht aber wie beschrieben nur in kaltem Wasser und Erdöl in einem hohen Grade. In der körperwarmen Blutflüssigkeit etwa, ist dagegen die Löslichkeit gering.

Deshalb wird die Lunge als das für Radon und seine Töchter kritische Organ gehalten.

Neueste Untersuchungsergebnisse zeigen jedoch (Henshaw u.a. 1990), daß Radon in Fettzellen 16 mal löslicher ist als etwa im roten Knochenmark, das im Alter zunehmend von Fettzellen durchsetzt wird. Deshalb könnten bei Belastungen bis 100 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft durchaus auch Leukämien vor Lungenkrebs im Vordergrund stehen.

Höheres Radon-Strahlenrisiko bei Aufenthalt in Innenräumen

Die Radon-Konzentrationen in der Luft von Innenräumen sind meist

höher als in freier Luft. Hausbauten wirken wie Käseglocken, unter denen sich das Gas sammelt. In Kellerräumen „fließt“ das Radon-Gas aus dem umgebenden Erdreich zusammen, ähnlich Wasser in einer Pfütze. Radon ist etwa 7 mal schwerer als Luft, weshalb im Keller und im Erdgeschoß die Konzentrationen meist höher sind als in den oberen Stockwerken. Aber auch aus Baumaterialien können bedeutende Mengen Radon ausgasen und die Radonkonzentration in der Zimmerluft erhöhen.

Einen entscheidenden Einfluß auf die Radonkonzentration in Räumen hat das Lüften. Zu Energiesparzwecken wurden in den letzten Jahren zunehmend dichtere Fenster und Türen in Häuser eingebaut, die den Luftwechsel in den Räumen drastisch herabsetzen. In erster Näherung ist in Häusern die durch Inhalation der Radon-Zerfallsprodukte verursachte Lungendosis umgekehrt proportional zur Luftwechsellzahl. Dies bedeutet, daß sich durch eine Verringerung der Lüftungsrate auf ein Fünftel die Strahlenbelastung der Lunge verfünffacht.

In den Jahren 1980 bis 1984 wurden unter der Federführung des Instituts für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes bundesweite Erhebungsmessungen durchgeführt. Danach wurden in einem Zehntel von rund 6.000 untersuchten Wohnungen mehr als 80 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft und in jeder hundertsten Wohnung mehr als 200 Becquerel pro Kubikmeter festgestellt. Insgesamt umfaßten die Messungen einen Bereich von einigen wenigen bis zu mehreren 1.000 Becquerel pro Kubikmeter. Gehäuft traten danach Radon-Konzentrationen von 40 (Median) und durchschnittlich (arithmetischer Mittelwert) von 50 Becquerel pro Kubikmeter auf. Diese mittleren Konzentrationswerte hätten nach Berechnungen des Bundesgesundheitsamtes eine äquivalente Radon-Gleichgewichtskonzentration der Radon-Töchter von 15 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft zur Folge. Die daraus sich ergebende Äquivalentdosis im kritischen Bronchialepithel betrage etwa 1.500 Millirem (15 Millisievert) pro Jahr und die jährliche effektive Äquivalentdosis ungefähr 100 Millirem (1 Millisievert). Damit würden 3 bis 10 Prozent der heutigen Lungenkrebsfälle durch das Einatmen von Radon und seinen Töchtern in Häusern verursacht. (Dies unter Zugrundelegung einer früher einmal experimentell ermittelten Ausdünnung der Radontöchter in Häusern auf 35 Prozent der Radonkonzentration (Gleichgewichtsfaktor $F = 0,35$; nach einem Modellversuch des Kernforschungszentrums Karlsruhe lag die Ausdünnung der Radontöchter zwischen 24 Prozent der Radonkonzentration in sauberer Luft und 60 Prozent in rauchiger Luft)).

Untersuchungen in Norwegen kommen zu der Annahme, daß zwischen 10 und 30 Prozent der Lungenkrebsfälle der norwegischen Bevölkerung durch Radonbelastungen in Wohnungen ausgelöst werden.

1988 veröffentlichte das Wissenschaftliche Komitee der Vereinten Nationen für die Wirkung der Atomstrahlung (UNSCEAR) seine Sammelstudie „Quellen, Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung“. Sie enthält die in den vergangenen Jahren in mehreren Ländern durchgeführten Meßprogramme zur Erhebung der Konzentration von Radon und seinen Zerfallsprodukten in der Raumluft von Häusern. Die Meßwerte der etwa 100.000 Wohnungen reichen von einem bis 100.000 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft.

Die Unabhängige Meßstelle Berlin führte seit Herbst 1989 mehr als 300 Radon-Messungen in Häusern und Wohnungen durch. In etwa einem Drittel der Gebäude fanden sich (einschließlich der Kellerräume) Belastungen von 100 und mehr Becquerel Radon pro Kubikmeter Raumluft. Die höchsten im Westen Deutschlands gemessenen Werte waren dabei 11.450 und 6.788 Becquerel pro Kubikmeter Luft in Küche und Wohnzimmer eines Einfamilienhauses in Ellweiler im Hunsrück. Dort hatte die Unabhängige Meßstelle Berlin in Zusammenarbeit mit der örtlichen Bürgerinitiative Serienmessungen durchgeführt. Von anderer Seite wurde dort auch ein Wert von 34.000 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft gemeldet. Insgesamt sollen in Ellweiler im Landkreis Birkenfeld in Rheinland-Pfalz ein Fünftel der Häuser bis 1.000 und in jedem zehnten Haus mehr als 1.000 Becquerel Radon pro Kubikmeter Raumluft vorhanden sein.

Absoluten Spitzenwerten sind die Bewohner des etwa 10.000 Quadratkilometer umfassenden Uran-Bergbaugebietes im Süden Ost-Deutschlands ausgesetzt. Zwischen dem Westerzgebirge und Ostthüringen hat die Sowjetisch-Deutsche Aktiengesellschaft (SDAG) Wismut nach dem 2. Weltkrieg Uranabbau betrieben und das Unterste zu oberst gekehrt. Etwa im erzgebirgischen Schneeberg ermittelte die Unabhängige Meßstelle Berlin im Wohnzimmer eines Einfamilienhauses mehr als 30.000 Becquerel Radon pro Kubikmeter Raumluft. Aber auch mehr als 100.000 Becquerel pro Kubikmeter sind dort durchaus nicht ungewöhnlich. In solchen Häusern leben Familien mit Kindern. Würden solche Radonkonzentrationen in der Luft von Bergwerken herrschen, dürften die Bergleute nicht in die Gruben einfahren. Dort sollen nach einer Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation 1.500 Becquerel pro Kubikmeter Luft nicht überschritten werden.

Den bisher höchsten für mitteleuropäische Gebäude bekanntge-

wordenen Wert hat die Unabhängige Meßstelle Berlin im Juli 1990 gemessen. Er lag bei 800.000 Becquerel Radon pro Kubikmeter Luft im Keller eines Schneeberger Einfamilienhauses, als Durchschnittsbelastung über 3 Tage.

Womöglich mehr als 6000 Lungenkrebstote jährlich in der Bundesrepublik durch Radon und seine Töchter

Professor Dr. Wolfgang Jacobi, Leiter des nicht atomunfreundlichen Instituts für Strahlenschutz der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF) in Neuherberg bei München, kalkulierte die Strahlengefährdung durch Radon wie folgt:

Die Menschen halten sich bei uns zu etwa 80 Prozent ihrer Zeit, etwa 7.000 Stunden pro Jahr, in Gebäuden auf. Der erwachsene Mensch atme dabei jährlich etwa 5.000 Kubikmeter Innenraumluft ein. Gehe man von einer mittleren Radon-Konzentration von 50 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft aus, wie sie nach den Messungen des Bundesgesundheitsamtes in der Bundesrepublik vorhanden sein sollen, so bedeute dies, daß wir jährlich eine Radon-Aktivität von etwa 250.000 Becquerel einatmen. Die jährlich eingeatmete Aktivität der einzelnen kurzlebigen Zerfallsprodukte ist etwas geringer, da diese Nuklide in der Raumluft nicht im radioaktiven Gleichgewicht mit Radon stehen. Sie dürften insgesamt etwa 300.000 bis 400.000 Becquerel pro Jahr betragen. 70 Prozent hiervon entfallen auf die alpha-strahlenden Töchter Polonium-218 und -214. Radon werde als Edelgas nicht im Körper gebunden und seine physikalische Löslichkeit in den Körpergeweben sei niedrig. Entscheidend sei deshalb das Einatmen der kurzlebigen Zerfallsprodukte von Radon. Diese würden beim Einatmen zum Teil in der Lunge abgeschieden und bewirkten vor allem eine relativ hohe Alpha-Strahlung im Oberflächengewebe (Epithel) der Bronchien, einem bezüglich der Krebsentstehung sehr empfindlichen Gewebe. Bedingt durch das Einatmen der Radon-Zerfallsprodukte in Häusern sei die Strahlenbelastung des Bronchialepithels erheblich höher als die natürliche Strahlenbelastung aller anderen Organe beziehungsweise Gewebe des menschlichen Körpers, erklärt Jacobi weiter. Insgesamt wäre im Mittel eine Bronchialdosis von knapp 2.000 Millirem (20 Millisievert) pro Jahr zu erwarten. Dies ist mehr als das Zehnfache der mittleren natürlichen Strahlenbelastung anderer Körpergewebe. Bei Bewohnern von Häusern mit mehr als 50 Becquerel Radon pro Kubikmeter Raumluft ergeben sich entsprechend höhere Dosiswerte.

Neben der sonstigen natürlichen

und medizinischen Strahlenbelastung sei deshalb das Einatmen der Radon-Zerfallsprodukte in Häusern einer der wichtigsten, wenn nicht der wichtigste Anteil der Strahlenbelastung der Bevölkerung, meint Jacobi. Entsprechend den 1987 veröffentlichten Ergebnissen einer Arbeitsgruppe der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) unter dem Vorsitz von Jacobi und einem 1988 veröffentlichten Bericht des BEIR IV-Komitees der Akademie der Wissenschaften der USA, erwartet Jacobi, daß etwa 4 bis 12 Prozent der derzeitigen Lungenkrebshäufigkeit in der Bevölkerung mit dieser Strahlenbelastung verknüpft sein könnte - bei im Mittel 50 Becquerel Radon pro Kubikmeter in den Häusern und einer gleichgewichtsäquivalenten Konzentration der kurzlebigen Zerfallsprodukte von etwa 20 Becquerel pro Kubikmeter.

Bei heute jährlich etwa 730 Todesfällen von Männern und 150 von Frauen infolge Lungenkrebs pro 1 Million Bundesbürger, würden davon etwa 30 bis 90 männliche und etwa 6 bis 18 weibliche Lungenkrebsopfer auf die Belastung durch Radon zurückzuführen sein. Bezogen auf die gesamte Bevölkerung West-Deutschlands wären dies 2.000 bis mehr als 6.000 Lungenkrebstote jährlich durch Radon und seine Töchter.

„Wie schlimm ist das Zeug nun wirklich?“

Diese konkrete Frage stellte eine Bewohnerin von Großschloppen im Fichtelgebirge, nachdem in ihrem Haus eine Radon-Strahlenkonzentration von 2.000 Becquerel pro Kubikmeter festgestellt worden war. Das war 1986. Damals hatten Strahlenforscher in dem kleinen Flecken im Fichtelgebirge umfangreiche Messungen durchgeführt. 300 Meter unter diesem Ort in „Deutsch-Sibirien“ (Orts-Jargon) nahe der Grenze zur (ehemaligen) DDR verläuft eine Uranader. In den etwa einem Dutzend Bauernhöfen und Wohnhäusern kamen Spitzenwerte bis zu 3.000 Becquerel pro Kubikmeter ans Tageslicht. Dazu sagte damals Professor Dr. Karl Aurand, ehemals Leiter des Berliner Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes: „Das ist der tausendfache Wert an Strahlendosis, der nach Tschernobyl bei uns wirksam wurde“. Und da in der Vergangenheit nur die Durchschnittswerte diskutiert worden seien, müßte jetzt, so Aurand, an die hohen Werte herangegangen werden.

Trotzdem fiel die Antwort der Wissenschaftler „nur halbherzig“ aus, wie das Magazin Chancen berichtete. Herbert Schmier vom Institut für Strahlenhygiene beim Bundesgesundheitsamt erklärte diese

Vorsicht mit dem Hinweis, die Bevölkerung hätte durch die Erläuterung seltener Einzelwerte nicht beunruhigt werden sollen. Zudem sei der Zusammenhang zwischen Krebs und Radon nicht „eindeutig erwiesen“. Auf entsprechende Fragen aus der Bevölkerung in Sachsen und Thüringen hat das Staatliche Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz (SAAS) der DDR in der Vergangenheit ähnlich reagiert und einfach nur weitere Messungen empfohlen, ohne zu warnen und ohne konkrete Schritte zur Abhilfe anzugeben.

So selten wie bisher behauptet sind höhere Werte aber nun doch nicht, wie die inzwischen bekannten Ergebnisse zeigen. Insbesondere nicht in Sachsen und Thüringen. Deshalb sei hier eine etwas weniger „halbherzige“ Aussage gewagt:

Entsprechend den Rechnungen von Jacobi würden Personen etwa in Schneeberg im Erzgebirge oder in Ellweiler in Rheinland-Pfalz, die sich zu 80 Prozent ihrer Zeit in Gebäuden aufhalten, je 1.000 Becquerel pro Kubikmeter Radon-Strahlenkonzentration in der Raumluft und während eines 70 Jahre dauernden Lebens ein um etwa 170 Prozent erhöhtes Risiko haben, an Lungenkrebs zu erkranken.

Oder anders ausgedrückt: Das bereits ohne Radon vorhandene Risiko an Lungenkrebs zu erkranken, wird unter diesen Voraussetzungen um mehr als das Zweieinhalbfache erhöht. Beziehungsweise, je 100 Becquerel Radon pro Kubikmeter Raumluft erhöht sich das Risiko um etwa 17 Prozent. Bei 30.000 Becquerel Radon pro Kubikmeter Luft in Schneeberger Häusern, wäre also dort das Lungenkrebsrisiko etwa 50-fach höher als anderswo.

Aber auch dieses Beispiel spiegelt vielleicht nicht einmal die halbe Wahrheit wieder. Denn ihm liegen Schätzwerte zugrunde, die mit Modellen zur Lungendosimetrie für die Inhalation von Radon-Zerfallsprodukten bei gesunden Erwachsenen erarbeitet wurden. Wie aber steht es mit Kindern? Und wie steht es zum Beispiel mit Frauen im Vergleich zu Männern? Dazu meint Wolfgang Jacobi von der GSF recht lapidar, daß bei Kindern eineinhalb bis zwei-

fach höhere Dosiswerte „nicht auszuschließen“ seien. Einjährige Kinder zum Beispiel reagieren nach den von Jacobis Institut erstellten Dosistabellen mehr als sechsfach empfindlicher auf Radon als Erwachsene.

Drei Zigaretten täglich verdoppeln das Lungenkrebsrisiko durch Radon und seine Töchter

Aus Bergarbeiterstudien ist bekannt, daß Raucher ein erheblich höheres Risiko als Nichtraucher tragen, wenn man einen synergistischen Effekt von Strahlung und Rauchen in Betracht zieht. Die vom epidemiologischen Standpunkt aus weltweit am weitesten fortgeschrittene prospektive Untersuchung, wird zur Zeit noch von Professor Edward P. Radford, England, durchgeführt. Er hat die Sterbedaten von 1.415 schwedischen Eisenerzarbeitern analysiert, die unter Tage gearbeitet haben und dort im Vergleich zu Arbeiten im Uranbergbau verhältnismäßig niedrigen Radon-Konzentrationen und dessen Zerfallsprodukten ausgesetzt waren. Die beobachteten Männer waren zwischen 1880 und 1919 geboren worden und lebten noch sämtlich am 1. Januar 1930. Bis Ende 1986 waren noch 30 Prozent am Leben. Unter den Bergleuten fand Radford bis dahin 73 Todesfälle durch Lungenkrebs. Im Vergleich zur schwedischen Gesamtbevölkerung wären nur 17,6 Fälle zu erwarten gewesen. Das absolute zusätzliche Lungenkrebsrisiko für Zigarettenraucher, so Radford, sei 1,66 mal so groß wie das der Nichtraucher.

Der Einfluß des Rauchens auf die Entstehung von Lungenkrebs wird heute allgemein dahingehend beurteilt, daß eine Strahleneinwirkung eigentliche Ursache für die Bildung bösartiger Zellen im Lungengewebe ist und Rauch und andere Ursachen im wesentlichen deren Fortbestehen, Wachstum und Vermehrung bestimmen. So können etwa drei Zigaretten täglich das Risiko zur Ausbildung von Lungenkrebs infolge Radon verdoppeln und täglich 20 Zigaretten verfünffachen.

Neue Studie aus England beschreibt weitere Radonfolgen

Auch Leukämien und Kinderkrebs durch Radon in der Wohnung

Nicht nur Lungenkrebs, auch Erkrankungen an Myeloischer Leukämie, Nierenkrebs, Malignem Melanom und insbesondere Krebserkrankungen im Kindesalter zeigen international ebenfalls einen deutlichen Zusammenhang zur Radonbelastung im Haus. Für die Myeloische Leukämie legt eine Analyse der Situation in

Großbritannien nahe, daß 6 bis 12 Prozent dieser Erkrankungen durch das radioaktive Edelgas Radon verursacht sein könnten. In Cornwall, wo die Radonbelastung höher ist als im übrigen Großbritannien, könnten es sogar 23 bis 45 Prozent sein. Für die weltweite Radonbelastung von durchschnittlich 50 Becquerel pro

Kubikmeter Raumluft, könnten 13 bis 25 Prozent aller Erkrankungen an Myeloischer Leukämie im Radon ihre Ursache haben. Zu diesen Ergebnissen kommen Denis L. Henshaw, Jonathan P. Eatough und Richard B. Richardson vom H.H.Wills Physics Laboratory der Universität Bristol in Großbritannien, in einer am 28. April 1990 in der angesehenen Medizinzeitschrift *The Lancet* veröffentlichten Studie.

Für 12 europäische Länder, Japan, Kanada und die USA verglichen die englischen Wissenschaftler die Zahlen der auftretenden Leukämien und anderer Krebserkrankungen mit den Radonkonzentrationen in Wohnhäusern. Radon selbst wird vom Organismus praktisch nicht verstoffwechselt und liegt in den meisten Körpergeweben nur in geringer Menge physikalisch gelöst vor. Allerdings, erklären Henshaw, Eatough und Richardson jetzt, ist Radon in Fettzellen 16 mal löslicher als im roten Knochenmark. Mit zunehmendem Alter wird das blutbildende Knochenmark von Fettzellen durchsetzt. Dorthin kann Radon-Gas nach dem Einatmen gelangen, indem es von dem die Lunge durchströmenden Blut physikalisch gelöst und so durch den Körper transportiert wird. Der radioaktive Zerfall von Radon und der seiner sich dann dort ablagernden Töchter, die kurzlebigen, ebenfalls radioaktiven metallischen Polonium-, Blei- und Wismutnuklide, wirkt dort schädigend auf die blutbildenden Zellen ein, erklären die Wissenschaftler. Wegen des Mangels an Fettzellen beim Fetus im Mutterleib, ist dieser trotz größerer Strahlenempfindlichkeit zunächst geringeren Belastungsdosen ausgesetzt als im späteren Kindes- oder Erwachsenenalter.

Die Autoren geben für die Jahresdosen bei verschiedenen Radonkonzentrationen in der Luft die in der Tabelle dargestellte Verteilung an.

Die Mittelwerte der Radonkonzentrationen der 15 untersuchten Länder liegen zwischen 9 und 100 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft. Dafür fanden die Autoren überzufällig deutliche (signifikante) Zusammenhänge bei Kinderkrebs, speziell des Gehirns und des Rückenmarks, bei Leukämien, beim Knochenkrebs (Osteosarkom) und dem Melanom der Haut. Für alle Altersklassen ergaben sich zudem deutliche Zusammenhänge bei Myeloischen Leukämien, speziell am Beispiel Kanadas auch bei der Akuten Myeloischen Leukämie (AML) und bei Nierenkrebserkrankungen. Letzteres wird darauf zurückgeführt, daß die Niere Filterorgan für die Ausscheidung der metallischen radioaktiven Zerfallsprodukte des Radon ist.

Interessanterweise zeigte sich im Rahmen dieser Studie, die mittlere Radonbelastungen bis 100 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft no-

Tabelle **Jahresdosen
in Microsievert (μSv)
bei Radonkonzentrationen
der Atemluft in Becquerel
pro Kubikmeter (Bq/m^3)**

Radonkonzentration 20 Bq/m^3

Erwachsener, Knochenmark 80-100 μSv
Kind, 10jährig, Knochenmark

60-110 μSv
Fetus 15-45 μSv

Radonkonzentration 400 Bq/m^3

Erwachsener, Knochenmark 2360 μSv
Kind, 10jährig, Knochenmark 2370 μSv
Fetus 990 μSv

Radonkonzentration 1.000 Bq/m^3

Erwachsener, Knochenmark 6920 μSv
Kind, 10jährig, Knochenmark 6310 μSv
Fetus 2220 μSv

((1 μSv (Mikrosievert)
= 0,1 mrem (Millirem))

tiert, kein Zusammenhang zu dem aus dem Uranbergbau vorherrschend bekannten Radoneffekt, dem Lungenkrebs. Dies, so die Autoren, mag den sehr verschiedenen Bedingungen in Uranbergwerken im Vergleich zum Leben in Wohnhäusern zuzuschreiben sein. Die Lungendosis werde wesentlich durch die radioaktiven metallischen Zerfallsprodukte des Radongases bestimmt, die in der Lunge liegenbleiben, während sich die Bela-

Radioaktive Quellen

Lungenkrebs im Radon-Kurort

Zu Unrecht verkannt wird nach Ansicht von Vertretern deutscher und österreichischer Kurorte das radioaktive Edelgas Radon. Die Strahlung des Stoffes sei nicht etwa schädlich, sondern könne bei vielen Krankheiten Linderung verschaffen. Kurorte wie Bad Kreuznach, Bad Münster, Bad Steben, Badgastein, Bad Hofgastein und Bad Zell wollen „eine Lanze für dieses natürliche Heilmittel brechen“ (Süddeutsche Zeitung, 22.11.1988). Als das Phänomen der Radioaktivität entdeckt wurde, stellte man fest, daß Mineralwasser größere Mengen davon enthielt. Daraus wurde der Schluß gezogen: Die Wässer sind gut für die Gesundheit, die Wässer sind radioaktiv, also ist Radioaktivität gut für die Gesundheit (Eisenbud).

In sogenannten Radonkurorten wird radonhaltiges Wasser und radonhaltige Luft für therapeutische Zwecke verwendet. Egon Pohl von der Abteilung für Biophysik am Institut für Allgemeine Biologie, Biochemie und Biophysik der Universi-

stung des blutbildenden Knochenmarks aus dem Vorhandensein von zunächst eingeatmetem Radongas in den umgebenden Fettzellen ergibt. Dabei schätzen die Autoren für die allgemeine Bevölkerung die Zahl der radonbedingten Erkrankungen an Lungenkrebs etwa 10 mal höher als die an Leukämie. Die Ablagerung der Radontöchter in den Lungen der Arbeiter in Uranbergwerken sei mehr als 5 mal höher als unter normalen Lebensbedingungen. Während der Arbeit wird tiefer und häufiger geatmet und die Luft in Uranbergwerken enthalte typischerweise ein Übermaß an Radonzerfallsprodukten, was noch einmal eine etwa dreifache Erhöhung der Lungendosis zur Folge habe. Insgesamt könne deshalb die Strahlenbelastung bei den Bergarbeitern 15 mal höher sein als bei der übrigen Bevölkerung und die Zahl der Lungenkrebserkrankungen 150 mal größer als die der Leukämien.

Edward P. Radford, England, berichtete 1989 ebenfalls als Spätwirkung von einer signifikanten Zunahme von bösartigen Erkrankungen des myeloischen Systems und einer dreifachen Erhöhung der Leber- und Gallenblasen-Krebsfälle unter schwedischen Eisenerzarbeitern, die mit knapp 700 Becquerel Radon pro Kubikmeter Luft (4,8 WLM/a) geringeren Konzentrationen ausgesetzt sind als Uranbergarbeiter. Lungenkrebs-Todesfälle zählte er 73 unter 1415 Arbeitern, während im Vergleich zur Gesamtbevölkerung nur 17,6 zu erwarten gewesen wären. ●

tät Salzburg in Österreich, hat mit seinen Mitarbeitern langjährige Untersuchungen im Radon-Kurort Badgastein vorgenommen. Die dort entspringenden Thermalquellen liefern täglich 5 Millionen Liter Wasser mit einem durchschnittlichen Radongehalt von 1.480 Becquerel pro Liter. Auf diese Weise werden im Ortsgebiet von Badgastein jährlich mehr als 2 Billionen Becquerel Radon-222 freigesetzt, erklärt Pohl. Dementsprechend träten hohe Radonkonzentrationen der Luft nicht nur in den eigentlichen Therapieräumen der Kurhäuser, sondern auch in normalen Arbeits-, Wohn- und Schlafräumen auf.

Im benachbarten Bockstein wird seit 1949 ein Bergwerkstollen als sogenannter Heilstollen für eine Radoninhalationstherapie benützt. Die bis zu 41 Grad Celsius heiße Luft in diesem Stollen enthalte im Durchschnitt 111.000 Becquerel Radon pro Kubikmeter.

Für diesen Zustand berechnet Pohl Strahlenbelastungen der Bron-

chialzellen der Lunge von jährlich 500 bis 2.000 Millirem (5 bis 20 Millisievert) für Einwohner am Ortsrand von Badgastein. Bewohner des Zentrums dieses Kurortes sind 8.000 Millirem (80 Millisievert) jährlich ausgesetzt. Bis 15.000 und 20.000 Millirem (150 bis 200 Millisievert) sind es danach jährlich für das Personal der Badbetriebe und des zum „Heilstollen“ gehörenden Krankenhauses, bis 58.000 Millirem (580 Millisievert) für die Stollenärzte und -Inspektoren und bis zu 160.000 Millirem pro Jahr (1.600 Millisievert) für die Bergleute und Lokführer im Stollen. Die in den „Heilstollen“ einfahrenden Bergleute müßten damit rechnen, daß nach 20 Jahren Arbeit mehr als jeder Dritte von ihnen an Lungenkrebs erkrankt sein würde, erklärt Pohl. Tatsächlich hatten dort 1982 bereits 3 von 10 Bergleuten Lungenkrebs.

Besucher von Badgastein werden ermutigt, nicht nur radioaktives Wasser zu trinken und darin zu baden, sondern auch in den „Emanatorien“ zu sitzen und das aus dem umgebenden Gestein austretende Radon zu atmen.

Die Salzburger Wissenschaftler Uzunov, Steinhäusler und Pohl trafen

1981 abschließend folgende Feststellung: „Die in hohem Maße positiven Effekte der Patientenbehandlung in Heilbädern, wie sie von Badeärzten dargestellt werden, werden durch uns nicht in Frage gestellt. Allerdings erscheint zweifelhaft, ob Radon eine notwendige und gerechtfertigte Komponente darstellt. Betrachtet man weltweite Versuche, die absichtliche Bestrahlung des Menschen durch ionisierende Strahlung zu reduzieren, so erscheint es als ein offensichtlicher Anachronismus, beträchtliche Bevölkerungsgruppen, in erheblichem Umfang sogar unkontrolliert, einem der stärksten Karzinogene, die man kennt, auszusetzen, d.h. den Alphastrahlen aussendenden Produkten des Radonzerfalls in der Luft.“

Und sogar die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) erklärte 1987 in Como in Italien besorgt, ihr lägen Berichte vor, daß Radonbelastungen ausschließlich zum Zweck der Erholung vorgenommen würden. Die Kommission erinnere die betreffenden Personen daran, daß solche Handlungsweisen ein erhöhtes Risiko für Lungenkrebs zur Folge hätten. ●

Radiumhaltige Mineralwässer

Mineralwässer enthalten durchschnittlich sechs mal mehr Radium als Leitungswasser

„Was nicht untersucht wurde, ist auch nicht drin.“ So läßt sich die Entscheidung der Staatsanwaltschaft Frankfurt am Main vom 22. Februar 1989 kurzfassen, die zu prüfen hatte, ob die Firma VHM Mineral- und Heilquellen GmbH & Co. KG., Offenbach, einen Kunden getäuscht hatte, als sie ihm 1987 mitteilte, Radium-226 sei „aufgrund neuester Untersuchungen“ in ihrem Rosbacher Mineralwasser „nicht vorhanden“. Dabei bezog sich die Firma auf Untersuchungsbescheide des Instituts Fresenius in Traunstein.

Tatsächlich hatte eine Untersuchung des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes in Berlin ergeben, daß mit 1.280 beziehungsweise 851 Millibecquerel pro Liter Spitzenwerte vorgelegen hatten. Die Messungen des Bundesgesundheitsamtes waren in den Jahren 1979 bis 1983 erfolgt. In den regelmäßigen Untersuchungen des Fresenius-Instituts war dagegen Radium-226 überhaupt nicht bestimmt worden. Die Staatsanwaltschaft teilte dem Beschwerdeführer mit, daß die Firma sich „gutgläubig“ auf die Untersuchung von Fresenius hätte berufen können, da dort „von Radium-226“ nicht die Rede war.

Seit der Veröffentlichung von Meßergebnissen des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene im

Jahre 1987 war wiederholt das Augenmerk der westdeutschen Öffentlichkeit auf den teilweise recht hohen Gehalt an Radium-226 in Mineralwasser gelenkt worden.

Radium-226 zerfällt zu Radon-222 und sendet dabei Alpha-Strahlung aus. Chemisch verhält es sich ähnlich wie Kalzium, wird in die Knochensubstanz eingebaut und bestrahlt dort auch die blutbildenden Zellen des Knochenmarks.

1 Becquerel Radium-226 bedeutet für einen Erwachsenen, bezogen auf die effektive Dosis, soviel wie 26 Becquerel Cäsium-137 und 523 Becquerel bezogen auf die Wirkung an der Knochenoberfläche.

Für ein 1 Jahr altes Kind bedeutet 1 Becquerel Radium-226, bezogen auf die effektive Dosis, soviel wie 280 Becquerel Cäsium-137 und etwa 5.000 Becquerel bezogen auf

die Wirkung an der Knochenoberfläche. Diese Vergleiche ergeben sich aus der Strahlenschutzverordnung und den Dosisfaktoren des Instituts für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes.

Will man entsprechend den Vorschriften der Strahlenschutzverordnung für die Belastung durch künstliche Radioaktivität von kerntechnischen Anlagen 30 Millirem (0,3 Millisievert) effektive Dosis und 180 Millirem (1,8 Millisievert) für die Wirkung auf die Knochenoberfläche pro Jahr nicht überschreiten, so sollten Erwachsene bei einer Trinkmenge von 800 Litern jährlich, Wasser mit mehr als 300 Milli-Becquerel (0,3 Becquerel) pro Liter meiden. Für ein einjähriges Kind liegt dieser Höchstwert bei jährlich 250 Litern Trinkmenge bei 160 Milli-Becquerel (1,6 Becquerel) pro Liter.

Nach den Rechenvorschriften der früheren Fassung der Strahlenschutzverordnung vor deren Neufassung im Jahre 1989 und der Einführung des Konzepts der effektiven Dosis, würde dieser Höchstwert dagegen bei nur 12 Milli-Becquerel (0,012 Becquerel) pro Liter liegen.

Laut der Liste des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene werden im Trinkwasser 40 Milli-Becquerel Radium-226 pro Liter nur selten überschritten. Bei den Mineralwässern dagegen enthalten 111 von 268 untersuchten Sorten mehr als 40 Milli-Becquerel pro Liter. In der Regel sind Mineralwässer sechs mal höher mit Radium-226 belastet als Leitungswasser. Die Hälfte der Mineralwassersorten enthält 25 Milli-Becquerel Radium-226 oder weniger, weshalb das Problem für die Gesundheit der Bevölkerung vernachlässigbar erscheinen mag. Nicht mehr vernachlässigbar aber ist das für Menschen, die ausgerechnet die sehr hoch belasteten Mineralwassersorten bevorzugen.

Mit täglich 1 Liter Wasser mit rund 1.000 Milli-Becquerel Radium-226 erreicht ein Erwachsener nach einem Jahr bereits rund 250 Millirem (2,5 Millisievert) Dosis auf der Knochenoberfläche. Und bei einem einjährigen Kind wären es mit täglich einem halben Liter Wasser etwa 800 Millirem (8 Millisievert) biologische Wirkdosis jährlich auf die Knochenoberfläche. Das liegt drastisch außerhalb der Grenzen sogenannter „Schwankungsbreiten natürlicher Strahlung“. ●

Radon-Gas aus Erdöl und Erdgas

Strahlenbelastung beim Kochen und Heizen

Im Vergleich zu reinen Mineralquellen kommen deutlich höhere Radiumkonzentrationen in Lagerstättenwässern vor, die mit Erdöl und Erdgas an die Oberfläche gefördert werden. Das erklären Professor Dr.

Walter Kolb von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig, und Martin Wojcik, sein Kollege von der Universität Krakau. Bereits 1927 wurden im Lagerstättenwasser des nordrussischen

Erdölfeldes Uchta 270 Becquerel Radium-226 je Liter gefunden. Andere Bohrungen lieferten bis zu 0,2 Gramm Radium-226 jährlich, das entspricht rund 7,3 Milliarden Becquerel. 1936 ergaben Messungen norddeutscher Ölwässer bis 13 Becquerel Radium-226 pro Liter. In den USA wurden nach 1945 bis zu 266 Becquerel Radium-226 pro Liter in Lagerstättenwässern gefunden.

Erdöl selbst kann das Gas Radon-222, das Zerfallsprodukt von Radium-226, etwa zwanzigmal mehr als Wasser lösen. In den USA, so Kolb und Wojcik, wird die durchschnittliche Radon-Konzentration in Erdgas heute auf etwa 4 Becquerel pro Liter Erdöl geschätzt.

Für Erdgas aus den Niederlanden werden im Mittel 0,074 Becquerel Radon pro Liter und als Höchstwert 1,7 Becquerel pro Liter genannt. Infolge radioaktiver Ablagerungen in Rohrleitungen kann sich dabei auch die Gammastrahlung in der Umgebung erhöhen.

Bei 115 von 160 Gas- und Erdölquellen ermittelte die PTB örtliche Gamma-Dosisleistungen bis 0,01 Millirem pro Stunde, was 87,6 Millirem im Jahr entspricht. Bei 45 Quellen wurden bis hundertfach stärkere Strahlungen gemessen. Den Rekord hält ein Erdgasfeld westlich der Ems an der niederländischen Grenze, wo mehr als 1 Millirem pro Stunde gemessen wurde, entsprechend 8.760 Millirem (87,6 Millisievert) pro Jahr.

An der Oberfläche eines Salzwassertanks der Gastrocknungsanlage dieses Erdgasfeldes erhöhte sich die Ortsdosisleistung innerhalb weniger Monate von 1 auf 5 Millirem pro Stunde. In den Ablagerungen wurden vor allem die Radionuklide Blei-210, Radium-226, Actinium-227, Radium-228 und Thorium-228 gefunden.

Zum Vergleich: In Berlin beträgt die Ortsdosisleistung üblicherweise etwa 0,0074 Millirem pro Stunde oder rund 65 Millirem im Jahr.

Ein Teil des Lagerstättenwassers gelangt mit dem Rohöl in die Raffinerien und wird erst dort abgetrennt. Eine Schlammprobe aus einer Raffinerie-Kläranlage enthielt je Kilogramm Trockensubstanz 35 Becquerel Radium-228, 44 Becquerel Thorium-228, 17 Becquerel Uran-235 und 4 Becquerel Blei-210. Zum Teil werden die Klärschlämme mit ölhaltigen Rückständen verbrannt. Dann bleiben beträchtliche Radionuklidmengen in der Asche, sofern sie nicht in die Luft geblasen wurden.

Auch in den Kohlenwasserstoffen bleibt Radioaktivität enthalten. In Ethangas-Proben der Raffinerie Heide fanden Kolb und seine Mitarbeiter 0,035 Becquerel Radon-222 pro Liter, in einer Propangas-Probe 0,01 Becquerel pro Liter.

Kolb und Wojcik berechnen daraus, daß der westdeutsche Gesamt-Gasverbrauch von 54 Milliarden Normkubikmeter Erdgas im Jahre

1983 zur Freisetzung von 10 Billionen Becquerel Radon-222 geführt hat. Obwohl dies nur etwa 0,008 Prozent des aus dem Boden aufsteigenden Radon-Gases entspreche, seien das Größenordnungen von Radioaktivität, die als katastrophal angesehen würden, wenn sie aus Kernkraftwerken stammten.

Deshalb ist bereits beim Kochen in Küche eine Erhöhung der Strahlenbelastungen vorhanden, die Kolb und Wojcik auf 0,6 bis 12 Millirem pro Jahr schätzen. Der Verbraucher in Norddeutschland erhalte

Radium in Paranüssen

Der Verzehr von Paranüssen ist genauso riskant wie der von Pilzen

Auch in Lebensmitteln kann Radium enthalten sein, aus dem das Radon entsteht. Dabei geht weniger vom Radon als vom Radium selbst die Gefährdung aus, wenn solche Lebensmittel verzehrt werden.

Speziell Paranüsse enthalten 100- bis 1.000mal mehr Radium als andere Nahrungsmittel. Hinsichtlich seiner biophysikalischen Wirkung ist der Alpha-Strahler Radium-226 am ehesten mit dem Beta-Strahler Strontium-90 zu vergleichen. Es wird in der Knochensubstanz angereichert und verweilt dort praktisch lebenslang. Da derzeit mit einer Mindestaktivität der Radiumnuklide in Paranüssen von 8 Becquerel pro Kilogramm gerechnet werden muß, ist vom Verzehr abzuraten. Eine Im-

im Durchschnitt pro Liter Gas zwischen 0,1 und 0,2 Becquerel Radon-222 mitgeliefert.

So kann auch Heizen eine verstärkte Umweltbelastung mit Radioaktivität verursachen. Laut Kolb steigt in Aerosolproben aus West-Berlin die Aktivität von Uran-238, dem ersten Glied der Zerfallskette, aus der Radon-222 entsteht, typischerweise von rund 50 Becquerel pro Kilogramm im Sommer auf etwa 80 Becquerel pro Kilogramm im Winter an. ●

bestehen. Denn noch im Dezember 1984 hatte die damalige Parlamentarische Staatssekretärin im Bundesministerium für Gesundheit, Irmgard Karwatzki, gemeint, „daß aus strahlenhygienischer Sicht heute kein Anlaß zu besonderen Maßnahmen, etwa einer öffentlichen Warnung vor dem Verzehr dieser Nüsse besteht“.

Vor 30 Jahren bereits wurde die Besonderheit des Paranaßbaumes „Bertolletia excelsa“ bekannt: er kann Radium in seinen Früchten anreichern. In Brasilien und Indien werden hohe Radium-Werte durch Kulturen auf sogenannten monazitinhaltigen Böden verursacht. Aber auch Granitböden haben einen fünf- bis zehnfach erhöhten Radiumgehalt.

Gerd Weckwerth vom Max-

Tabelle

Belastung durch Radium im Vergleich zu Cäsium-137

(Inge Schmitz-Feuerhake, Bremen 1988
nach Inst. f. Strahlenhygiene, Bundesgesundheitsamt, 1985)

Lebensalter	Aktivität von Cäsium-137 in Becquerel, die die gleiche Dosis erzeugt wie 1 Becquerel Radium			
	Effektivdosis		Knochenoberflächendosis	
	Radium-226	Radium-228	Radium-226	Radium-228
1 Jahr	280	882	5.000	4.333
5 Jahre	151	163	3.000	2.561
10 Jahre	79	86	1.561	1.333
15 Jahre	32	35	642	541
Erwachsener	26	27	523	462

portkontrolle von Paranüssen scheint geboten.

Diese Feststellungen in der Fachzeitschrift „Ärztliche Praxis“ veranlaßte das Bayerische Staatsministerium des Inneren im November 1987 in einem Schnellbrief an das Bundesministerium für Gesundheit, die für die Lebensmittelüberwachung zuständigen Landesbehörden und das Bundesgesundheitsamt zu der Nachfrage, ob abweichend von früheren Meinungen etwa Anlaß zu einer öffentlichen Warnung vor Paranüssen

Planck-Institut für Chemie in Mainz hat die Radiumbelastung von Paranüssen aus Brasilien bestimmt und maximal 80 Becquerel pro Kilogramm gefunden. Der Vergleich mit Paranüssen unterschiedlicher Herkunft, beispielsweise Peru, wo die Paranüsse weniger verseucht sind, habe als Mindestaktivität immerhin 8 Becquerel pro Kilogramm Radium-226 ergeben.

Frau Professor Dr. Inge Schmitz-Feuerhake, Universität Bremen, ermittelte um die Jahreswende

1987/88 pro Kilogramm Paranüsse sogar Werte zwischen 50 und 90 Becquerel Radium-226 und 36 bis 104 Becquerel Radium-228.

Zur Abschätzung der Gefährlichkeit vergleicht Schmitz-Feuerhake die Radiumbelastungen mit denen des aus Tschernobyl bekannten Cäsium-137 (siehe Tabelle). Dabei besitzt die relative Gefährdung durch Radium gegenüber Cäsium eine erhebliche Altersabhängigkeit, die sogar für Erwachsene ziemlich hohe Werte annimmt. Aus den Daten der Tabelle ergibt sich, daß bei einer angenommenen Belastung der Paranüsse mit 80 Becquerel pro Kilogramm Radium-226 und 80 Becquerel Radium-228 zum Beispiel bei einem fünfjährigen Kind die gleiche effektive Dosis auftritt, als würden die Nüsse mehr als 25.000 Becquerel Cäsium-137 pro Kilogramm enthalten. Die Knochenbelastung ergäbe sich dabei wie eine Dosis aus nahezu 445.000 Becquerel Cäsium-137 pro

Kilogramm.

Die Dosis aus dem Verzehr von 1 Kilogramm Paranüssen beträgt dabei nach den Berechnungen von Schmitz-Feuerhake für ein Kind von 5 Jahren 368 Millirem Knochenoberflächendosis und 22 Millirem effektive Dosis, und für einen Erwachsenen 102 Millirem Knochenoberflächendosis und 6 Millirem effektive Dosis.

Belastungen in vergleichbarer Höhe sind durch radioaktives Cäsium beim Verzehr einer Pilzmahlzeit aus in Mitteleuropas Wäldern gesammelten Maronenröhrlingen zu erzielen.

Zum Vergleich: Nach der Strahlenschutzverordnung sollen für die normale Bevölkerung pro Jahr durch radioaktive Abgaben aus Kernanlagen 30 Millirem (0,3 Millisievert) effektive Dosis und 180 Millirem (1,8 Millisievert) für die Knochenoberfläche nicht überschritten werden.

Kilogramm. Dieser Beton ist in etwa 100.000 amerikanischen Häusern verwendet worden.

● In nicht ganz so starkem Ausmaß gilt dies auch für Gips aus der Rauchgaswäsche und für die Schlacken und Aschen aus der Kohleverbrennung konventioneller Kraftwerke, die im Straßenbau, im Zement und Beton landen. In der Bundesrepublik fallen so in jedem Jahr rund 2,5 Millionen Tonnen Gips und 13 Millionen Tonnen Stein- und Braunkohleaschen an.

● In Uranbergbaugebieten ist häufig mehr oder weniger „schwach“ radioaktives Abraummaterial aus Gruben und Halden als Baumaterial verwendet worden, zum Verfüllen der Baugrube, für die Fundamentunterlage und zum Teil sogar eingebaut ins Mauerwerk. Hier lassen sich stark erhöhte Radonwerte nachweisen. Abgeschwächt gilt dies auch für Granit-, Tuff- und Bimsgestein.

● Günstig zu bewerten sind dagegen Beton und zementgebundene Steine mit natürlichen Zuschlagstoffen, Kalksandstein Marmor und Holz.

● Je geringer die Porosität, desto weniger Radon wird aus einem Baustoff ausgedünstet. So dünsten ge-

Strahlende Baustoffe

Radon-Ausdünstungen aus Baumaterialien

Natürliches Radium ist in unterschiedlichen Mengen auch in allen mineralischen Baustoffen enthalten. Diese haben damit auch die Fähigkeit Radon auszudünsten. Für die radiologische Beurteilung von Baustoffen gibt es heute noch keinerlei bindende Richtlinien, Vorschriften oder Verordnungen, die den Verbraucher vor stark Radon abgebenden Materialien schützen.

● Chemie-Gips, Ziegelsteine und Beton aus Bergbau- und Industrieabfällen haben einen besonders hohen Radongehalt, wie die nebenstehende Übersicht zeigt. Zu ihrer Herstellung verwendete Neben- oder Abfallprodukte weisen zum Teil große Nuklidkonzentrationen auf.

● Ein Beispiel dafür in der Bundesrepublik ist die Verwendung von Rotschlamm aus der Bauxit-Verarbeitung (Aluminiumherstellung) für die Herstellung von Ziegelsteinen und von Hochofenschlacke für Hohlblocksteine.

● Von größerer Bedeutung ist noch die Verwendung von Abfallprodukten aus der Bearbeitung von Ablagerungsphosphaterzen, die eine relativ hohe Konzentration an Radionukliden aus der Uran-238-Zerfallsreihe aufweisen. Phosphatgips, der durch die Behandlung von Phosphaterzen mit Schwefelsäure gewonnen wird, wird als Baumaterial besonders für die Herstellung von Gipsbau- und Gipskartonplatten verwendet. In diesem Gips kann es zu Konzentrationen über 700 Becquerel Radium-226 pro Kilogramm kommen. Naturgips enthält dagegen nur wenig Radium.

● Hochofenasche aus der Verarbeitung von Phosphaterzen wurde zur Betonherstellung verwandt. Die Asche enthielt Radionuklide der Uran-238-Reihe in Konzentrationen

von mehr als 2.200 Becquerel pro

Übersicht:

Mittlere Radium-226-Konzentrationen und mittlere Radon-Ausdünstungen (Exhalationen) von Baumaterialien aus verschiedenen Ländern

nach: OECD 1979 und Schuler u.a. 1989

Material	Land	Radium-226-Konzentration in Becquerel pro Kilogramm	Radon-Exhalation in Millibecquerel pro Kilogramm und Stunde
Natur-Gips	Bundesrepublik	18	25,2
	Finnland	7	
	Großbritannien	22	
	Niederlande	6,5	
	Norwegen	11	
	Schweden	4	
	Schweiz	15	25,9
USA	12	22,7	
Chemie-Gips (Phosphat-Gips)	Bundesrepublik	592	
	Großbritannien	629	
	Niederlande	450	
	Schweden	15	
	Schweiz	687	
	USA, Florida	1221	
Zement	Bundesrepublik	26	57,6
	Finnland	44	
	Großbritannien	22	
	Niederlande	27	
	Norwegen	30	
	Schweden	55	
	Schweiz	20	23,0
	USA	50	3,6
Kies	Bundesrepublik	15	64,8
	Finnland	37	
	Großbritannien	4	
	Niederlande	9,7	
	Schweden	48	
	Schweiz	25	32,4
	USA	50	7,9

Fortsetzung Seite 12

brannte Steine bei gleichem Radiumgehalt weniger Radon aus als zementgebundene.

Die radiologische Beurteilung von Baustoffen

Die radioaktiven Zerfälle, die in Wänden und Böden stattfinden, führen auch zu einer äußeren Belastung durch Gamma-Strahlung. Durch den Aufenthalt in Gebäuden wird die natürliche erdgebundene äußere Strahlenbelastung im Durchschnitt von 40 auf 50 Millirem (von 0,4 auf 0,5 Millisievert) jährlich erhöht.

Kalium-40, Radium-226 und Thorium-232 sind mit ihren Zerfallsprodukten die wichtigsten Strahler, die in Baustoffen vorkommen. Für die Bewertung von Baustoffen werden in der Literatur verschiedene Summenformeln angegeben, die unter jeweils verschiedenen Voraussetzungen zur radiologischen Qualitätsbeurteilung herangezogen werden. Grundlage ist dabei eine frühere Abschätzung aus dem Leningrader For-

Radonmessungen

Radon in Ihrer Wohnung?

Die Unabhängige Meßstelle Berlin des Strahlentelex untersucht die Konzentration des radioaktiven Edelgases Radon-222 in der Luft Ihrer Räume. Eine Messung kostet 60,- DM, zwei Messungen zusammen 100,- DM und jede weitere 50,- DM. Abonnenten des Strahlentelex erhalten wie immer 30 Prozent Rabatt. Die Messung erfolgt mit Hilfe von Passivsammlern, die Sie drei Tage lang im Keller, in Ihren Wohnräumen oder am Arbeitsplatz aufstellen und danach umgehend wieder zurücksenden. Die gesammelte Radioaktivität wird dann gammaspektrometrisch untersucht und Sie erhalten eine ausführlich dokumentierte Beurteilung der Meßergebnisse.

Unabhängige Meßstelle Berlin des Strahlentelex, Turmstraße 13, 1000 Berlin 21, Tel. 030/3948960. ●

schungsinstitut für Strahlenhygiene („Leningrader Formel“), die eine jährliche äußere Belastung allein durch die Gamma-Strahlung der drei genannten Radionuklide von insgesamt 150 Millirem (1,5 Millisievert) zuließ:

$$A(K40)/4810 + A(Ra226)/370 + A(Th232)/259 \leq 1$$

A ist hierbei die Aktivitätsmenge der jeweiligen Radionuklide Kalium-40, Radium-226 und Thorium-232 in Becquerel pro Kilo-

Übersicht:

Mittlere Radium-226-Konzentrationen und mittlere Radon-Ausdünstungen (Exhalationen) von Baumaterialien aus verschiedenen Ländern

nach: OECD 1979 und Schuler u.a. 1989

Material	Land	Radium-226-Konzentration in Becquerel pro Kilogramm	Radon-Exhalation in Millibecquerel pro Kilogramm und Stunde
Fortsetzung von Seite 11			
Bau-Sand	Bundesrepublik	15	54,0
	Finnland	37	
	Großbritannien	4	
	Niederlande	8,1	
	Schweiz	20	
	USA	34	
Ziegelsteine	Bundesrepublik aus Tonerde	59	5,0
	aus Bauxit-Verarbeitung	281	
	Finnland		
	aus Tonerde	78	
	weiße	22	
	Großbritannien		
	aus Tonerde	52	
	weiße	4	
	Niederlande (Ton)	39	
	Norwegen		
	aus Ton	104	
	Klinker	96	
Schweden (Ton)	96	10,8	
Schweiz (Ton)	46		
USA	44		3,6
Leicht-Bausteine, Hohlblocksteine	Finnland	102	
	Großbritannien	59	
	Schweden	144	
Kalk-Sandstein	Bundesrepublik		13,3
	Niederlande	8,3	
	Schweiz	13	
Granit	Bundesrepublik	100	
	Großbritannien	89	
Gas-Beton	Bundesrepublik		18,0
	Finnland	49	
	Niederlande	21	
	Norwegen	33	
	Schweden		
	ohne Alaunschiefer	55	
	mit Alaunschiefer, prod. 1947-75	1295	
	prod. seit 1974	333	
Schweiz	18	6,5	
Bims-Leichtbeton	Bundesrepublik	74	
	Niederlande	115	
	Schweiz	149	
Schlacken-Leichtbeton	Bundesrepublik	151	
Flugasche	Bundesrepublik	211	
Tuffgestein	Italien		
	Mt. Cimino	129	
	Toscana	241	

gramm. Dabei wurde zur Berechnung anstelle eines realen Hauses modellhaft ein Hohlraum in einem unendlich dicken Baumaterial von gleichmäßiger radiologischer Qualität angenommen. Gestritten wird um die Höhe der zulässigen Belastung.

Für die Abschätzung der Radonausdünstung aus den Baumaterialien sind in der Literatur auf der Grundlage der Aktivitätskonzentrationen von Radium-226 und Thorium-232 weitere Formeln zu finden, die die potentielle Ausgasungs-Kapazität

von Baustoffen zu beschreiben versuchen. Das tatsächliche Vermögen zur Radonausgasung ist so jedoch nicht oder nur sehr unvollkommen zu erfassen. Auch hier wird vorwiegend um die zulässige Belastungshöhe gestritten, die auch nach nicht sehr strengen Abschätzungen etwa

der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) 50 Millirem (0,5 Millisievert) jährlich nicht überschreiten soll. Weitergehende Auseinandersetzungen erfordern den Umgang mit nicht ganz einfach erfaßbaren physikalischen Modellen und deren mathematischer Behandlung. ●

nisse der hier beschriebenen Radon-Reduktionsmethoden.

Diese Empfehlungen sind hauptsächlich für diejenigen gedacht, die ihr Haus bereits auf Radon haben untersuchen lassen und die sich entschlossen haben, Maßnahmen zur Radon-Reduktion vornehmen zu lassen. Sind Sie noch unsicher in ihrer Meinung über das Testergebnis oder benötigen Sie noch weitere Informationen über Radon in Ihrem Haus, so schreiben Sie uns: Unabhängige Meßstelle Berlin des Strahlentelex, Turmstraße 13, 1000 Berlin 21. Oder rufen Sie uns an: Telefon 030/3948960.

Halbierung des Energieverbrauchs verdreifacht die Radonbelastung

Das gesunde Maß beim Energiesparen

Wenn zur Verringerung des Energieverbrauchs Wärmedämmmaßnahmen im Haus durchgeführt werden, dann steigt die Radonbelastung. Das Ausmaß berechnete 1984 Werner Burkart vom Eidgenössischen Institut für Reaktorforschung in Würenlingen in der Schweiz. Die Radon-Konzentration steigt nämlich an, wenn sich der normale Luftaustausch in den abgedichteten Räumen verringert. Für die Bewohner eines Einfamilienhauses mit etwa 100 Quadratmetern an 150 Tagen im Jahr voll behetzter Wohnfläche würde die Strahlenbelastung durch Radon und seine Töchter von etwa 165 auf 545 Millirem effektive Äquivalentdosis im Jahr ansteigen, wenn pro Stunde nicht mehr die ganze Luft, sondern nur noch 30 Prozent ausgetauscht werden, berechnet Burkart. Durch den geringeren Austausch der Innenluft mit kalter Außenluft würden dabei 827 Kilowattstunden Heizenergie eingespart.

Für jeweils 50 Prozent mehr Energieersparnis würde sich danach die Strahlenbelastung durch Radon und seine Töchter verdreifachen:

1.Schritt:

50 Prozent Energieeinsparung
= 3-fache Radonerhöhung

2.Schritt:

erneut 50 Prozent Energieeinsparung
= insgesamt 75 Prozent Energieeinsparung

= $3 \times 3 = 9$ -fache Radonerhöhung usw.

Beim Energiesparen durch Abdichten der Türen und Fenster kommt es also auch auf das richtige Maß an.

In schwedischen Häusern zum Beispiel hat nach einer UNEP-Untersuchung von 1985 zwischen 1950 und 1975 bei einer Senkung des Luftaustauschs von durchschnittlich 80 auf 30 Prozent pro Stunde der Radongehalt im Mittel von 43 auf 133 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft zugenommen. ●

Beauftragte Baufirmen

Einige der Maßnahmen verlangen einen geschickten Service professioneller Bauhandwerker mit speziellen Kenntnissen für die Radon-Reduktionsverfahren. Gerade Geschicklichkeit ist verlangt, Selbsthilfe nicht in jedem Fall möglich. Aber diese Informationen werden Ihnen helfen, eine begründete Entscheidung über die Art der erforderlichen Maßnahmen zu treffen. Sie werden unterstützt in der Bewertung von Vorschlägen der Baufachleute.

Die sorgfältige Auswahl der Baufirma kann nicht überbetont werden. Fragen Sie nach Referenzen und erkundigen Sie sich, ob die Baufirma qualifiziert ist. Fragen Sie bei der Handwerkskammer nach. Holen Sie sich eventuell noch ein zweites schriftliches Kostenangebot von einem weiteren Anbieter.

Weil die Maßnahmen zur Radonreduktion noch neu sind, sind die Baufirmen unfähig zu einer Garantie über die Größe des Reduktionserfolges. In der Tat sind Versprechen großer Ergebnisse mit einiger Skepsis zu begegnen.

Methoden

Hier werden verschiedene Methoden beschrieben, die die Radonkonzentration in Ihrem Haus entweder beim Eintritt oder beim Austausch der verseuchten Innenluft verringern. Einige der beschriebenen Methoden sind einfach, andere sind komplexer, einige sind sehr viel teurer als andere.

Die Wirksamkeit einer Methode ist von den speziellen Eigenschaften jedes einzelnen Hauses abhängig, der Höhe der Radonbelastung, dem Weg des Radoneintrittes und davon, wie vollkommen die Arbeit ausgeführt wird. Niemand kann garantieren, daß diese Methode genauso funktioniert wie im Testhaus. Manchmal kann eine einzelne Methode genügen, öfter sind verschiedene Methoden zu kombinieren, um ein akzeptables Ergebnis zu erzielen. Das gilt beson-

Was Sie zur Verringerung des Radongehalts in Ihrem Haus tun können

WAS TUN

„Da nun erkannt ist, daß Radon und dessen Tochterprodukte in Häusern erheblich zum Krebsrisiko beitragen, muß aus ärztlicher Sicht die dringende Empfehlung ausgesprochen werden, die Konzentration von Radon in der Raumluft zu reduzieren“, erklärt der Münchner Arzt Dr. Edmund Lengfelder, Professor am Strahlenbiologischen Institut der Universität München. Was ist zu tun?

Die US-Umweltschutzbehörde EPA hat die Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen zur Verringerung der hohen Konzentrationen von Radon in Häusern untersucht. Die erfolgreich getesteten Methoden werden hier genannt. Das gilt insbesondere für Radon, das aus dem Bauuntergrund des Hauses stammt. Sind andere Radonquellen im Haus, das heißt sind Baustoffe und Materialien mit hohem Radiumanteil verwendet worden, so sind diese besser zu ent-

fernen. Dazu zählen insbesondere, soweit deren hoher Radiumanteil bestimmt worden ist, Kelleranschüttungen, Füllmaterialien in Zwischenböden, Wände aus radiumreichen Industrieplatten, Bausteine.

Generelle Sanierungsprobleme

Eins ist vorweg zu lernen: Keine zwei Häuser sind gleich. Gleiche Häuser haben, wenn man sie nur genau betrachtet, oft kleine Unterschiede in ihrer Konstruktion mit Auswirkungen auf den Radoneintritt und damit auf die Einsatzmöglichkeit und Wirksamkeit von Reduktionstechniken. Der Bauuntergrund ist auch sehr verschieden, gerade unter Häusern, die nicht dicht zusammenstehen. Diese Unterschiede beeinflussen die erwarteten Ergeb-

ders für den Fall, daß die Radon-Konzentration sehr hoch ist.

Erfolgskontrolle

Wurde eine Maßnahme durchgeführt, so ist unbedingt der Erfolg zu testen. Wenn die Radonkonzentration nicht befriedigend niedrig ist, so sind weitere Schritte erforderlich und der Test muß wiederholt werden. Alle Tests sind in exakt derselben Weise durchzuführen, wie beim ursprünglichen Test, der Ihnen die hohe Radonbelastung anzeigte.

Zur Wirkung der vielen Einflußgrößen kommt auch noch die Art der Ausführung einiger Reduktionstechniken. Ein Umgehen mit Versuch und Irrtum wird im allgemeinen erforderlich sein, um ein ausreichendes Maß an Verringerung zu erreichen.

Vermeldbare Rückschläge

Ein wichtiger Faktor bei der Bestimmung der Radon-Eintrittsrate in Ihr Haus ist die Druckdifferenz zwischen der Innenraumluft und der Luft im Erdreich. Wenn der Druck der Innenraumluft kleiner ist als der Gasdruck im Erdreich des Baugrundes, dann kann das Radon durch Risse, Spalten und kleine Öffnungen in das Haus eindringen. Niedriger Luftdruck in ihrem Haus kann durch verschiedene Faktoren verursacht werden, zum Beispiel durch offene Fenster auf der windabgekehrten

Seite des Hauses, Abgasrohre in Ihrer Küche oder in ihrem Dachgeschoß, und den Verbrauch von Luft durch Geräte wie Heizkessel bzw. Öfen und Wäschetrockner.

Luftreiniger

Luftreiniger sind Vorrichtungen zur Filterung von Partikeln wie Staub aus der Luft, an die sich die Radon-Töchter anlagern könnten. Die Wirksamkeit der Luftreiniger zur Verringerung des Lungenkrebsrisikos durch Radon in Innenräumen ist bisher noch nicht klar dokumentiert. Bis mehr bekannt ist, glaubt die EPA, daß die Daten über bereits installierte Luftreiniger mit Vorsicht aufzunehmen sind.

Radon im Wasser

Radon im Wasser kann in die Luft eintreten, wenn das Wasser bewegt, ausgegast oder erhitzt wird. Die Radonkonzentration im Haushaltswasser muß sehr hoch sein, um einen Einfluß auf die allgemeine Radonkonzentration der Luft im Haus zu haben. Bei Wasser aus großen kommunalen Einrichtungen hat das Radon während des Transports durch die Leitungen das Wasser meist schon verlassen, bevor es die einzelnen Häuser erreicht. Das gilt nicht für Wasser aus privaten Brunnen oder kleinen kommunalen Wasserwerken.

tem Lufteintritt zusätzlich etwas kosten.

Die Nutzung der natürlichen Lüftung bei kaltem Wetter läßt die Heizkosten wesentlich ansteigen. Nimmt zum Beispiel bei gleichem Wohnkomfort der Luftwechsel um das Achtfache gegenüber dem Normalwert zu, so steigen die jährlichen Heizkosten um das Dreieinhalbfache.

Die Kosten einer Klimaanlage steigen bei einer entsprechenden Nutzung um einen ähnlich hohen Betrag.

Reduktionswirkung

Dichte Häuser mit niedrigem Luftwechsel sind natürlich besser für die verstärkte natürliche Lüftung geeignet als Häuser mit sowieso hohem Luftwechsel. Die Radonkonzentration kann bei dieser Maßnahme um etwa 90 Prozent verringert werden, wenn der Luftwechsel eines dichten Hauses von 0,25 auf 2,0 zunimmt. Lüften kann also die Situation nur verbessern. Es gibt aber einen Punkt, ab dem die weitere Lüftung keinen weiteren Effekt mehr auf die Verringerung des Radongehalts der Innenluft hat.

Einschränkung

Obwohl sich jedes Haus leicht auf natürliche Weise lüften läßt, wird in der Regel doch nicht die ausreichend niedrige Radon-Konzentration erreicht. In den meisten Ländern handelt man sich zudem eine unakzeptable Komforteinbuße oder stark steigende Heiz- und Kühlkosten ein. Änderungen der Windstärke und/oder der Windrichtung machen es zudem unmöglich, die Luftwechselraten über längere Zeit konstant zu halten.

Verfahren

Ihr Haus sollte dort auf die niedrig-

Die Methode natürliche Lüftung

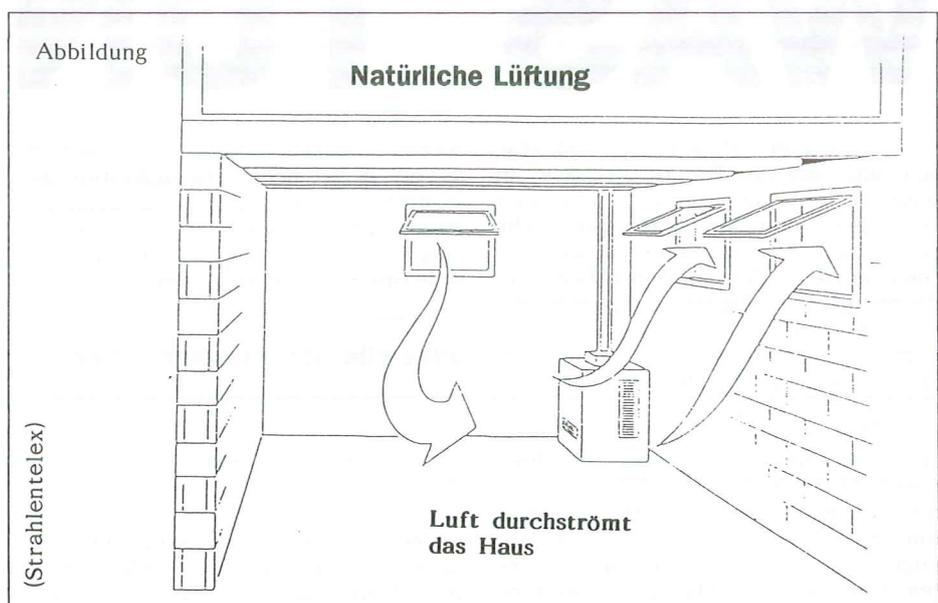
Was getan wird

Verringerung der hohen Radonkonzentration der Innenraumluft durch geringer belastete Außenluft. Jedes Haus hat einen natürlichen Luftaustausch, der selbst bei geschlossenen Fenstern und Türen immer noch über winzige Fugen und Öffnungen in der Gebäudehülle stattfindet. Der Austausch ist die Folge der Temperatur- und Druckdifferenz zwischen Innen- und Außenluft.

Diesen Vorgang nennt man Luftwechsel. In einem durchschnittlichen Haus tauscht sich auf diesem Weg die gesamte Innenluft des Hauses pro Stunde einmal gegen Außenluft aus (Luftwechselrate 1,0). Neuere Häuser sind im allgemeinen dichter. Sie haben Luftwechselraten von 0,1 bis 0,5. Dies ist bis zu einem Zehntel der eines durchschnittlichen Hauses. Die Luftwechselrate älterer Häuser kann zwei- bis dreimal höher sein.

Die Kosten

Es gibt keine Installationskosten.



Aber vielleicht müssen Vorrichtungen angeschafft werden, die Fenster und Ventilatoren in offenen Positionen feststellen. Auch kann das Auffinden bzw. das Verhüten von unerwünsch-

ste Radonkonzentration herabgelüftet werden, wo es im direkten Kontakt mit der Radonquelle, dem umgebenden Erdreich steht. Hat Ihr Haus einen Keller oder Kriechkeller, dann

ist das der geeignete Raum für die Lüftung.

Wenn Sie Ihr Kellergeschoß lüften, dann ist es vernünftig und wirtschaftlich, diesen Bereich verschlossen zu halten und den Zutritt und die Nutzung zu begrenzen.

Steht Ihr Haus auf einer Betonplatte, dann haben Sie nur die Wahl, den Wohnbereich zu lüften. Es empfiehlt sich, alle Fenster zu öffnen, wenn die Außenluftbedingungen es erlauben.

Wie bereits vorher bemerkt, dringt

Radon ins Haus ein, wenn im Kellergeschoß der Luftdruck niedriger als im umgebenden Erdreich ist. Ein weiteres Absinken des Luftdrucks ist deshalb durch weitere Lüftungsmaßnahmen unbedingt zu vermeiden. Um dies sicherzustellen, ist darauf zu achten, daß stets alle Ventilatoren und Fenster geöffnet sind, gleichgültig auf welcher Seite des Hauses sie sich befinden. Werden unbeheizte Räume belüftet, muß sichergestellt sein, daß eventuell vorhandene Wasserrohre nicht einfrieren können.

als nicht akzeptabel angesehen, da durch die verstärkte Lüftung der Wohnkomfort abnimmt und die Heizkosten steigen.

Verfahren

Durch Lüftung will man eine niedrige Radonkonzentration im Keller und Haus erhalten. Es soll wann immer möglich und es die Wetterbedingungen erlauben gelüftet werden.

Die Luft wird durch die Fenster mit den Ventilatoren ins Haus geblasen und verläßt es wieder durch andere Fenster und Öffnungen. Die Nutzung eines Abluftventilators führt dagegen wieder zu einem Anstieg der Radonkonzentration. Die Luftverteilung und die Lüftungsrate wird beeinflusst durch die Größe und den Ort der Aufstellung des Ventilators und den

Die Methode Zwangslüftung

Was getan wird

Zur Verringerung der Radonkonzentration wird die Innenluft gegen Außenluft ausgetauscht. Die genutzten Ventilatoren halten, unabhängig von den Wetterbedingungen, den verlangten Luftwechsel konstant. Weitere Informationen wurden bereits bei der Methode der natürlichen Lüftung besprochen.

Installation

Soll die Zwangslüftung genutzt werden, dann muß der Luftstrom zwischen dem Eintritt und dem Austritt sehr sorgfältig ausbalanciert werden. Andererseits dringt Radon zusätzlich verstärkt in die Wände und das Dachgeschoß vor; dies ist vor allem der Fall, wenn durchleitende Hohlräume im Strukturmaterial vorliegen.

Für die Planung, die Installation und den abschließenden Test sind deshalb unbedingt kenntnisreiche und kompetente Fachleute erforderlich.

Kosten

Die Gesamtkosten für den Ventilator und die Luftverteilungen betragen im Mittel circa 300 DM und 200 DM für die jährlichen Stromkosten für dessen Betrieb.

Die Nutzung der Zwangslüftung bei kaltem Wetter läßt die Heizkosten stark ansteigen.

Nimmt der Luftwechsel zum Beispiel um den achtfachen Normalwert zu, so steigen bei gleichem Wohnkomfort die Heizkosten um das Dreieinhalbfache.

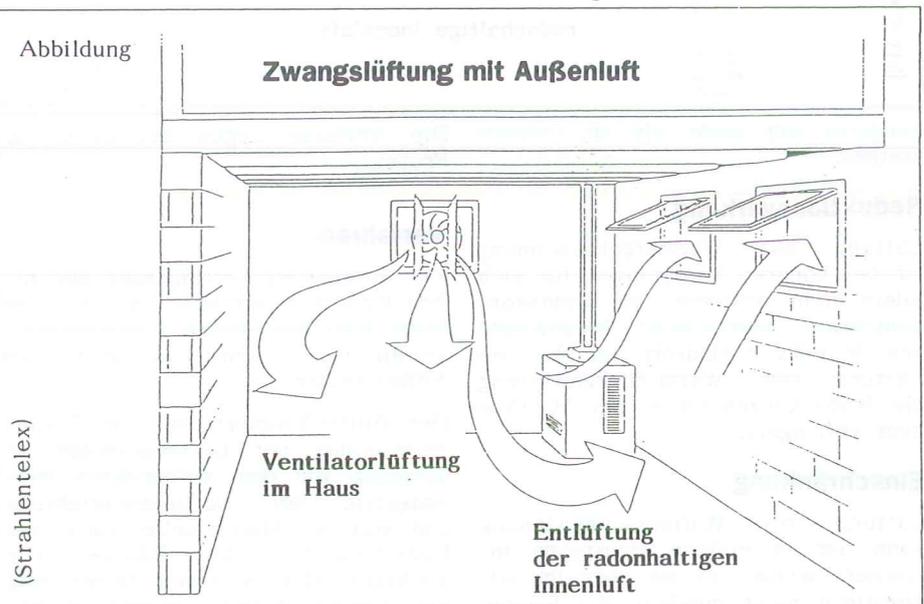
Die Kosten für Klimaanlage liegen ähnlich hoch.

Reduktionswirkung

Vorstehend wurde ausgeführt, daß der erhöhte Luftwechsel dichten Häusern mit niedrigem Luftwechsel mehr hilft als Häusern mit sowieso großem Luftwechsel.

Der Luftwechsel zur Einstellung der gewünschten Radonkonzentration wird in Abhängigkeit von der eindringenden Radonmenge durch die Ventilatorleistung eingestellt.

Abbildung



Einschränkung

Zwangslüftung unterstützt die Naturlüftung und kann in den meisten Häusern angewendet werden. Es ist aber unwahrscheinlich, daß die Verringerung der Radonkonzentration bei hohen Belastungen ausreicht. Diese Lösung wird in vielen Fällen

Regelungsmöglichkeiten des Luftstroms. Die EPA empfiehlt daher die Installation von zwei oder mehr Ventilatoren, um damit die Lüftung besser steuern zu können. Sollen unbeheizte Räume belüftet werden, muß sichergestellt werden, daß die Wasserrohre nicht einfrieren.

Die Methode Lüftung mit Wärmerückgewinnung

Was getan wird

Verringerung der radonbelasteten Innenluft durch Austausch mit geringerer belasteter Außenluft. Bei der Lüftung mit Wärmerückgewinnung wird ein Wärmetauscher verwendet, der beim Luftaustausch die Innenluftwärme zum Aufheizen der eintretenden Außenluftwärme benutzt. In einem klimatisierten Haus ist bei warmem Wetter der Prozeß auch umkehrbar. Die kühlere Innenluft kühlt beim Austritt die eintretende wärmere Außenluft.

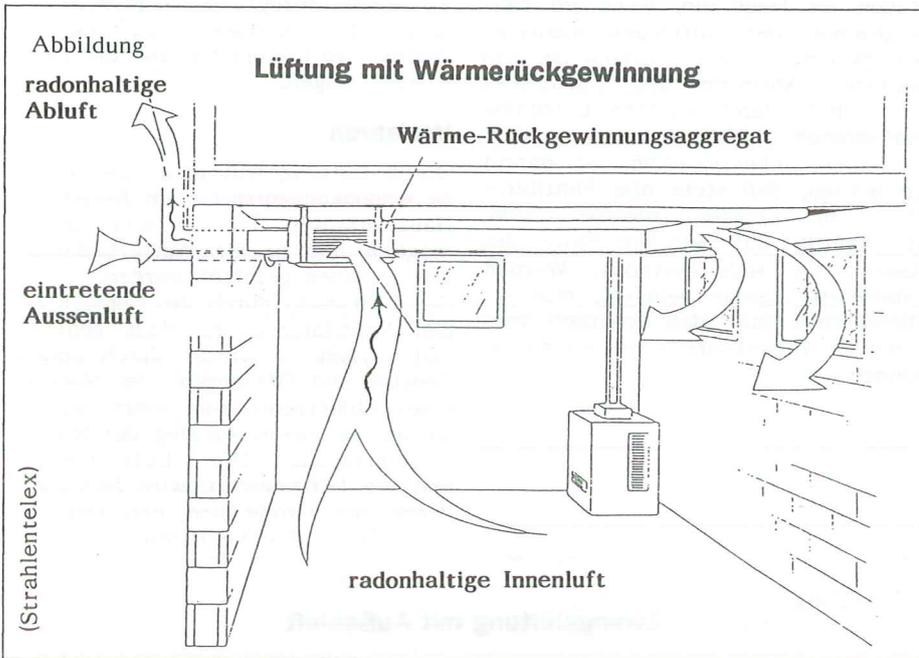
Das System sichert circa 70 Prozent der Wärme bzw. Kälte, die bei einem Lüftungssystem ohne Wärmerückgewinnung verloren wäre.

Installation

Planung, Installation und der abschließende Funktionstest erfordern für die Ausführung eine kompetente und erfahrene Fachfirma.

Kosten

Die Installationskosten für Material und Erprobung liegen zwischen 800 und 3000 DM, abhängig von der Größe der benötigten Einrichtung. Die Betriebskosten für den Strom betragen circa 200 DM jährlich. Durch die Nutzung der Anlage im Kellergeschoß können die Heizkosten abhängig von der Nutzung der Wärmerückgewinnung und deren Wir-



kungrad um mehr als 40 Prozent steigen.

Reduktionswirkung

Lüftung mit Wärmerückgewinnung ist bei höheren Belastungen für sich allein nicht imstande, die Radonkonzentration ausreichend herabzusetzen. In einigen Häusern hat aber die Lüftung mit Wärmerückgewinnung die Radonkonzentration um 96 Prozent verringert.

Einschränkung

Lüftung mit Wärmerückgewinnung kann nur in einigen Haustypen installiert werden, es ist aber im allgemeinen nicht möglich, das System in Kriechkellern zu nutzen. Die Rückgewinnung der Heiz- oder Kälteenergie ist nur begrenzt möglich.

Die Verluste liegen bei circa 30 Prozent.

Verfahren

Zur wirksamen Verringerung der hohen Radonkonzentration im gesamten Haus muß die Anlage kontinuierlich, soweit ein solcher vorhanden, im Keller laufen.

Der Aufstellungsort und die Zusammenstellung der Lüftungsanlage ist abhängig von dem vorhandenen Heizungstyp, der Lüftungseinrichtung und von der Radonquelle sowie den Eintrittsstellen des Radons. Für niedrigere Radonkonzentrationen mag eine Fenster-Anlage genügen. In diesem Fall sind die Kosten für die Wärme- oder Kälterückgewinnung sehr niedrig.

und sachkundigen Baufirma ausführen zu lassen.

Kosten

Die Installationskosten variieren stark, abhängig vom Typ und dem Betriebsort der Einrichtung. Für einige Vorrichtungen, zum Beispiel Heizungsanlagen, wird es leichte Verteuerungen bei den Betriebskosten durch die tiefere Temperatur der nun zugeführten Außenluft geben.

Reduktionswirkung

Weil jede Situation verschieden ist, ist es nicht möglich, die Größe der zu erwartenden Reduktionswirkung vorherzusagen. Die Zuführung der Außenluft kann zudem im komplexen System Schwierigkeiten bereiten.

Einschränkung

Die Nützlichkeit von Luftzuführungen für Außenluft zu spezifischen Einrichtungen ist meist begrenzt durch die Zunahme der Wirksamkeit anderer Methoden. Beispielsweise wenn ein Absaugsystem in einer Blockstein-Wand im Winter mit einer geringeren Effektivität arbeitet, weil die Feuerstellen im Haus das System übersteuern.

Verfahren

Rohrleitungen führen die Luft durch die Außenwand zum Verbraucher. Der Luftverbraucher muß gegen die normalerweise eindringende Innenraumluft versiegelt werden. Ein manuell oder automatisch zu betätigender Absperrschieber in der Zufuhrleitung verhindert den Eintritt von kalter Luft, wenn die Anlage nicht betrieben wird.

Das außenliegende Ende der Zufuhrleitung muß mit einem Gitternetz gegen eindringende Insekten und Kleintiere geschützt werden.

Die Methode Luftversorgung

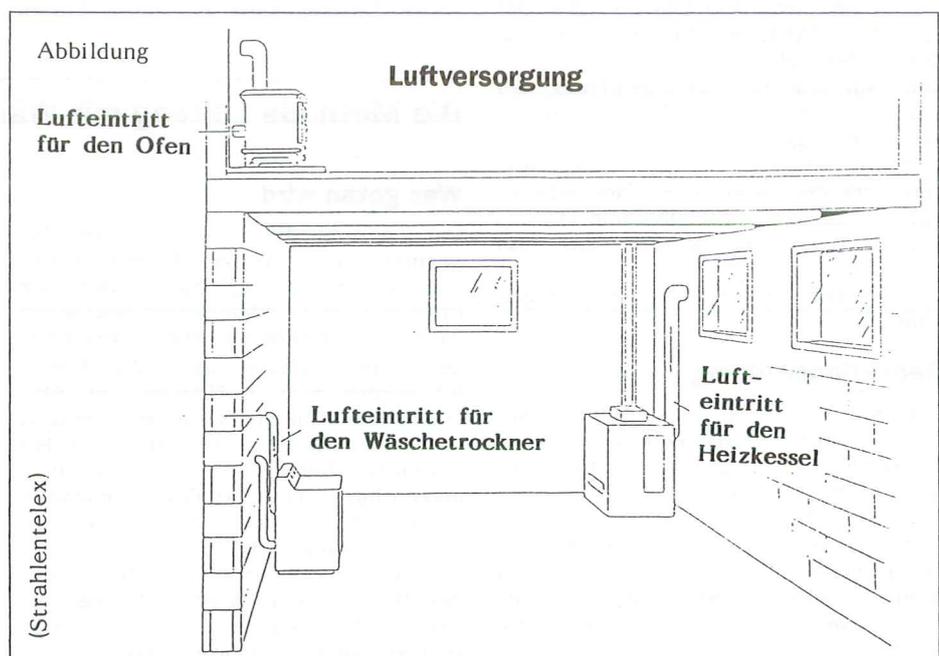
Was getan wird

Einige Häuser haben charakteristische Merkmale wie Heizkessel, Wäschetrockner und Feuerstellen, die durch den Gebrauch oder durch Abgabe von Abgasen den Luftdruck im Haus herabsetzen. Je niedriger der Luftdruck im Haus ist, desto mehr Radon tritt aus dem Bauuntergrund in das Haus ein. Um dies zu unterbinden, müssen die verschiedenen Verursacher des niedrigen Luftdrucks in Ihrem Haus an ein Lüftungssystem angeschlossen werden, das separat Außenluft für diese Einrichtungen heranzuführt.

Durch Vermeidung des niedrigen Luftdrucks im Haus läßt sich die eintretende Radonmenge verringern.

Installation

Es wird empfohlen, die Planung, Installation und den anschließenden Funktionstest von einer kompetenten



Die Methode Versiegelung von Rissen, Poren und Öffnungen

von Wänden aus Betonblocksteinen in Fundamenten mit Mörtel oder Urethanschaum versiegelt werden muß.

Was getan wird

Radon ist ein Gas, das durch Öffnungen in Fußböden und Wänden, die das angrenzende Erdreich berühren, in das Haus eindringen kann. Es kann auch an Mauerdurchbrüchen für Versorgungsleitungen eintreten und an den Verbindungsstellen zwischen Kellerboden und Fundamentwänden, durch Kernlöcher von Beton-Hohlblocksteinen und auch durch feinste Risse und Öffnungen wie Poren in Beton-Blocksteinen, die nicht leicht mit dem Auge zu erkennen sind. Die Versiegelung dieser Risse und Öffnungen ist oft ein besonders wichtiger Schritt, wenn auch andere Methoden genutzt werden. Für Häuser mit geringen Radonproblemen ist die Versiegelungsmethode allein schon ausreichend.

In einigen Häusern ist es sicher sehr schwierig, Bereiche ohne große Aufwendungen zu versiegeln. Hierzu gehören: die Kernlöcher in Beton-Blocksteinen, der Spalt zwischen einer Wand aus Blocksteinen und einer außenliegenden Vorsatzschale aus Ziegelsteinen sowie vom Mauerwerk verborgene Öffnungen von Feuerstellen und Schornsteinen.

Installation

Eine wirksame Versiegelung verlangt im allgemeinen eine peinlich genaue Oberflächenbehandlung und sorgfältige Kontrolle beim Auftragen der verwandten Materialien und kann nur gelingen, wenn erfahrene und kenntnisreiche Fachleute oder geschickte Hausbesitzer die Arbeit ausführen.

Kosten

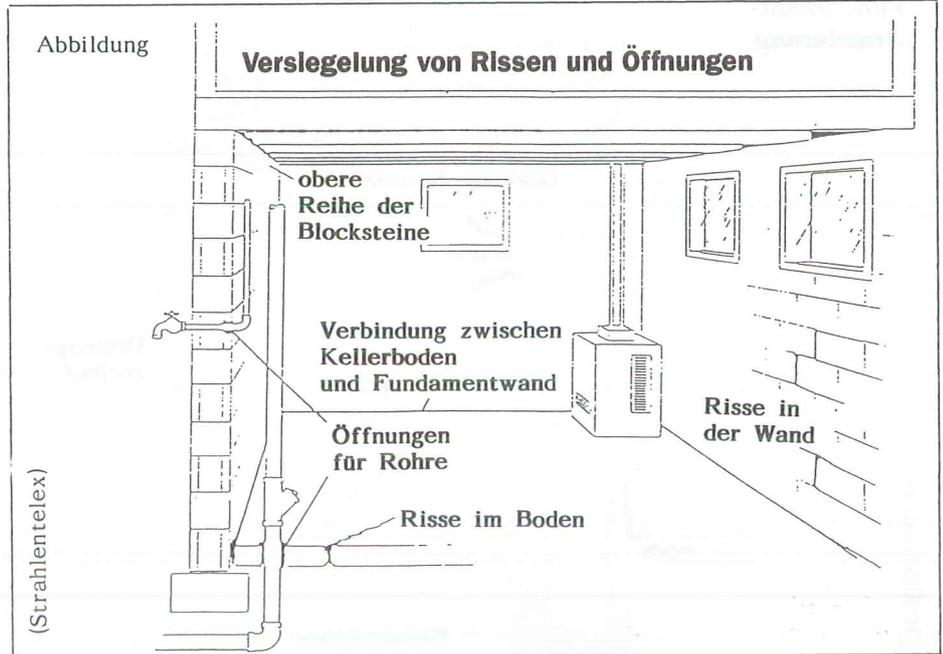
Die Kosten für das Material sind im allgemeinen minimal. Die Mengen der Materialien können weit variieren, abhängig von der Anzahl der Arbeitsschritte und der Zugänglichkeit der Versiegelungsflächen. Die meisten Arbeiten können aber für 500 bis 1000 DM erledigt werden.

Reduktionswirkung

Wenn nur allein versiegelt wird, kann nur eine niedrige Verringerung der Radonkonzentration erwartet werden. Wenn die Versiegelung vollständig ausgeführt worden ist und alle möglicherweise Radon abgebenden Erdstellen abgedeckt worden sind, kann die Verringerung für das Haus ausreichend sein. Eine Versiegelung kann weiterhin empfohlen werden bei einer Blockwand-Belüftung und/oder einer Unterplatten-Absaugung, um diese Methoden noch wirksamer werden zu lassen.

Einschränkung

Es ist sehr schwierig alle Risse und Lücken im Haus zu finden. Die



Hausfundamente und andere auf das Haus wirkende Drücke können im Laufe der Zeit neue und mehr Risse und Lücken erzeugen.

Dasselbe gilt für die oberen Reihen von Wänden aus Betonblocksteinen, die sehr unzugänglich und schwierig abzudichten sind. Die auf das Haus wirkenden Drücke können alte Versiegelungen öffnen und neue Risse erzeugen. Aus diesem Grund sind periodische Überprüfungen und Instandsetzungen erforderlich.

Verfahren

Es ist möglich, daß die obere Reihe

Wände und Böden getrennt durch Polyurethanmembranen versiegeln. Das schützt die oberen Betonstein-Abschlußreihen sicher.

Risse und Mauerdurchbrüche für Nutzleitungen können so erweitert werden, daß sie mit kompatiblen gasdichten und nichtschumpfenden Dichtungsmaterialien gefüllt werden können.

Poröse Wände, speziell aus Hohlblock- oder Leichtbausteinen verlangen den Auftrag von wasserdichter Farbe, Zement oder Epoxydharz für eine sichernde und vorbeugend wirkende Oberfläche.

Die Methode Hausfundament-Drainierung

Was getan wird

Wasser wurde schon immer mit perforierenden Rohrleitungen vom Hausfundament weg drainiert. Diese werden Drainageleitungen genannt. Diese Leitungen sind rund um das Fundament verlegt und nehmen auch das Radon aus dem umgebenden Erdreich auf und führen es fort.

Installation

Es ist eine normale Installation, die von einer erfahrenen und kompetenten Fachfirma ausgeführt und getestet werden muß.

Kosten

Die Installationskosten für Planung und Material betragen circa 2500 DM. Der benötigte Ventilator, die Anschlüsse und Absperrkappen kosten zusätzlich rund 200 DM und die jährlichen Betriebskosten betragen dann noch einmal etwa 300 DM.

Reduktionswirkung

In einigen Häusern führte die Installation der Drainageleitungen zu Verringerungen der Radonbelastungen im Haus um mehr als 98 Prozent.

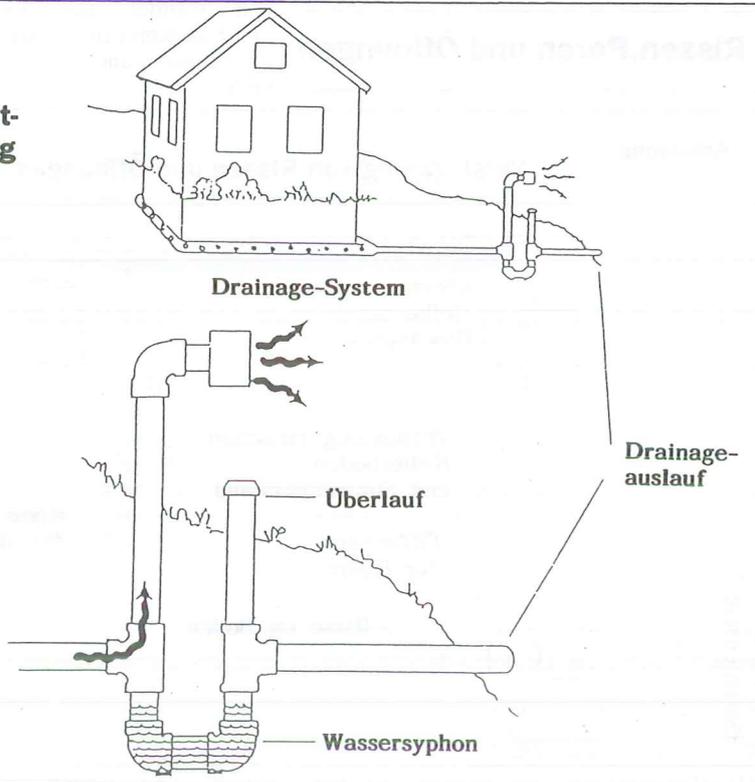
Einschränkung

Diese Methode ist nur anwendbar bei Häusern, die bereits eine Drainageleitung mit einem kontinuierlichen Ablauf haben, die nicht durch Schlamm oder andere Rückstände verstopft ist. Bei verringerten Querschnitten ist ein Ventilator mit einer größeren Antriebsleistung erforderlich.

Drainage-Absaugungen arbeiten im allgemeinen nicht wirkungsvoll, wenn eine Blockwand das Innere von dem Fundament trennt.

Die Methode kann nicht für eine ausreichende Verringerung sorgen, wenn Radon-Konzentrationen über 6000 Becquerel pro Kubikmeter vorliegen.

Abbildung

Fundament-Drainierung

(Strahlentelex)

Verfahren

Wasser sammelt sich in Drainageleitungen und fließt durch eine Leitung von der drainierten Fläche am Haus in eine Abwasserleitung. Radon dringt ebenfalls in diese Leitungen

ein und wird von einem Ventilator unterstützt an die Außenluft abgeführt.

Die wasserführende Leitung muß am Auslauf einen Syphon und einen Überlauf haben und unter der Frostgrenze verlegt sein.

eintrittsstellen bringen eine wirksame Verringerung der allgemein vorhandenen Radonkonzentrationen im Haus.

In Häusern mit geringen Radonproblemen reicht oft auch schon die Versiegelung der Spalten und Öffnungen als Hilfsmittel aus.

Eine Abdeckung des offenen Erdreiches ist auch geeignet, die Reduktionswirkungen anderer Maßnahmen zu steigern, wie Blockwand-Belüftung oder Unterplatten-Absaugung.

Einschränkung

Wenn der Hausgrund unter äußerem oder innerem Druck steht, kann sich die versiegelte Fläche wieder öffnen. Deshalb ist eine regelmäßige Überprüfung und Erhaltung erforderlich.

Verfahren

Besteht der Kellerboden aus Erde, so ist eine Abdeckung mit Schüttbeton vorzunehmen. Kleine Flächen können auch mit einer undurchdringlichen Abdeckung aus Aluminiumblech versiegelt werden. Alle Verbindungsstellen sind sicher zu versiegeln. Faßt die versiegelte Stelle einen Luftraum mit ein, so ist mit einem kleinen Ventilator die radonhaltige Luft an die Außenluft abzuführen.

Ein Kriechkeller kann auch gegenüber einem Kellergeschoß versiegelt und dann entlüftet werden.

Ein Kriechkeller, der nicht gegenüber dem Kellerraum versiegelt werden kann, kann auch mit diesem mitgelüftet werden.

Ein irdener Kellerboden sollte immer mit einem Betonestrich abgedeckt und mit einem gasdichten Anstrich versehen werden. Der ganze Raum

Die Methode Abdeckung von Radon freisetzender Erde**Was getan wird**

Verringerung des Radonflusses ins Haus. Radongas freisetzende Erde - in kalten Räumen im Kellergeschoß, in Lagerräumen, in Drainagegruben, in Abwassersümpfen und in Kriechkellern - sind oft die Haupteintrittspunkte für das Radon ins Gebäude.

Installation

Die Installationen verlangen kompetente und erfahrene Fachfirmen oder kenntnisreiche Hausbesitzer.

Kosten

Die Abdeckung und Versiegelung kleiner Flächen und die notwendige Belüftung des Raumes unter der Abdeckung verursachen oft Kosten von unter 200 DM. Die jährlichen Betriebskosten für einen kleinen Ventilator sind auch minimal.

Reduktionswirkung

Da Radon durch viele kleine Öffnungen durchsickert und die Versiegelung auch nur kleine Flächen erfaßt, kann das Ausmaß der Radon-Verrin-

gerung nicht sicher vorhergesagt werden.

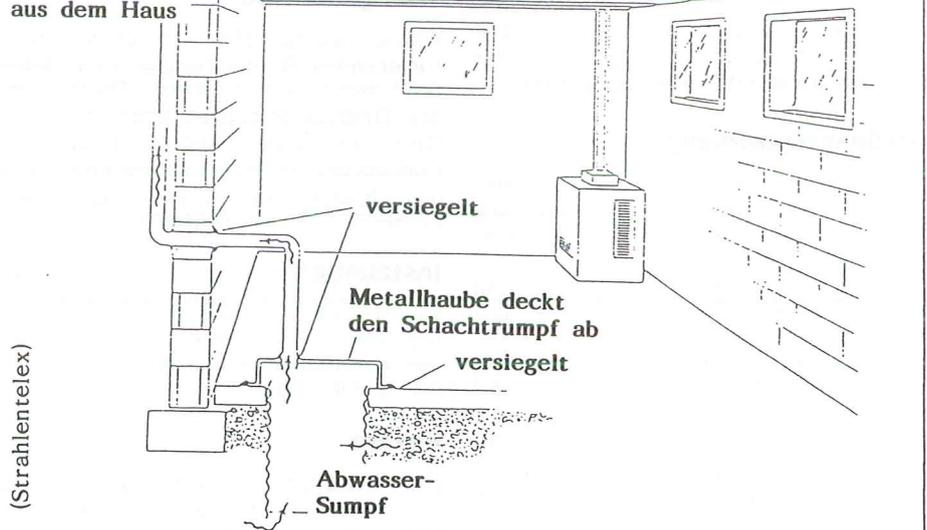
Wirksame Blockierungen der Radon-

ist dann mit einer passiven Lüftung gegenüber der Außenluft zu entlüften.

Abbildung

Abdeckung von Radon freisetzender Erde

Außenventilator saugt Radon aus dem Haus



(Strahlentelex)

Die Methode Entlüftung von Hohlblock-Wänden

Was getan wird

Absaugen von Radon aus dem Hohlraum der Beton-Hohlblocksteine bevor es in das Innere des Hauses eindringt (Wandabsaugung). Oder man bläst Luft in die Hohlräume der Wand aus Blocksteinen, um das Radon am Eindringen ins Haus zu hindern.

Hohlblocksteine werden oft bei der Errichtung der Fundamentwände verwendet und haben sowohl horizontale als auch vertikale Hohlräume. Radon aus dem Erdreich dringt durch die Fundamentwände, feine Risse oder grobe Poren und sammelt sich in den Hohlräumen der Hohlblocksteine. Von dort dringt es über Spalten und Fugen und über die nach oben offenen Hohlräume der obersten Steinreihe in das Gebäudeinnere vor.

Installation

Installationen und anschließender Test erfordern für die Ausführungen erfahrene und kompetente Fachleute.

Kosten

Die Installation von Entlüftungsrohren an einem sich in Bau befindlichen Fundament kosten circa 5.000 DM. Ein Untergrund-Sammelsystem an einem einzelnen Fundament nochmals etwa 10.000 DM. Die jährlichen Betriebskosten können mit etwa 300 DM angesetzt werden.

Reduktionswirkung

In einigen Häusern, in denen das Verfahren erprobt worden ist, konnten Verringerungen von etwa 99 Prozent der Radonkonzentrationen im Haus erzielt werden.

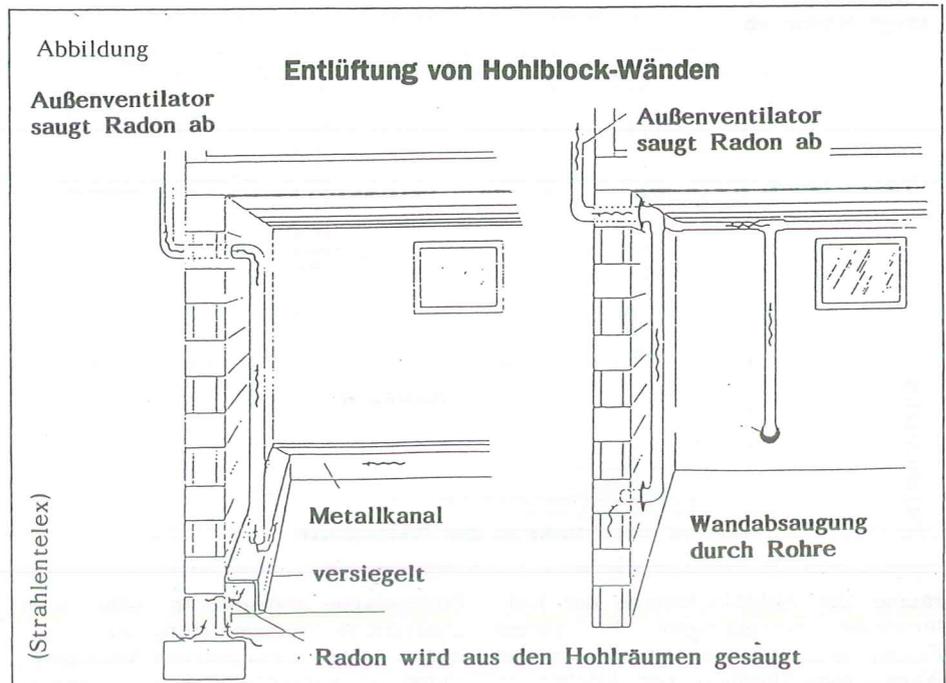
Einschränkung

Das Verfahren ist nur in Häusern mit Kellerwänden aus Beton-Hohlblocksteinen anwendbar.

Hohlraum-Absaugung kann nicht erfolgreich sein, wenn nicht vorher gründlich abgedichtet worden ist: die obere Steinreihe der Hohlblocksteine, der Hohlraum zwischen der Fundamentwand und einer vorgesetzten Ziegelsteinwand und die verdeckten Öffnungen an den Feuerstellen und dem Schornstein. Zusammenfassend sind alle wahrnehmbaren Spalten, Poren und Öffnungen zu versiegeln. Wenn das alles nicht sorgfältig durchgeführt wird, saugt der Ventilator nur Luft in die Wand und wird dadurch unfähig, seine eigentliche Arbeit zu verrichten.

Ist dies der Fall, dann dreht man das System um und drückt Luft in die Wand und hindert so das Radon am Eindringen in die Fundamente. Hohlblocksteine teilen oft das Kel-

fahren ist die Einführung von Rohren in jede Wand, mit anschließender Radon-Absaugung aus dem Wandhohlraum mit Hilfe eines Ventilators.



lergeschoß und ragen dabei, bis in die oberen Stockwerke vor. Am Fußpunkt können sie dabei die Bodenplatte durchstoßen und stehen auf dem gewachsenen Boden auf. An solchen Wänden sind Entlüftungsrohre zu installieren, die an die Außenluft entlüften. Durch diese Methode kann die Radonkonzentration bei hohen Belastungen zwar verringert werden, jedoch noch nicht in ausreichendem Maße.

Verfahren

Es gibt zwei Basisverfahren für die Wandentlüftung. Das leichteste Ver-

Beim anderen Verfahren preßt der Ventilator Luft in die Wand und baut so einen Gegendruck zum eindringenden Radon auf. Ein weiterer Weg ist die Installation eines Metallkanals am Fundamentfuß. Der Hohlraum zwischen Wand und Blech kann dann gleichförmig abgesaugt werden. Häuser mit solchen Kanaldrainagen auf dem Betonboden oder unter den Hohlblockstein-Fundamenten entlüften die hohlen Steinwände sehr gut. Die Wandabsaugung läßt sich weiter verbessern, wenn die Wände auf den Außenflächen mit ihrer Löchern und Fugen gut versiegelt sind.

Die Methode Unterplatten-Absaugung

Was getan wird

Der unterste Boden vieler Häuser, manche sind über Kriechkellern errichtet, erhält eine Betonplatte direkt auf dem Boden oder auf einer Stein- oder Kies-Schüttung. Radon, das sich unter der Bodenplatte sammelt, kann abgesaugt und fortgeführt werden.

Installation

Installation und anschließender Test der Anlage sind von kompetenten und erfahrenen Fachleuten auszuführen.

Kosten

Installationskosten für ein komplexes Rohrsystem mit Durchführungen durch die Platte können zwischen 2.000 und 4.000 DM kosten. Die

jährlichen Betriebskosten betragen circa 300 DM oder weniger.

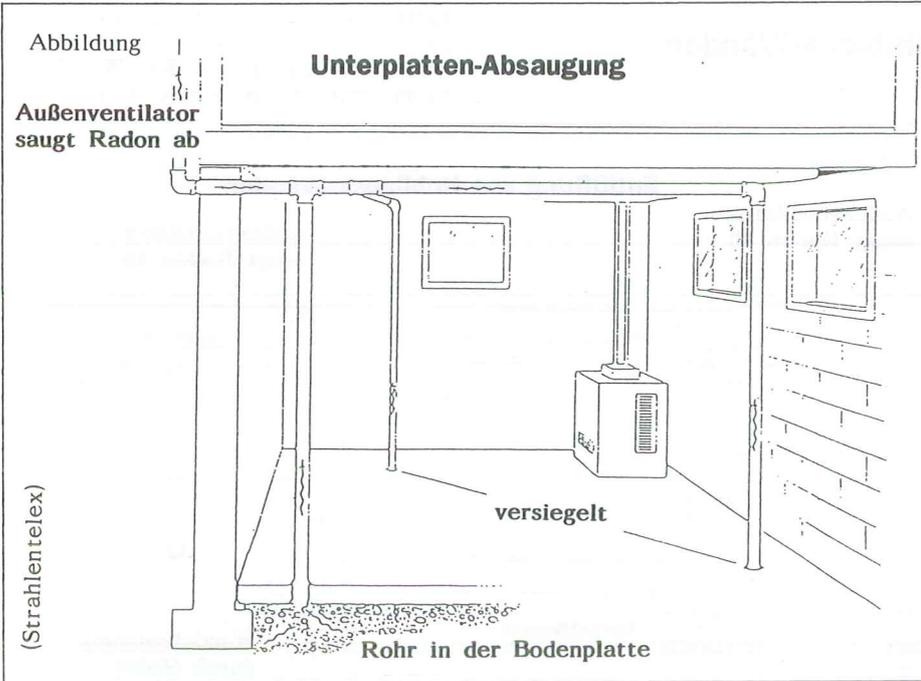
Reduktionswirkung

Die Installation einer Unterplatten-Absaugung kann die Innenraum-Radonkonzentration um circa 80 bis 90 Prozent verringern. In einigen Häusern wurden sogar Reduktionen bis zu 99 Prozent beobachtet.

Einschränkung

Unterplatten-Absaugungen sind meistens sinnvoll in Verbindung mit Fundamenten, die auf gut belüftbaren Stein- und Kiesschichten oder durchlässigen Sandschichten aufliegen.

In einigen Fällen ist es sicher schwierig, mit der Absaugung das Radon daran zu hindern, in die Frei-



räume der Hohlblocksteine der Kellerwände einzudringen. In diesen Fällen sind die Hauptlöcher in der Wand, einschließlich der Löcher in der obersten Reihe Hohlblocksteine zu versiegeln. Wenn dies nicht geschieht, sind weitere Rohre in die

Bodenplatte einzuführen oder eine zusätzliche Wandbelüftung zu installieren. Die Unterplatten-Absaugmethode ist wahrscheinlich nicht geeignet für Häuser mit Radonkonzentrationen über 15000 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft.

Verfahren

Im Allgemeinen reicht für den ersten Versuch die Bohrung von zwei Löchern in der Bodenplatte aus. In diese werden dichtschießende Rohre eingebracht und über ein Rohrsystem mit dem im Freien stehenden Ventilator verbunden. Die Löcher um die Rohre müssen dicht versiegelt sein. ●

Radonmessungen

Radon In Ihrer Wohnung?

Die Unabhängige Meßstelle Berlin des Strahlentelex untersucht die Konzentration des radioaktiven Edelgases Radon-222 in der Luft Ihrer Räume. Eine Messung kostet 60,- DM, zwei Messungen zusammen 100,- DM und jede weitere 50,- DM. Abonnenten des Strahlentelex erhalten wie immer 30 Prozent Rabatt. Die Messung erfolgt mit Hilfe von Passivsammlern, die Sie drei Tage lang im Keller, in Ihren Wohnräumen oder am Arbeitsplatz aufstellen und danach umgehend wieder zurücksenden. Die gesammelte Radioaktivität wird dann gammaspektrometrisch untersucht und Sie erhalten eine ausführlich dokumentierte Beurteilung der Meßergebnisse.

Unabhängige Meßstelle Berlin des Strahlentelex, Turmstraße 13, 1000 Berlin 21, Tel. 030/3948960. ●

Übersicht

Methoden zur Verringerung des Radongehalts In der Luft von Wohnhäusern

Methode	Installationskosten (geschätzt)	Betriebskosten	maximale(*) Verringerung des Radongehalts
Natürliche Ventilation			
Fundamente und Keller	minimal	sehr hoch	max. 90 %
Kriechräume	minimal	unterschiedlich	max. 90 %
Zwangslüftung			
Fundamente oder Keller	niedrig	sehr hoch	max. 90 %
Kriechräume	niedrig	unterschiedlich	max. 90 %
Luftzufuhr	niedrig b. mittel	niedrig	unterschiedlich
Lüftung mit Wärmerückgewinnung	mittel bis hoch	mittel	max. 90 %
Bodenabdeckung	mittel	niedrig	unterschiedlich
Versiegelung von Spalten und Rissen	minimal bis mittel	keine	unterschiedlich
Drainageabsaugung	mittel bis hoch	niedrig	max. 97 %
Wandspaltenbelüftung	hoch bis sehr hoch	niedrig	max. 97 %
Unterplatten-Absaugung	hoch bis sehr hoch	niedrig	max. 97 %

(*) Bei der maximalen Verringerung des Radongehalts in der Innenluft sind die jeweils besten einzeln erzielten Ergebnisse in Prozent (%) aufgeführt. Diese Werte können höher oder niedriger als angegeben sein, je nach Eigenart des jeweiligen Hauses. (Angaben lt. EPA Aug.1988)

Literatur/Quellen:

Ärztliche Praxis, 3.11.1987.
 Axelson, O.: Erfahrungen aus Studien über das Verhältnis von Lungenkrebs zur Strahlenbelastung durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Häusern; Köhnlein, W. u.a. (Hrsg.): Die Wirkung niedriger Strahlendosen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1989.
 Bartels, W.: Gefahren durch Niedrigstrahlung; Hunsrücker Forum Nr.28/29, 12.
 Bartels, W.: Radon-Strahlenwirkung und Strahlenschutz; Physikal. Blätter 45 (1989) Nr.11, 430ff.
 BEIR, National Research Council: Health Risks from Radon and other Internally Deposited Alpha-Emitters, Report of the BEIR IV Committee, Washington D.C. 1988.
 Beleites, M.: Pechblende, Der Uranbergbau in der DDR und seine Folgen; Kirchliches Forschungsheim Wittenberg, Ev. Kirche Berlin Brandenburg (Hrsg.), KFH 1-1988.
 Bundesgesundheitsamt, Inst. f. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene (WaBoLu): Radium-226 und andere natürliche Radionuklide im Trinkwasser und Getränken in der BRD, WaBoLu-Bericht 4/87, Berlin 1987.

noch: Literatur/Quellen:

- Bundesminister d. Innern (Hrsg.): Die Strahlenexposition von außen in der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche radioaktive Stoffe im Freien und in Wohnungen unter Berücksichtigung des Einflusses von Baustoffen, o.O. 1978.
- Bundesminister f. Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit: Bewertung des Strahlenrisikos; Veröff. d. Strahlenschutzkommission (SSK), Band 12, Stuttgart 1989.
- Bundesminister f. Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit: Radon, Ein natürliches Gas, LANI0005/MEI, Jan. 1990.
- Burkart, M.: Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnräumen, Abschätzung von Strahlenexposition und Risiko für in der Schweiz gemessene Radon-Pegel; EIR-Bericht Nr.512, Würenlingen März 1984.
- Chancen Heft 5/87,9.
- Cohen B. L.: Radon: Characteristics, natural occurrence, technological enhancement, and health effects; Progress in Nuclear Energy, Vol.4, pp. 1-24, Pergamon Press Oxford 1979.
- Drummond, I., Boucher, P., et al.: Occurrence of Rn-222 and progeny in natural gas processing plants in Western Canada; Health Physics, Vol.59, No.1, pp.133-137, 1990.
- EG-Kommission: Empfehlung der EG-Kommission v. 21.02.1990 zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden; 90/143/Euratom, Amtsblatt d. EG Nr. L80/26 v.27.3.90.
- Eisenbud, M.: Environmental radioactivity from natural, industrial and military sources; Academic Press, New York 1987, hier zitiert nach Lengfelder, E., München 1988.
- EPA: Radon Reduction Methods, USA August 1988.
- Fabrikant, J. I.: Radon and Lung cancer: The BEIR IV Report; Health Physics Vol.59, No.1, pp.89-97, 1990.
- GRS, Gesellschaft f. Reaktorsicherheit mbH (Hrsg.): Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radon und seine Zerfallsprodukte; o.O. 30.6.1988.
- Henshaw, D.L., Eatough, J.P., Richardson, R.B.: Radon as a causative factor in induction of myeloid leukaemia and other cancers; Lancet 1990, 335:1008-12.
- ICRP, International Commission on Radiological Protection: Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters, ICRP Publ.50, Pergamon Press Oxford 1987.
- Jacobi, W.: Radon-Strahlenwirkungen und Strahlenschutz; Physikal. Blätter 45 (1989), Nr.11, 430-434.
- Jacobi, W.: Lungendosis und mögliches Lungenrisiko durch Radon in Häusern; PSI-Bericht Nr.22, Jan. 1989.
- Keller, G.: Radon in Wohnungen - Quellen und Eintrittswege in Häusern und Methoden zur Reduzierung der Radonkonzentrationen; FS Nov. 1988.
- Keller, G.: Environmental Exposure to Radon, Sources, Migration, Concentration and Methods for Reduction; Fachverband f. Strahlenschutz, FS-89-48-T, 1989.
- Kolb, W., Wojcik, M.: Strahlenschutzprobleme bei der Gewinnung und Nutzung von Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland, Phys. Techn. Bundesanst., PTB-Ra-17, Febr. 1985.
- Lengfelder, E.: Strahlenwirkung - Strahlenrisiko, Hugendubel 1988.
- NCRP: Public Radiation Exposure from Nuclear Power Generation in the United States; NCRP Report No.92, 30.12.1987.
- Neumann, W.: ARGUK Meßbericht und Strahleninfo 13/1988.
- OECD, Nuclear Energy Agency: Exposure to Radiation from the Natural Radioactivity in Building Material, Report by an NEA Group of Experts, Paris May 1979.
- Pohl E.: Strahlenexposition und Strahlenrisiko durch den Gehalt der Luft an natürlichen Radionukliden; Messerschmidt u.a. (Hrsg.): Zur Problematik der Wirkung kleiner Strahlendosen, Strahlenschutz in Forschung und Praxis Band XXIII, G. Thieme Verlag Stuttgart 1982.
- Radford, E.P.: Eine fast abgeschlossene Langzeitstudie an Radon exponierten schwedischen Eisenerarbeitern; Exposé z. Symposium Niedrigdosisstrahlung und Gesundheit, Birkenfeld, 1.-3.11.1989.
- Schmitz-Feuerhake, I.: Paranüsse, Radium-Belastungen im Vergleich; Bericht einer Untersuchung v.18.12.1987-7.1.1988, Bremen 1988.
- Scholz, R.: Das 30-Millirem-Konzept entspricht nicht dem Stand der Wissenschaft; Strahlentelex 56-59, Berlin 1989.
- Schüttmann, W.: Aus den Anfängen der Radontherapie; Z. gesamte Med., Jahrg.41 (1986) Heft 16, 451-456.
- Schüttmann, W.: Die Anerkennung der Schneeberger Lungenkrankheit als Berufskrankheit in der Ersten Berufskrankheitenverordnung von 1925; Z. gesamte Hyg.33 (1987) Heft 12, 662-665.
- Schüttmann, W.: Beitrag zur Geschichte der Schneeberger Lungenkrankheit, des Strahlenkrebses der Lunge durch Radon und seine Folgeprodukte; NTM-Schriftenr. Gesch. Naturwiss., Technik, Med., Leipzig, 25 (1988) 1, 83-96.
- Schüttmann, W.: Die Rolle des sächsisch-böhmischen Erzgebirges bei der Entdeckung des Radiums; Naturwiss. Rundschau I, 41.Jahrg., Heft 11, 1988, 435-451.
- Schuler, Ch., Crameri, R., Burkart, W.: The contribution of building materials to the indoor radon concentration in Swiss Dwellings; Fachverband f. Strahlenschutz, FS-89-48-T, 1989.
- SSK, Strahlenschutzkommission: Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radon und seine

Zerfallsprodukte, Empfehlung v.30.6.1988, BMU Bonn.

Süddeutsche Zeitung: Radon-Bäder werden gemeinsam, 22.11.1988.

UNSCEAR 1982, Annex D, p.174, 209.

Uzunov, I., Steinhäusler, F., Pohl, E.: Carcinogenic risk of exposure to radon daughters association with radon spas, Health Physics 41, 807-813; hier zitiert nach Lengfelder, E., München 1988.

Vogel, H.: Strahlendosis und Strahlenrisiko in der bildgebenden Diagnostik, ecomed, Landsberg 1989.

Wensierski, P.: Ökologische Probleme und Kritik an der Industriegesellschaft in der DDR heute; Verlag Wissenschaft u. Politik, Köln 1988.

Wicke, A., Schmier, H.: Radon in Wohnungen; Strahlenexposition der Bevölkerung; Fachverband f. Strahlenschutz, FS-85-37-T, Dez. 1985. ●

Anhang**Begriffe**

Atome bestehen aus einem positiv geladenen Kern und einer aus negativen Elektronen gebildeten Hülle. Der Kern besteht aus positiv geladenen Protonen und ungeladenen Neutronen. Jedes chemische Element ist durch eine ganz bestimmte Zahl positiver Ladungen je Atomkern gekennzeichnet. Nach dieser Kernladung werden chemische Elemente unterschieden.

Ein chemisches Element kann mehrere **Isotope** haben. Die einzelnen Isotope eines chemischen Elements unterscheiden sich in der Zahl ihrer Neutronen. So hat zum Beispiel Uran 92 Protonen im Kern. Dieser kann nun 143 oder 146 Neutronen enthalten. Das entspricht den Uran-Isotopen Uran-235 und Uran-238. **Nuklid** ist eine durch Protonenzahl, Neutronenzahl und Energiezustand charakterisierte Atomart. Heute sind etwa 275 stabile und 1400 instabile Nuklide bekannt. In der natürlichen Umwelt kommen nur wenige instabile Nuklide vor. Alle anderen instabilen Nuklide sind künstlich hergestellt. Sie entstehen heute vor allem beim Betrieb von Atomkraftwerken.

Radioaktivität ist eine Eigenschaft von nichtstabilen Atomen, sich selbst, ohne jede äußere Einwirkung umzuwandeln und dabei eine charakteristische Strahlung auszusenden. Die **Halbwertszeit** gibt an, in welchem Zeitraum die Hälfte einer vorhandenen Menge von radioaktiven Atomen zerfallen ist. Sie ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit des Zerfalls. Die Halbwertszeit kann Bruchteile von Sekunden oder mehrere tausend Jahre betragen.

noch: Begriffe

Neben der **physikalischen Halbwertszeit** ($T_{\text{phys.}}$) ist auch die **biologische Halbwertszeit** ($T_{\text{biol.}}$) zu beachten. Diese gibt an, in welcher Zeit sich eine normale, nicht radioaktive Substanz durch den Stoffwechsel oder Transport aus einem Organ auf die Hälfte ihrer Anfangsmenge verringert. Ist die Substanz außerdem radioaktiv, dann ist für die Strahlenbelastung die **effektive Halbwertszeit** ($T_{\text{eff.}}$) als Kombination der physikalischen und biologischen Halbwertszeit von Bedeutung. Die biologische Halbwertszeit ist individuell verschieden und hängt auch vom Gesundheitszustand des Menschen ab. Zum Beispiel kann die biologische Halbwertszeit von Nierenkranken infolge verzögerter Urinausscheidung erhöht sein. Für die effektive Halbwertszeit gilt:

$$T_{\text{eff.}} = \frac{(T_{\text{biol.}} \times T_{\text{phys.}})}{(T_{\text{biol.}} + T_{\text{phys.}})}$$

Eine Bestimmung der biologischen und der effektiven Halbwertszeiten unterliegt großen Unsicherheiten, da sie nur in kontrollierten Menschenversuchen vorgenommen werden könnten.

Beim Zerfall der Atome freiwerdende Strahlung wird eingeteilt in Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung.

Alpha-Strahlen sind von einem Atomkern ausgesandte positiv geladene Teilchen, die aus zwei Neutronen und zwei Protonen bestehen, wie die Heliumkerne. Wegen ihrer großen Masse und ihrer Ladung treffen sie sehr häufig mit anderen Atomen und Molekülen zusammen. Ihre Wegstrecke im biologischen Gewebe beträgt etwa ein zwanzigstel Millimeter. Dies entspricht mehreren Zellen.

Beta-Strahlen sind beim Zerfall bestimmter Atomkerne freigesetzte elektrisch geladene Teilchen mit einer sehr geringen Masse, in der Regel Elektronen. Ihre Reichweite im biologischen Gewebe beträgt einige Millimeter bis wenige Zentimeter.

Gamma-Strahlen: Nach der Aussendung von Alpha- oder Beta-Strahlen befindet sich der Atomkern oft noch in einem angeregten Zustand. Dieser Energieüberschuß wird innerhalb von Sekundenbruchteilen in Form elektromagnetischer Wellenstrahlung abgegeben. Die Gamma-Strahlen können biologische Gewebe durchdringen und ähneln der Röntgen-Strahlung. Die beim radioaktiven Zerfall entstehende energiereiche Strahlung kann fremde Atome und Moleküle anregen oder Elektronen aus der Elektronenhülle anderer Atome herausschlagen. Dabei werden elektrisch geladene Atome (Ionen) erzeugt. Man spricht deshalb auch von ionisierender Strahlung. Die schädigende Wirkung von Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung beruht maßgeblich auf der Fähigkeit zur

Ionisation von Atomen.

Beispiele: Radium-226 sendet Alpha- und Gamma-Strahlen aus und wird dabei zu Radon-222. Radon-222 zerfällt unter Aussendung von Alpha- und Gamma-Strahlung zu Polonium-218. Dieses wiederum zerfällt unter Aussendung von Alpha- und Beta-Strahlung zu Blei-214. Dabei macht die Beta-Strahlung jedoch weniger als 0,1 Prozent aus. Aus Blei-214 wiederum wird unter Aussendung von Beta- und Gamma-Strahlung Wismut-214 und daraus wiederum unter Aussendung von Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung Polonium-214. Dabei macht die Alpha-Strahlung weniger als 0,1 Prozent aus. Polonium wiederum zerfällt unter Aussendung von Alpha- und Gamma-Strahlung zu Blei-210. usw.

Um ein **physikalisches Maß** für die Größe der Radioaktivität eines Stoffes zu bekommen, gibt man die Häufigkeit der radioaktiven Zerfälle an. Diese **Aktivität** eines Stoffes wird heute in Becquerel (Bq) angegeben und früher in der Maßeinheit Curie (Ci). Allgemein nannte man früher die „Menge“ einer radioaktiven Substanz, die 37 Milliarden Teilchen pro Sekunde ausstrahlt, 1 **Curie**, unabhängig davon, ob es sich um Alpha- oder Beta-Strahler handelt. Heute spricht man davon, daß die Aktivität von 1 **Becquerel** vorliegt, wenn pro Sekunde ein Atomkern zerfällt, so daß 1 Curie = 37 Milliarden Becquerel entspricht.

Niedrige Becquerel-Zahlen müssen jedoch nicht automatisch geringere Gefährlichkeit bedeuten. Die Gefährlichkeit eines radioaktiven Stoffes ist nicht nur von seiner momentanen Radioaktivität, sondern wesentlich auch von seiner Lebensdauer bestimmt. Ein Stoff mit kurzer Halbwertszeit und deshalb relativ hoher Becquerelzahl zerfällt relativ schnell und ist dann nicht mehr vorhanden. Ein Stoff mit langer Halbwertszeit und deshalb relativ geringer Becquerel-Zahl kann dagegen lange mit seinen Schädwirkungen in der Umwelt verbleiben.

Die Einheit der biologischen Strahlenwirkungen: Für die Wirkung der radioaktiven Strahlung, um Begriffe wie „Strahlenbelastung“ und „Strahlenschädigung“ zu präzisieren, gibt es kein eindeutiges Maß. Die Wirkungen sind sehr verschiedenartig, je nachdem was von der radioaktiven Strahlung getroffen wird: Mensch, Tier, Pflanze, tote Materie oder auch Haut, Lunge, Keimdrüsen, Gene usw.. Teilweise sind sie auch noch völlig unerforscht. Um trotzdem die Wirkung und Gefahr abschätzend in Zahlen fassen zu können, hat man sich im wesentlichen auf folgende Dosisbegriffe und Einheiten geeinigt: Als Maß für die physikalische Wir-

kung dient die **Energiedosis** mit der Einheit **rad** (radiation absorbed dose) oder **Gray** (Gy). Sie gibt an, wieviel Energie im von der Strahlung getroffenen Material steckenbleibt. 1 rad bedeutet, daß in 100 Kilogramm eines beliebigen Stoffes die Energie von 1 Wattsekunde oder 1 Joule steckengeblieben ist und es gilt 100 rad = 1 Gray. Diese Energiemenge ist sehr klein. Die gleiche Menge, die als radioaktive Strahlung einen Menschen sicher töten würde, 1000 rad, könnte als Wärmeenergie den Körper nur um einige Tausendstel Grad Celsius erwärmen.

Man hatte aber schon bald erkannt, daß die Angabe der vom Material aufgenommenen Energie einer Strahlung ihre Wirksamkeit nicht ausreichend beschreibt, schon gar nicht, wenn es um die biologische Wirkung geht. Diese hängt zum Beispiel auch von der Art der radioaktiven Strahlung ab.

Die verschiedenen Strahlungsarten schätzt man verschieden wirksam ein und bewertet sie deshalb mit unterschiedlichen Qualitätsfaktoren für ihre unterschiedliche „relative biologische Wirksamkeit“ (RBW-Faktoren Q): **rem** (roentgen equivalent man) = rad x Q.

So werden zum Beispiel Alpha-Strahlen, wie sie von Radon und seinen Töchtern ausgesendet werden, bis etwa zwanzigmal wirksamer eingeschätzt als Röntgen- oder Gamma-Strahlen.

So läßt sich beispielsweise berechnen:

$$\begin{aligned} 1 \text{ rad Alpha-Strahlung} &= 20 \text{ rem} \\ 1 \text{ rad Beta-Strahlung} &= 2 \text{ rem} \\ 1 \text{ rad Gamma-Strahlung} &= 1 \text{ rem} \end{aligned}$$

Dabei handelt es sich nur um Abschätzungen, die eine Vergleichbarkeit von Strahlenwirkungen ermöglichen sollen. Die RBW-Faktoren sind umstritten. Entwickelt wurde dieses Modell überwiegend von Physikern der Anwenderseite, nicht von Biologen oder Ärzten. Die relativ junge Wissenschaft der Strahlenbiologie kritisiert denn heute auch die ursprüngliche physikalisch-technisch geprägte Annahme, Körpergewebe könnten genauso als mehr oder weniger homogen betrachtet werden wie etwa Baumaterialien. Körperzellen von Menschen, Tieren und Pflanzen sind aber alles andere als homogene Gebilde bis in die kleinsten Abmessungen hinein. Die RBW-Faktoren hängen deshalb nicht allein von der Strahlenart ab, sondern unter anderem auch von der Höhe der jeweiligen Strahlungsmenge, ihrer zeitlichen Verteilung sowie davon, ob die Strahlung mit anderen Schadstoffen zusammen auftritt (sich gegenseitig verstärkende - synergistische - Wirkungen).

Diese, mit allen Vorbehalten gewonnenen Angaben in rem oder Sievert sind also Rechenwerte, die die Belastung der Menschen durch radioaktive Strahlung abstrakt darstellen sollen. Angaben in rem oder Sievert

noch: Begriffe

stellen keine objektiven physikalischen Werte dar. Sie sind ein wenig brauchbares Zwischenergebnis, aus dem nur die gesundheitlichen Folgen von Bestrahlung statistisch abgeschätzt werden sollen, das heißt die entstehenden zusätzlichen Fälle von Leukämie, Mißbildung, Strahlenkrebs, Totgeburten usw.. Individuelle Prognosen für Betroffene sind mittels statistischer Aussagen und Erkenntnisse nicht möglich.

Die Einführung des Konzepts der sogenannten **effektiven Äquivalentdosis** (in rem oder Sievert) stellt denn heute auch einen vorläufigen Höhepunkt wissenschaftlicher Ungenauigkeit dar, der mit der Neufassung der Strahlenschutzverordnung im Juni 1989 auch Eingang in das Gesetzes- und Verordnungswerk der Bundesrepublik Deutschland gefunden hat. Die effektive Äquivalentdosis, häufig auch kurz **effektive Dosis** genannt, versucht in einem gewissen Umfang die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der einzelnen Organe des Menschen zu berücksichtigen. Im Jahre 1977 empfahl die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP), den einzelnen Organen Wichtungsfaktoren zuzuordnen:

Organ	Wichtungsfaktor
Keimdrüsen	0,25
Brustdrüse	0,15
Rotes Knochenmark	0,12
Lunge	0,12
Schilddrüse	0,03
Knochenmarkoberfläche	0,03
übrige Organe	0,30
Summe:	1,00

Die effektive Äquivalentdosis ergibt sich aus der Summe der mit den Wichtungsfaktoren multiplizierten einzelnen Organdosen. Dadurch soll ermöglicht werden, für das Risiko an Krebs zu sterben Zahlenwerte anzugeben, unabhängig davon, ob eine gleichförmige Ganzkörperbestrahlung oder die Bestrahlung eines einzelnen Organs stattgefunden hat. Individuelle Unterschiede zwischen verschiedenen Menschen bleiben dabei unberücksichtigt. Ebenso werden dabei Erkrankungen als solche und eine damit verbundene verringerte Lebensqualität nicht als Risiko mit einbezogen. Die Wichtungsfaktoren wurden allein in Bezug auf das statistische jeweilige Todesrisiko durch strahlenverursachten Krebs und im Falle der Keimdrüsen bezüglich der Wirkung auf die Nachkommenschaft nur bis zur zweiten Generation festgelegt. Das Risiko an Krebs zu erkranken ohne direkt daran zu sterben (etwa bei einem Tod aus anderer Ursache im Alter), blieb unberücksichtigt. ●

Strahlentelex

Neue Abonnenten gesucht

Abonnenten werben Abonnenten! Für Ihre Freunde und Bekannten können Sie mit dem Bestellabschnitt kostenlose Probeexemplare anfordern.

Sofort nach Überweisung des Bezugspreises für ein Jahresabonnement kann jeder, der bisher Abonnent war und bleibt und einen neuen Abonnenten geworben hat, kostenlos eine beliebige Nahrungsmittel- oder Umweltprobe auf ihren Gehalt an radioaktivem Cäsium untersuchen lassen (Probe bruchsig verpacken, eigenen Namen und Anschrift sowie die des erworbenen neuen Abonnenten angeben und senden an: Strahlentelex, Turmstr.13, 1000 Berlin 21).

30 Prozent Rabatt für Strahlentelex-Abonnenten

Abonnenten des Strahlentelex erhalten darüber hinaus 30 Prozent Rabatt auf die normalen Messgebühren (Normalpreise: DM 50,- für die gammaspektrometrische Bestimmung von Cäsium-134 und Cäsium-137, DM 80,- einschließlich anderer gammaspektrometrisch erfassbarer Radionuklide

bei Baustoffen). Prinzipiell ist die Untersuchung jeder Probenart möglich. Benötigt wird im allgemeinen eine Probenmenge von 1 Liter oder 1 Kilogramm.

Radon in Ihrer Wohnung?

Die Unabhängige Meßstelle Berlin des Strahlentelex untersucht die Konzentration des radioaktiven Edelgases Radon-222 in der Luft Ihrer Räume. Eine Messung kostet 60,- DM, zwei Messungen zusammen 100,- DM und jede weitere 50,- DM. Abonnenten des Strahlentelex erhalten auch hierauf 30 Prozent Rabatt. Die Messung erfolgt mit Hilfe von Passivsammlern, die Sie drei Tage lang im Keller, in Ihren Wohnräumen oder am Arbeitsplatz aufstellen und danach umgehend wieder zurücksenden. Die gesammelte Radioaktivität wird dann gammaspektrometrisch untersucht und Sie erhalten eine ausführlich dokumentierte Beurteilung der Meßergebnisse.

Unabhängige Meßstelle Berlin des Strahlentelex, Turmstraße 13, 1000 Berlin 21, Tel. 030/3948960.

An das Strahlentelex, Turmstraße 13, D-1000 Berlin 21

Strahlentelex-Abonnement

Ich/Wir bestelle/n zum fortlaufenden Bezug ein Jahresabonnement des **Strahlentelex** ab der Ausgabe Nr. _____ zum Preis von DM 74,- für 24 Ausgaben bzw. 12 Doppelnummern jährlich frei Haus. Ich/Wir bezahlen nach Erhalt der ersten Lieferung und nach Erhalt der Rechnung, wenn das **Strahlentelex** weiter zugestellt werden soll.

Ort/Datum, Unterschrift: _____

Vertrauensgarantie: Ich kann/Wir können das Abonnement jederzeit und ohne Einhaltung irgendwelcher Fristen kündigen.

Ort/Datum, Unterschrift: _____

Einzugsermächtigung: Ich gestatte hiermit, den Betrag für das Abonnement jährlich bei Fälligkeit abzubuchen und zwar von meinem Konto

Nr.: _____

bei: _____

Bankleitzahl: _____

Ort/Datum, Unterschrift: _____

Ja, ich will/wir wollen für das Strahlentelex Abonnenten werben. Bitte schicken Sie mir/uns dazu _____ Stück kostenlose Probeexemplare.

Es handelt sich um ein Patenschafts-/Geschenk-Abonnement an folgende Adresse:

Name/Vorname: _____

Straße/Hausnummer: _____

Postleitzahl/Ort: _____

Absender/Rechnungsadresse: Name/Vorname: _____

Straße/Hausnummer: _____

Postleitzahl/Ort: _____

Kurz bemerkt

Grenzwerte im Vergleich

Die EG will in Neubauten bis zu 200 Becquerel Radon pro Kubikmeter Zimmerluft zulassen

● Die Radon-Konzentration beträgt im Mittel in der Bundesrepublik im Freien um 5 bis 10, in Wohnräumen etwa 50 Becquerel pro Kubikmeter Luft. Dies gilt als Mittelwerte auch weltweit.

● Die bundesdeutsche Strahlenschutzkommission empfahl Ende Juni 1988 Sanierungsmaßnahmen „in Betracht zu ziehen“, wenn ein langzeitiger Mittelwert von 250 und mehr Becquerel Radon pro Kubikmeter Raumluft im Wohnbereich festgestellt wird.

● Nach einer Empfehlung der EG-Kommission vom 20. Februar 1990 „zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden“ (90/143/Euratom, Amtsblatt der EG Nr. L80/26 vom 27.3.1990) sollen für bestehende Gebäude 400 und für Neubauten 200 Becquerel Radongas pro Kubikmeter Luft nicht überschritten werden.

Dabei werden 200 Becquerel pro Kubikmeter Radonkonzentration in Wohngebäuden einer effektiven Äquivalentdosis von jährlich 1.000 Millirem (10 Millisievert = 1 rem) gleichgesetzt, bei einer Aufenthaltsdauer in Häusern von 7.000 Stunden im Jahr.

(Zum Vergleich: Für die Belastung der Bevölkerung durch künstliche Radionuklide aus dem Betrieb von Atomanlagen schreibt die Strahlenschutzverordnung der Bundesrepublik Deutschland einen Jahreshöchstwert von 30 Millirem (0,3 Millisievert) vor (effektive Äquivalentdosis). Die maximal zulässige jährliche Strahlenbelastung für Beschäftigte im Uranbergbau, in kerntechnischen Anlagen und in Strahlenbereichen des Medizinbetriebs beträgt 5.000 Millirem (50 Millisievert = 5 rem).

● In Belgien werden Wohnungen mit einer Radon-Konzentration von mehr als 1.500 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft als „nicht ständig bewohnbar“ bezeichnet.

● In Großbritannien wurde bisher auf der Basis eines Strahlendosisanteils von 500 Millirem (5 Millisievert) pro Jahr für Neubauten ein Richtwert von 100 Becquerel Radon empfohlen, der pro Kubikmeter Raumluft nicht überschritten werden sollte.

● In Schweden sollen im Gleichgewicht die kurzlebigen Radon-Tochternuklide in neuen Häusern 100 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft nicht überschreiten, was einer Radon-Konzentration von etwa 200 Becquerel pro Kubikmeter entspricht. Dem hatte sich auch Finnland angeschlossen, wobei - wie ebenfalls in Schweden - bei bestehenden Häusern Abhilfemaßnahmen bei im Jahresmittel 800 Becquerel Radon pro Kubikmeter Raumluft durchgeführt werden sollen. ●

Radon-Messungen

Radon in Ihrer Wohnung?

Die Unabhängige Meßstelle Berlin des Strahlentelex bietet Überblicks-Messungen mit Hilfe von Passivsammlern an, die Aktivkohle enthalten. Diese Passivsammler werden von Ihnen drei Tage lang im Keller, in den Wohnräumen oder am Arbeitsplatz aufgestellt und danach umgehend zur Auswertung an die Meßstelle zurückgeschickt. Die gesammelte Radioaktivität wird dann gamma-spektrometrisch ausgewertet und auf die ursprüngliche Luftkonzentration zurückgerechnet. Eine Messung kostet 60,- DM, zwei Messungen zusammen 100,- DM und jede weitere 50,- DM. Dafür werden Ihnen die Dosimeter mit genauen Erläuterungen zugeschickt. Nach der Rücksendung und Auswertung durch die Meßstelle erhalten Sie eine ausführlich dokumentierte Beurteilung der Meßergebnisse.

Weitere Auskünfte und Bestellungen von Passivsammlern unter der unten angegebenen Adresse.

Ist mit solchen Messungen eine erhöhte Radonkonzentration in der Raumluft festgestellt worden, so können Sanierungsmaßnahmen notwendig sein. Dazu müssen Radonquellen aufgespürt und die Radonverteilungen im Haus genauer analysiert werden. Dies kann mit Hilfe von Radonmetern geschehen, die die persönliche Anwesenheit von Experten notwendig machen. Entsprechende Sanierungskonzepte, Untersuchungen und Gutachten auf Anfrage:

Unabhängige Meßstelle Berlin des Strahlentelex, Turmstraße 13, 1000 Berlin 21, Tel. 030/3948960. ●

Sanierungskosten

Für 200 Mark pro Quadratmeter Kelleroberfläche die Radonkonzentration von 34.000 auf 2.000 Becquerel pro Kubikmeter gesenkt

In einem Haus im rheinland-pfälzischen Ellweiler wurden unter der Federführung von Dr. Gert Keller vom Institut für Biophysik und

Physikalische Grundlagen der Medizin der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar, im Jahre 1989 besondere Sanierungsmaßnahmen erprobt. Im Keller des Hauses waren zwischen 10.000 und 34.000 Becquerel Radon pro Kubikmeter Luft gemessen worden. Zunächst wurden die Risse und Spalten zwischen Wänden, Fundament und Bodenfliesen mit Polyurethanharz abgedichtet. Dann ist der Boden mit einer 4 Millimeter und die Wände mit einer 1 Millimeter dicken Polyurethanschicht bedeckt worden. Danach, so Keller, habe sich die Radon-Konzentration in den ungelüfteten Kellerräumen zwar auf etwa ein Zehntel verringert, jedoch immer noch mehr als 1.000 bis 2.000 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft betragen. Deshalb müsse noch ein Ventilationssystem eingebaut werden. Die Kosten für diese Maßnahmen hätten etwa 200 DM pro Quadratmeter Kelleroberfläche betragen. ●

Strahlentelex

Informationsdienst * Unabhängige Meßstelle Berlin des Strahlentelex, Turmstraße 13, D-1000 Berlin 21. Tel. 030 / 394 89 60.

Herausgeber und Verlag: GbR Thomas Dersee, Bernd Lehmann Strahlentelex.

Redaktion: Dipl.-Ing. Thomas Dersee (verantwortl.), Dipl.-Ing. Bernd Lehmann.

Wissenschaftlicher Beirat: Prof. Dr. Klaus Bätjer Claassen, Bremen, Dr. med. Helmut Becker, Berlin, Dr. Thomas Bigalke, Berlin, Prof. Dr. med. Karl Bonhoeffer, Dachau, Prof. Dr. Friedhelm Diel, Fulda, Priv. Doz. Dr. Andreas Faensen-Thiebes, Berlin, Dr. med. Joachim Großhennig, Berlin, Dr. med. Ellis Huber, Berlin, Dr. med. Klaus Lischka, Berlin, Prof. Dr. E. Randolph Lochmann, Berlin, Dipl.-Ing. Heiner Matthies, Berlin, Dr. Werner Neumann, Frankfurt/M., Dr. Peter Plieninger, Berlin, Dr. Ernst Rößler, Berlin, Prof. Dr. Jens Scheer, Bremen, Prof. Dr. med. Roland Scholz, Gauting, Priv. Doz. Dr. Hilde Schramm, Berlin, Jannes Kazuomi Tashiro, Kiel, Prof. Dr. med. Michael Wiederholt, Berlin.

Erscheinungsweise und Bezug: Das Strahlentelex erscheint an jedem ersten Donnerstag im Monat als Doppelnummer. Bezug im Jahresabonnement DM 74,- für 24 Ausgaben = 12 Doppelnummern frei Haus. Einzelexemplare DM 7,-.

Vertrauensgarantie: Eine Kündigung ist jederzeit und ohne Einhaltung von Fristen möglich.

Kontoverbindung: B. Lehmann, Sonderkonto Strahlenmessung, Konto-Nr. 199701-109, Postgiroamt Berlin West (Bankleitzahl 100 100 10).

Satz: In Zusammenarbeit mit LPC GmbH, Prinzessinnenstraße 19-20, 1000 Berlin 61.

Druck: Bloch & Co. GmbH, Prinzessinnenstraße 19-20, 1000 Berlin 61.

Vertrieb: Datenkontor, E. Feige, H. Slesiona, Badische Str. 29, 1000 3 Berlin 31.

Die im Strahlentelex gewählten Produktbezeichnungen sagen nichts über die Schutzrechte der Warenzeichen aus.

© Copyright 1990 bei GbR Thomas Dersee, Bernd Lehmann Strahlentelex. Alle Rechte vorbehalten.

ISSN 0931-4288