Fachverband für Strahlenschutz e. V.

Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA)
für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz

Publikationsreihe
FORTSCHRITTE IM STRAHLENSCHUTZ

Publication Series
PROGRESS IN RADIATION PROTECTION

FS-92-62/2-AKURA **ISSN 1013-4506**

Strahlenexposition und strahleninduzierte Berufskrankheiten im Uranbergbau am Beispiel Wismut (2. und erweiterte Ausgabe)

Radiation Exposure and Radiation Induced Occupational Diseases in Uranium Mining Using Wismut as an Example (2nd and extended edition)

Darlegung des Arbeitskreises Uranbergbau und radioaktive Altlasten (AKURA)

Statement of the Working Group on Uranium Mining and Radioactive Residues of Mining

November 1993

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung/Preliminary Remark

Zusammenfassung/Summary

1 Einleitung

2 Erfassung der Strahlenexposition
2.1 Allgemeine Bemerkungen
2.2 Radon und Radon-Folgeprodukte
2.3 Staub
2.4 Direktstrahlung - äußere Strahlenexposition
2.5 Möglichkeiten der Rückwärtsermittlung

3 Auswirkungen der Strahlenexposition und Setz von Grenzwerten
3.1 Schädigungen der Lunge
3.1.1 Bronchialkarzinome
3.1.2 Lungenfibrosen
3.2 Karzinome außerhalb der Lunge
3.3 Kofaktoren

4 Anerkennung strahleninduzierter Berufskrank
4.1 Allgemeine Bemerkungen
4.2 Schädigungen der Lunge
4.2.1 Bronchialkarzinome
4.2.2 Lungenfibrosen
4.3 Karzinome außerhalb der Lunge

5 Ausblick und weitere notwendige Arbeiten

6 Unterlagen

Ausarbeitung einer Arbeitsgruppe des AKURA un
G. G. Eigenwillig.

FS-92-62/2-AKURA
ISSN 1013 - 4506

Vorbemerkung

Die International Commission on Radiological Protection (ICRP) hat im Oktober 1993 entsprechend neueren Erkenntnissen für die kurzlebigen Folgeprodukte des Radon-222 empfohlen,

- die Bewertung für 1 WLM von 10 mSv auf 5 mSv

und

- den jährlichen Grenzwert von 4,8 WLM auf 4 WLM

zu verringern. Diese neuen ICRP-Empfehlungen und ihre Begründungen waren bei der Fertigstellung des hier vorgelegten Berichts nicht veröffentlicht und konnten daher nicht berücksichtigt werden. - Zur Erklärung von WLM siehe Kapitel 3.1.1.

Preliminary Remark

In line with recent findings for short-lived daughter products of radon-222, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) made the recommendation in October 1993 to reduce

- the equivalent effective dose of 1 WLM from 10 mSv to 5 mSv

and

- the annual limit from 4.8 WLM to 4 WLM.

These new ICRP recommendations and the reasons given for the reductions had not been published when this report was completed and were thus not considered. - Please see Section 3.1.1 for a detailed description of WLM.

FS-92-62/2-AKURA

zu beziehen durch den Sekretär des AKURA:

Dr. E. Ettenhuber
Bundesamt für Strahlenschutz, Dienststelle Berlin
Waldowallee 117
D-10318 Berlin

Zusammenfassung

Seit dem 16. Jahrhundert beobachtete man bei Bergleuten im sächsischen Grubenrevier von Schneeberg tödlich verlaufende Lungenkrankheiten, die seit 120 Jahren als Bronchialkrebs bekannt sind. Weltweit tritt diese Krankheit bei Bergleuten auf, wenn die Gesteine im Bergwerk stark uran- oder thoriumhaltig oder die Grubenwässer radonhaltig sind. Seit dreißig bis vierzig Jahren sind im Uranbergbau die radioaktiven Folgeprodukte des Edelgasisotops Radon-222 als wesentliche Ursache erkannt. Die individuelle Strahlenexposition bei Wismut, die 1946 den Uranbergbau aufnahm, wird bis 1955 untertage mit durchschnittlich 150 WLM (1500 mSv) pro Jahr angenommen und wurde danach fortlaufend drastisch gesenkt bis auf durchschnittlich 2 WLM (20 mSv) und weniger pro Jahr ab 1976. ICRP und IAEA haben nach 1980 aufgrund internationaler epidemiologischer Erkenntnisse als jährliche Grenzwerte 4,8 WLM (48 mSv) bzw. 5 WLM (50 mSv) empfohlen. Bis 1990 hatte die Sozialversicherung Wismut 5237 Fälle von Bronchialkrebs als Berufskrankheit anerkannt und es sind zusätzlich zu einem aufzuarbeitenden Bestand künftig pro Jahr etwa 200 bis 300 Anerkennungen zu erwarten. Etwa 98 % der bisher anerkannten Fälle betreffen Bergleute, die vor 1955 ihre Tätigkeit aufgenommen haben. - Die Konsequenzen der Strahlenexposition durch Folgeprodukte des Radon-220, Staub mit langlebigen Radionukliden und Direktstrahlung wurden bisher nicht ausreichend bewertet. - Die Empfehlungen der ICRP vom Oktober 1993 konnten in diesem Bericht noch nicht berücksichtigt werden (Vorbemerkung).

Summary

Since the 16th century a deadly lung disease was observed hitting miners in the Saxonian area of Schneeberg. The disease was identified as bronchiogenic cancer 120 years ago. This miners disease can be observed worldwide, if the rocks of mines contain a considerable amount of uranium or thorium or if the seepages carry radon gases. Thirty to forty years ago the radioactive decay products of the noble gas

isotope radon-222 were recognized as a substantial cause in the case of uranium mining. At Wismut which started uranium mining in 1946 the annual individual radiation exposure below ground is assumed to average 150 WLM (1500 mSv) until 1955 and thereafter it was reduced successively and drastically to an average of 2 WLM (20 mSv) and less per annum since 1976. As one result of international epidemiological studies ICRP and IAEA recommended an annual exposure limit of 4,8 WLM (48 mSv) and 5 WLM (50 mSv) respectively after 1980. Until 1990 the Social Insurance Wismut recognized 5237 cases of bronchiogenic cancer as occupational diseases. Additonally to a backlog - in the future about 200 to 300 recognitions are expected to arise annually. About 98 % of all previously recognized cases effect miners who started their mining activities before 1955. - So far the consequences of radiation exposure due to radon-220 and its decay products, long-lived radioactive dust and external radiation were not sufficiently evaluated. - The ICRP recommendations dated October 1993 could not yet be considered in this report (Preliminary Remark).

1 Einleitung

Seit der Vereinigung der Bundesrepublik Deutschland im Oktober 1990 sind der Uranbergbau in Sachsen und Thüringen und seine Auswirkungen auf die Gesundheit der Bergleute öffentlich geworden. Der hier vorgelegte Bericht soll einen Überblick über diese Problematik geben.

Sind in Gesteinen die natürlichen radioaktiven Elemente Uran und/oder Thorium in z. B. lagerstättenbildenden Konzentrationen enthalten, so bewirken sie bei der Rohstoffgewinnung in Bergwerken und Tagebauen und bei der Verarbeitung der uran- und/oder thoriumhaltigen Erze eine relevante Strahlenexposition der Beschäftigten durch

- Inhalation des Edelgases Radon und der Radon-Folgeprodukte
- Inhalation von Staub (Erz, Gestein)
- Direktstrahlung - äußere Strahlenexposition

Seit dem 16. Jahrhundert beobachtet man bei Bergleuten im sächsischen Grubenrevier von Schneeberg und auch in böhmischen Schächten um St. Joachimsthal Lungenerkrankungen, die als "Schneeberger Lungenkrankheit" in die Geschichte der Gewerbemedizin eingegangen sind. In diesem Grubenrevier sind die Erze stark uranhaltig.

Seit den siebziger Jahren des 19. Jahrhunderts ist bekannt, daß es sich bei der "Schneeberger Lungenkrankheit" um Bronchialkrebserkrankungen handelt /1/. Als direkt schädigende Ursache wurde das im Gestein vorhandene Arsen unterstellt. Naßbohren zur Vermeidung von Staub und Zwangsbewetterung zur Verbesserung der Luftqualität waren damals im Grubenrevier von Schneeberg bereits bekannt (/1/ und /2/).

Die "Schneeberger Lungenkrankheit" wurde 1925 in die Liste der Berufskrankheiten aufgenommen (/3/ bis /5/). Sie mußte im Gebiet von Schneeberg aufgetreten sein. Noch 1936 wurde für diese Berufskrankheit folgende Begründung gegeben /5/: Die eigentliche Ursache der Er-

krankung ist noch unklar. Als Reiz kommt zunächst einmal der physikalische (scharfkantige) und chemisch (Arsengehalt) wirkende Steinstaub in Frage; vermutlich ausschlaggebend beteiligt ist die Radiumemanation in den Gruben sowie der Radiumgehalt der Staubteilchen.

Radon wurde schon vor mehr als siebzig Jahren als eine mögliche Ursache diskutiert. Andererseits wurden gelegentlich die privaten Lebensumstände oder genetische Besonderheiten der Bergleute für die Krankheit verantwortlich gemacht /6/. Erst vor dreißig bis vierzig Jahren wurden Radon und vor allem seine kurzlebigen Folgeprodukte, die vor allem Alpha-Strahler sind, eindeutig als Ursache erkannt (/7/ bis /10). Ausschlaggebend waren z. B. epidemiologische Erhebungen und Langzeitstudien in den USA, in Kanada und in der Tschechoslowakei. Daher ist Bronchialkrebs bei Bergleuten im Uran- und Thoriumabbau ein weltweites Problem und die Verhältnisse in Sachsen und Thüringen können nicht als Sonderfall angesehen werden. Dies ist durch zahlreiche epidemiologische Erhebungen belegt (/7/ bis /22/).

Als weitere strahleninduzierte Schädigung der Atmungsorgane ist die Lungenfibrose anzusehen (/23/ bis /26/).

Ferner werden strahleninduzierte Schädigungen außerhalb der Lunge diskutiert. Sie können durch radioaktive Stoffe hervorgerufen sein, die vorzugsweise über die Lunge in die Körperflüssigkeit übergehen und unterschiedliche Organe zur Ablagerung suchen. Radioaktive Stoffe dieser Art sind z. B. Radon-Folgeprodukte, Uran und Thorium und deren Folgeprodukte. Eine weitere Strahlenexposition ist die Direktstrahlung. Als strahleninduzierte Schädigungen sind möglich z. B. Karzinome der Blase, Niere, Leber, des Magens und der Haut und Leukämien (/19/, /27/ bis /31/).

2 Erfassung der Strahlenexposition

2.1 Allgemeine Bemerkungen

Eine möglichst exakte Erfassung der Strahlenexposition ist aus folgenden Gründen notwendig:

- Durchsetzung sicherer Arbeitsbedingungen für die Bergleute
- Nachweis der Übereinstimmung mit nationalen und internationalen Standards
- Optimierung des Strahlenschutzes am Arbeitsplatz (z. B. Bewetterung)
- Bewertung von Berufskrankheiten
- Festlegungen nachfolgender Untersuchungen
- Epidemiologische Forschung

Grundlage für die Erfassung der Strahlenexposition ist die ausreichend genaue Messung der radioaktiven Stoffe in der Atemluft der Bergleute und der Direktstrahlung. Diese Notwendigkeit wurde erst vor dreißig bis vierzig Jahren erkannt /7/. Anleitungen internationaler Gremien wie z. B. der International Commission on Radiological Protection (ICRP) und der International Atomic Energy Agency (IAEA) gibt es seit etwa zwanzig Jahren (/32/ bis /40/). Daher ist es oft notwendig, frühere Arbeitsbedingungen zu rekonstruieren; d. h. die Strahlenexposition nachträglich näherungsweise zu bestimmen (/41/ und /42/). Weitere Möglichkeiten der Rückwärtsermittlung bieten z. B. die Messung radioaktiven Ablagerungen im menschlichen Körper und die Bewertung von Chromosomenaberrationsanalysen (/26/ und /43/ bis /49/).

Die Ermittlung der individuellen Strahlenexposition bei der Wismut und die dazu durchgeführten Messungen haben folgende Historie

- bis 1954:
  Keine Radon-Messungen (Messungen der Gamma-Strahlung zur Erkundung und Sortierung von Uranerz).

- ab 1955:
  Radon-Messungen mittels einzelner Wetterproben an Arbeitsorten. Diese Messungen wurden nach 1964 nach Umfang und Zielstellung verändert.

- ab 1964:
  Messung der potentiellen Alpha-Energie-Konzentration der Radon-Folgeprodukte an Arbeitsorten (Markov-Methode).

- zusätzlich ab 1971:
  Ortsdosimetrie (Berechnung und Erfassung der individuellen Strahlenexposition aus der Konzentration von Radon-Folgeprodukten vor Ort bzw. im Arbeitsbereich multipliziert mit der Aufenthaltszeit).

- zusätzlich ab 1991:
  Einsatz von Personendosimetern (Radon-Folgeprodukte, langlebige Alpha-Strahler und Gamma-Dosis).

2.2 Radon und Radon-Folgeprodukte

Für die Bestimmung der Strahlenexposition durch Radon und durch die radiologisch relevanten kurzlebigen Radon-Folgeprodukte gibt es unterschiedliche Methoden wie z. B. Ortsdosimetrie mittels einzelner Probenahme, kontinuierlicher Erfassung, integrierender Messung und Personendosimetrie. Einige dieser Methoden können auch differenzieren zwischen freien und an Aerosolen angelagerten Radon-Folgeprodukten (/50/ und /51/).

Für die Meßmethodik und die Meßtechnik für Radon-222 (Rn222) und seine Folgeprodukte im Bereich der Wismut gilt der folgende Überblick.

Seit etwa 1955 wurden meßtechnische Übersichten über die Aktivitätskonzentration von Rn222 für verschiedene ausgewählte Arbeitsorte geführt. Probenahmen erfolgten mit Gummiblasen oder Metallkammern.

Die Aktivitätsbestimmung wurde übertage unter Verwendung von Ionisationskammern und Elektrometern durchgeführt. Nach etwa 1972 wurden zur Rn222-Messung sowohl unter- als auch übertage Szintillationskammern (modifizierte Lucaskammern) eingesetzt.

Von 1955 bis 1963 wurde nur die Radon-Konzentration bestimmt. Die Verwertung dieser Meßdaten setzt voraus, daß z. B. auf der Basis von späteren Messungen bei näherungsweise vergleichbaren Bewetterungsbedingungen in anderen Bergwerken zwischen Radon und seinen Folgeprodukten ein Gleichgewichtsfaktor abgeschätzt wird /52/. Der dabei gemachte Fehler kann etwa den Faktor zwei betragen.

Messungen zur Bestimmung der potentiellen Alpha-Energie-Konzentration der kurzlebigen Rn222-Folgeprodukte wurden etwa seit 1964 durchgeführt, zunächst ebenso wie die Rn222-Messungen zur Erarbeitung von Übersichten für verschiedene ausgewählte Arbeitsorte. Als Meßgeräte für Rn222-Folgeprodukte dienten Grubenradiometer verschiedener Typen (Typ RANAG ab 1964, Typ Alphadoppelzähler ADZ1 ab 1972 und Typ Alphazähler ab 1982 (AZ1 und AZ2)). Die Geräte Typ RANAG und Typ Alphadoppelzähler ermöglichten außerdem Messungen der Aktivitätskonzentration von Rn222 (z. B. /53/ und /54/).

1971 wurde mit der Abschätzung der individuellen Strahlenexposition aus der potentiellen Alpha-Energie-Konzentration der kurzlebigen Rn222-Folgeprodukte an den Arbeitsplätzen unter Berücksichtigung der Aufenthaltszeiten an diesen Arbeitsplätzen begonnen. Dieses Vorgehen wird als Ortsdosimetrie bezeichnet.

Die Messung der potentiellen Alpha-Energie-Konzentration der kurzlebigen Rn222-Folgeprodukte erfolgte bei allen genannten Grubenradiometern nach der Methode von Markov. Hierbei wird die zu untersuchende Luft während eines Zeitraumes von fünf Minuten mit Hilfe einer batteriegespeisten Probenahmepumpe durch ein Meßfilter gesaugt. Anschließend wird die Abklingkurve für die Alpha-Aktivität von der siebenten bis zur zehnten Minute nach Abschluß der Probenahme

(Zeitintervall drei Minuten) ausgewertet. Der mit dem Grubenradiometer gemessene Wert wird bis zur nächsten, im allgemeinen nach einem Monat erfolgenden Messung als repräsentativ angenommen. In den letzten Jahren wurden monatlich zwei Messungen durchgeführt, falls eine Überschreitung von zwei Dritteln des jährlichen Grenzwertes möglich war. Bei Überschreitung von Grenzwerten für die Luftkonzentration von Rn222-Folgeprodukten wurde bis nach Herstellung der definierten Bedingungen mehrfach im Monat gemessen.

Der relative methodische Fehler hängt vom radioaktiven Gleichgewicht zwischen den einzelnen kurzlebigen Rn222-Folgeprodukten ab. Er beträgt etwa +20 % und -10 %. Der relative statistische Fehler beträgt bei potentiellen Alpha-Energie-Konzentrationen von 40, 10 und 1 MeV/cm^3 5, 10 und 31 %.

Die Meßmethode von Markov wurde in der DDR auch im Nichturanbergbau eingesetzt. Sie wird ferner in osteuropäischen Ländern verwendet (Rußland, Polen, Tschechische Republik, Bulgarien) und ist international als belastbar bewertet worden (Tabelle 4 in /50/).

Bei den Meßergebnissen der Wismut für die Konzentration von Rn222 und Rn222-Folgeprodukten sind innerhalb einer Berufsgruppe (z. B. Hauer) in demselben Bergwerk zur gleichen Zeit Abweichungen bis zu einem Faktor zehn um den Mittelwert möglich. Das betrifft insbesondere Zeiten sehr hoher Strahlenexpositionen, also die Jahre vor 1960. Da für den Zeitraum vor 1970 über die Arbeitsorte der Beschäftigten keine ausreichenden und über die Konzentrationen an solchen Arbeitsorten ungenügende Kenntnisse vorhanden sind, ist es unmöglich, individuelle Strahlenexpositionen für diesen Zeitraum zu berechnen. Jede Abschätzung führt zu Kollektivmittelwerten, ggf. nach Bergwerken und Tätigkeitsgruppen differenziert. Nachträglich werden detaillierte Meßdaten größtenteils nicht mehr zu beschaffen sein, weil wichtige Betriebsbedingungen verändert wurden. Zum Beispiel wurde die Bewetterung verstärkt, um die Konzentration der Rn222-Folgeprodukte in der Luft zu verringern, das Naßbohrverfahren bei der Erzgewinnung wurde ein-

geführt, um die Staubentwicklung zu reduzieren, und die Abbaumethode führt zum weitgehenden Versetzen der Abbauräume in den Bergwerken.

Erst mit der Einführung einer individuellen Belastungskartei über die Ortsdosimetrie ab 1971 werden individuelle Strahlenexpositionen berechnet und dokumentiert. Bei der Ortsdosimetrie wird die Konzentration der Rn222-Folgeprodukte durch Luftprobenahme im Arbeitsbereich der Beschäftigten ermittelt. Bei sonderbelüfteten Arbeitsplätzen wird zusätzlich die Vorbelastung der vom Lüfter angesaugten Luft bestimmt. Bergleute, die keinen festen Arbeitsplatz haben (z. B. Steiger), werden in Tätigkeitsgruppen zusammengefaßt und ihnen wird entsprechend ihrem Bewegungsbereich (Bergabteilung, Grubenbereich oder Gesamtgrube) ein Durchschnittswert zugeordnet. Eingesetzt werden jeweils monatliche mittlere Ortswerte. Wegen der bekannten Probleme derartiger Verfahren (z. B. Bewertung von Betriebsstörungen) sind die Ergebnisse aber nicht ohne Prüfung und Bewertung verwendbar.

Diese im Bergbau üblichen Verfahren sind mit folgenden Fehlern verbunden /29/:

- Systematische, Kalibrierungs- und statistische Fehler, Fehlerbreite von überwiegend 30 % und ggf. größer.

- Methodische Fehler: Frühschichtmessungen

- Unterbewertung von Betriebsstörungen (z. B. bei Ausfall der Bewetterung wurde die Messung bis zur Behebung der Störung verschoben); unzureichende Überwachung der Nebenprozesse usw. führten zu fehlerhaften Ortsstatistiken.

- Extrapolationsfehler: Fünf Minuten Meßzeit auf einen Monat Arbeitszeit (in drei Schichten) hochgerechnet.

- Fehler bei der Erfassung von Aufenthaltszeiten und Aufenthaltsorten von Bergleuten sowie bei der Zuordnung von Meßwerten zu Arbeitsbereichen, insbesondere im Nebenprozeß.

Daher kann unterstellt werden, daß die tatsächlichen Strahlenexpositionen eher höher sein können als die ausgewiesenen /29/.

1991 begann bei der Wismut GmbH die schrittweise Einführung von Personendosimetern (/55/ und /56/). Der Vergleich mit der Ortsdosimetrie zeigt, daß jede der beiden Ermittlungsmethoden höhere oder niedrigere Werte als die jeweils andere Methode ergeben kann. Oft ergibt die Ortsdosimetrie höhere Werte. Der Unterschied ist bei fortgeschrittener Sanierung der Bergwerke größer als bei begonnener. Daher ist ein Vergleich der Ortsdosimetrie mit der Personendosimetrie und der mit diesen Methoden ermittelten Strahlenexposition auf Grund verschiedener Einflußfaktoren nicht oder nur eingeschränkt möglich:

- Vor Einführung der Personendosimetrie bestanden in den Betrieben der Wismut noch Produktions- bzw. produktionsähnliche Bedingungen mit einer überwiegend stabilen Strahlenschutzsituation. Bei den Sanierungsarbeiten sind dagegen häufig wechselnde Arbeitsorte und damit zum Teil verschiedene und auch andersartige Tätigkeiten mit teilweise erheblich unterschiedlicher Strahlenbelastung zu verzeichnen.

- Die Ortsdosimetrie ist dadurch gekennzeichnet, daß ein relativ genau gemessener Momentanwert auf eine längere Zeit (im allgemeinen einen Monat) extrapoliert wird, zeitliche Schwankungen der Radionuklidkonzentrationen nicht erfaßt und als Expositionszeit Acht-Stunden-Schichten (konservative Annahme) zugrunde gelegt werden.

- Die von der französischen Atomenergiebehörde (CEA) übernommene Personendosimetrie ist dadurch gekennzeichnet, daß mit einem integrierenden Meßverfahren die Exposition bestimmt wird. Ob da-

mit eine bessere Ermittlung der Strahlenexposition im Vergleich zur Ortsdosimetrie möglich ist, wird zur Zeit geprüft.

Aus dieser Gegenüberstellung ist eine Abweichung individueller Belastungswerte um einen Faktor zwei zwischen den Ergebnissen der Orts- und Personendosimetrie nach beiden Seiten verständlich bzw. zu erwarten.

Bei hohen Radon-Konzentrationen in der Atemluft überwiegt im Uranbergbau die Konzentration der Rn222-Folgeprodukte (Uranzerfallsreihe). Wird die Bewetterung verbessert und nimmt die Konzentration der Rn222-Folgeprodukte entsprechend ab, so wird der relative Anteil der Rn220-Folgeprodukte (Thoriumzerfallsreihe) höher (/41/ und /57/). Es muß geprüft werden, inwieweit dieser Sachverhalt bei den Messungen berücksichtigt werden muß.

2.3 Staub

Beim Abbau von Uranerz entsteht Staub, der langlebige Radionuklide enthält. Von der Wismut liegt nicht für alle Betriebe eine ausreichende Anzahl von Messungen aus der Vergangenheit vor. Die Konzentration der Summe langlebiger Radionuklide wurde in Verbindung mit der gravimetrischen Staubmessung bestimmt. Als abgeleiteter Grenzwert gilt 0,5 Bq/m^3. Der Grenzwert wurde in den vergangenen zwanzig Jahren meistens unterschritten.

Messungen der SDAG Wismut aus den letzten zehn bis fünfzehn Jahren weisen darauf hin, daß die Aktivitätskonzentration der langlebigen Alpha-Strahler in der Atemluft meistens etwa 0,1 Bq/m^3 betragen haben könnte. Diese Werte sind vergleichbar mit denen der Uranbergwerke im Raum Elliot Lake (Kanada). In grober Näherung sind die Verhältnisse in diesen kanadischen Bergwerken im Hinblick auf den durchschnittlichen Urangehalt im Erz und auf die radiologischen Arbeitsbedingungen vergleichbar mit denen der SDAG Wismut in den achtziger

Jahren. Vor der Anwendung des Naßbohrverfahrens und der Verbesserung der Bewetterung; d. h. vor etwa 1960 kann die Staubkonzentration in der Atemluft etwa um den Faktor hundert bis tausend höher veranschlagt werden (/41/ und /57/).

Auch das Auftreten von Staub bei der Erzaufbereitung und -verarbeitung ist zu beachten /58/.

2.4 Direktstrahlung - äußere Strahlenexposition

Von der Wismut liegen keine systematischen Messungen aus der Vergangenheit vor, die Aufschluß über die Gamma-Dosisleistung am Arbeitsplatz geben. Bei den Messungen wurden die in der DDR handelsüblichen Meßgeräte und Meßgeräte aus der Fertigung der Wismut (z. B. UNIRAD) eingesetzt. Da die Verhältnisse in den Bergwerken der Wismut im Hinblick auf den Urangehalt im Erz im Mittel in grober Näherung mit denen der Uranbergwerke im Raum Elliot Lake (Kanada) vergleichbar sind, kann in erster Näherung eine Ortsdosisleistung von 0,01 mSv/h bis 0,02 mSv/h unterstellt werden /41/. Als typische Ortsdosisleistung in einem Uranbergwerk mit etwa 0,2 % Urangehalt im Erz wird eine Ortsdosisleistung von 0,005 mSv/h bis 0,015 mSv/h angegeben /59/. Allerdings sind bei der Wismut auch Uranerze mit sehr hohem Urangehalt (z. B. Pechblende) abgebaut worden. In diesen Fällen kann die Ortsdosisleistung 0,05 mSv/h bis 0,4 mSv/h betragen /60/. Die äußere Strahlenexposition eines Hauers bei der Wismut wird auf etwa 5 mSv/a geschätzt. Sie könnte in Einzelfällen beim Abbau von Gangerz bis 50 mSv/a betragen haben. Die Strahlenexposition von Bergleuten mit anderen Tätigkeiten lag näherungsweise bei 1 mSv/a bis 5 mSv/a.

Ferner ist u. a. mit der Strahlenexposition der Haut durch die Ablagerung alpha-strahlender Radionuklide zu rechnen /31/. Messungen aus Bergwerken der Wismut liegen dazu nicht vor.

2.5 Möglichkeiten der Rückwärtsermittlung

Bereits in der Einleitung wurde darauf hingewiesen, daß erst vor dreißig bis vierzig Jahren Radon - vor allem Rn222 - und seine kurzlebigen Folgeprodukte als wesentliche Ursache für Bronchialkrebserkrankungen bei Uranbergleuten erkannt wurden. Konsequenz daraus ist der Mangel an ausreichenden Meßdaten vor dieser Erkenntnis. Ferner wurde zu wenig beachtet, daß auch Staub mit langlebigen Radionukliden und die Direktstrahlung zur Strahlenexposition der Bergleute beitragen. Als Folge ist es sehr problematisch, wenn individuelle Strahlenexpositionen bestimmt werden sollen. Deswegen werden weltweit Möglichkeiten der Rückwärtsbewertung gesucht, untersucht und bewertet.

In Uranbergwerken sind frühere Bedingungen nachgestellt worden, indem unter vergleichbaren Bedingungen experimentell Strecken aufgefahren wurden (/41/ und /42/). Auf diese Weise lassen sich zwar ausgewählte Arbeitsbedingungen und ihre radiologische Bewertung ermitteln, problematisch ist aber wegen sehr oft unzureichender Dokumentation die nachträgliche zeitliche Zuordnung einzelner Bergleute zu nachgestellten Arbeitsbedingungen.

Was bei Rückwärtsermittlungen erreichbar ist, kann eine kanadische Studie über die Unsicherheiten bei der untertägigen Strahlenexposition von Bergleuten durch Radon-Folgeprodukte und die daraus folgenden Unsicherheiten bei der Risikoabschätzung zeigen /52/. Als Hauptursachen für Unsicherheiten werden vor allem die unterschiedliche Qualität der Messungen des Radons und der Radonfolgeprodukte angegeben sowie die Zuordnung der Bergleute zu den Meßorten unter Berücksichtigung der Arbeitszeit vor Ort angesehen.

Ein langlebiges Folgeprodukt des Rn222 ist Blei-210 (Pb210), das sich in Knochen ablagert. Deswegen ist untersucht worden, ob sich die Aktivitätsmessung von Pb210 in Knochen zur Bestimmung der Strahlenexposition durch Rn222-Folgeprodukte eignet (/43/ bis /46/). Die Messung des Pb210 kann durch Teilkörperzähler vorzugsweise am Schädel durch-

geführt werden. Begrenzend für die Belastbarkeit der Meßergebnisse ist die Zeitspanne von der Ablagerung des Pb210 im Knochen bis zur Messung im Hinblick auf die untere Meßgrenze und die effektive Halbwertszeit des Pb210. Ein weiteres Problem ist die Bewertung des persönlichen Metabolismus.

Die Chromosomenaberrationsanalyse kann bei der Rückwärtsermittlung hilfreich sein. Der quantitative Befund einer Chromosomenaberrationsanalyse hängt allerdings von zahlreichen Randbedingungen ab wie z. B. Höhe und Homogenität der Strahlenexposition, Krankheiten, Alter, genetischen Faktoren, Medikamenten, inkorporierten Chemikalien, Anzahl der ausgewerteten Zellen und Abnahme der Anzahl der Aberrationen mit der Zeit (/48/ und /49/). Die Chromosomenaberrationsanalyse ist daher nur bedingt zur exakten Rückwärtsermittlung der individuellen Lebensdosis von Uranbergleuten geeignet. Allerdings ist sie gerichtsrelevant entscheidend bei wenigstens einem Fall der Uranprospektion eingesetzt worden, um die Anerkennung einer Berufskrankheit durchzusetzen /47/.

3 Auswirkungen der Strahlenexposition und Setzung von Grenzwerten

3.1 Schädigungen der Lunge

3.1.1 Bronchialkarzinome

Nach heutigem Kenntnisstand sind die kurzlebigen Radon-Folgeprodukte für die Bronchialkarzinome von Bergleuten verantwortlich. Die Konzentration von Radon-Folgeprodukten, die sich mit einer Radon-Konzentration von 100 pCi/l im radioaktiven Gleichgewicht befinden, erhielten vom US Public Health Service für die potentielle Alpha-Energie-Konzentration in Luft die Bezeichnung "Working-Level" (WL). Ferner wurde formuliert, daß die Einwirkung auf den Menschen proportional ist zur potentiellen Alpha-Energie-Konzentration in Luft multipliziert mit der Aufenthaltszeit. Dies wurde international übernommen. Daher wird bei epidemiologischen Erhebungen (/7/ bis /21/) die Strahlenexposition der im Bergbau Beschäftigten meistens in der Einheit "Working-Level-Month" (WLM) angegeben, wobei ein Monat (M) mit 170 Arbeitsstunden angesetzt wird.

1 WL ist definiert als die Konzentration von kurzlebigen Radon-Folgeprodukten, die einer potentiellen Alpha-Energie-Konzentration von $1{,}3 \cdot 10^5$ MeV/l = $2{,}08 \cdot 10^{-5}$ J/m^3 entsprechen /33/. 1 WL entspricht der potentiellen Alpha-Energie-Konzentration kurzlebiger Rn222-Folgeprodukte in der Luft, die sich im radioaktiven Gleichgewicht befinden mit einer Rn222-Konzentration von 3700 Bq/m^3. Für Rn220-Folgeprodukte im radioaktiven Gleichgewicht ist 1 WL gleich einer Rn220-Konzentration von 275 Bq/m^3 /33/. 1 WLM entspricht unter modellhafter Berücksichtigung der biologischen Wirksamkeit für Rn222-Folgeprodukte einer effektiven Dosis von 10 mSv und für Rn220-Folgeprodukte einer effektiven Dosis von 3,3 mSv (/33/ und /38/).

Da Radon bereits vor über siebzig Jahren als mögliche Ursache des Bronchialkazinoms in der Diskussion war, wurden im Schneeberger Gru-

benrevier wiederholt Radon-Messungen vorgenommen und deren Ergebnisse in der Mache-Einheit (ME) angegeben. 1 ME entspricht einer Radon-Konzentration (Rn222) von 364 pCi/l oder 13500 Bq/m^3. Vor etwa sechzig Jahren galten 260 ME als toxische Aktivitätskonzentration in der Grubenluft. In dem Schacht Siebenschlehen, der als Todesschacht bekannt war, ergaben Messungen 180 ME. Als Toleranzdosis wurden 30 ME ggf. auch 3 ME zur Diskussion gestellt und der Abstand zwischen beiden Werten als Toleranzbereich definiert, der die individuelle Konstitution wie z. B. Strahlenempfindlichkeit berücksichtigen sollte /61/.

Die diskutierten Toleranzdosen von 30 ME und 3 ME entsprechen bei der Anwendung heutiger Maßeinheiten 109 WL und 10,9 WL, wenn das radioaktive Gleichgewicht zwischen Radon (Rn222) und seinen Folgeprodukten unterstellt wird. Unter dieser Voraussetzung ergeben beide Toleranzdosen bei einer Arbeitszeit von elf Monaten im Jahr und 170 Stunden pro Monat eine jährliche Strahlenexposition von 1200 WLM (12000 mSv) und 120 WLM (1200 mSv).

Intensiv werden seit etwa 45 Jahren epidemiologische Erhebungen für den Uranbergbau vorgenommen. Das hierbei relevante Radonisotop ist Rn222. Das Rn220 (Thoron) aus der Thorium-Zerfallsreihe ist im Uranbergbau bei hohen Rn222-Konzentrationen von untergeordneter Bedeutung.

Die bisher vorliegenden epidemiologischen Daten ergeben für Rn222 und seine Folgeprodukte eine statistisch signifikante Erhöhung der Bronchialkrebshäufigkeit durch Inhalation oberhalb einer Gesamtexposition von etwa 50 WLM. Sie deuten aber nicht auf die Existenz einer echten Schwelle hin, unterhalb der eine Auftretenswahrscheinlichkeit Null zu erwarten wäre /7/. Vielmehr folgt aus den Erhebungen, daß die Bronchialkrebshäufigkeit mit der Strahlenexposition bis herunter zu etwa 10 WLM in Verbindung gebracht werden kann. Die Verdopplungsdosis für Bronchialkrebs kann bei Werten von 30 WLM bis 40 WLM liegen /21/.

Nach /12/ besteht bereits ein gewisses Risiko für Bronchialkrebs, wenn der über viele Jahre kumulierten Strahlenexposition durch Rn222 und Rn222-Folgeprodukte ein jährlicher Grenzwert von 4 WLM zugrunde liegt. Diese Erkenntnis stimmt größenordnungsmäßig sowohl mit dem Risiko der vorerwähnten kumulierten Strahlenexposition von 50 WLM als auch mit der Verdoppelungsdosis von 30 WLM bis 40 WLM überein.

Interessanterweise ergaben sich vergleichbare Untersuchungsergebnisse nicht nur im Uranbergbau in den USA, in der Tschechoslowakei, in Frankreich und Kanada, sondern auch in einigen Fällen beim Untertageabbau von Flußspat in Neufundland, von Zinn in China und in Großbritannien, von Schieferton in der Tschechoslowakei, von Eisenerz in den USA, in Großbritannien, Frankreich und Schweden und von Niob in Norwegen (z. B. /7/ bis /16/, /18/ und /19/). Die Bodenschätze und ihre Nebengesteine enthalten erhöhte Konzentrationen von Uran oder Thorium oder die Grubenwässer sind radonhaltig.

Die Belastbarkeit der Ergebnisse epidemiologischer Erhebungen steht oder fällt mit der Zuverlässigkeit der ermittelten individuellen Strahlenexposition der Bergleute. Eine Studie ergab, daß die besten epidemiologischen Erhebungen die über die Uranbergleute der USA, Kanadas (Ontario) und der Tschechoslowakei sind /52/.

Wichtige Erkenntnisse und Schlußfolgerungen zum Schutz der Beschäftigten gegen radioaktive Stoffe bei der Gewinnung und Verarbeitung von Uran- und Thorium-Erzen sind seit Mitte der siebziger Jahre in Publikationen der ICRP und der IAEA dargestellt (/32/ bis /40/).

ICRP empfiehlt für die potentielle Alpha-Strahlenexposition durch Inhalation kurzlebiger Rn222-Folgeprodukte einen jährlichen Grenzwert von 4,8 WLM oder einen abgeleiteten Grenzwert von 0,40 WL unter der Voraussetzung einer mittleren Atemrate von 1,2 m^3/h und einer jährlichen Arbeitszeit von 2000 Stunden /33/. Dies entspricht unter der Voraussetzung des radioaktiven Gleichgewichts einer Rn222-Konzentration in Luft von 1500 Bq/m^3. Für Rn220-Folgeprodukte betragen die

entsprechenden Werte nach ICRP 14 WLM und 1,2 WL und 330 Bq/m^3 /33/.

Da die abgeleiteten Grenzwerte für die Rn222- und Rn220-Folgeprodukte etwa 1/100 bzw. 1/500 der Grenzwerte für die reinen Radon-Isotope betragen, kann im allgemeinen die Strahlenexposition durch Radon allein vernachlässigt werden.

IAEA gibt dieselben Inkorporationsgrenzwerte an wie ICRP (/33/, /37/ und /38/). Die Jahresgrenzwerte für die potentielle Alpha-Strahlenexposition werden für die Rn222-Folgeprodukte mit 5 WLM und für Rn220-Folgeprodukte mit 15 WLM angegeben (/37/ und /38/).

Die Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz der DDR galt ausdrücklich auch für bergbauliche und andere Tätigkeiten, soweit dabei radioaktive Stoffe, insbesondere Radon-Folgeprodukte, anwesend waren (§ 1, Abs. 2 in /62/). Entsprechend der dazugehörigen Durchführungsbestimmung war als Grenzwert für beruflich strahlenexponiertes Personal in zwölf aufeinanderfolgenden Monaten eine effektive Dosis von 50 mSv festgelegt. Für kurzlebige Rn222-Folgeprodukte war eine potentielle Alpha-Energie-Konzentration von 40 MeV/cm^3 festgeschrieben (§ 25, Abs. 1 und Anlage 2 in /63/, siehe auch /4/), die im radioaktiven Gleichgewicht einer Rn222-Konzentration von 1150 Bq/m^3 und 0,31 WL entspricht (Vergleich zu ICRP 32: 0,4 WL /33/). Die daraus abgeleitete effektive Dosis für die Inhalation kurzlebiger Rn222-Folgeprodukte beträgt 40 mSv im Jahr. Diese Regelungen gelten nach dem Einigungsvertrag weiterhin /64/ und sie wurden in die Strahlenschutzverordnung (§ 89a in /65/) eingebunden. Vorher enthielt die Strahlenschutzverordnung /66/ und bis z. Z. enthalten Atomgesetz und Bundesberggesetz der Bundesrepublik Deutschland keine vergleichbaren Bestimmungen für den Bergbau. Die anstehende Novellierung der EG-Grundnorm zum Strahlenschutz enthält Regelungen zum Uranbergbau, die voraussichtlich auch in das Strahlenschutzrecht der Bundesrepublik Deutschland übernommen werden.

Bei der SDAG Wismut galten folgende Werte für die Luftkonzentration von Rn222-Folgeprodukten, für die Zuordnung von beruflich strahlenexponiertem Personal und für den operativen Strahlenschutz:

- 4 MeV/cm^3
  Grenzwert für nicht beruflich strahlenexponiertes Personal

- 40 MeV/cm^3
  Grenzwert für beruflich strahlenexponiertes Personal, gleichzeitig Warnwert (Auflage, Bewetterung in festgelegter Frist zu verbessern)

- 120 MeV/cm^3
  Sperrwert für Arbeitsorte (nur Arbeiten zur Verbesserung der Situation erlaubt)

Rn220 und seine Folgeprodukte wurden bei der SDAG Wismut nicht berücksichtigt, obwohl dafür Grenzwerte vorgesehen waren /63/.

Wie epidemiologische Erkenntnisse zeigen (/7/ und /12/), ist zu diskutieren, ob die Festsetzung von jährlichen Grenzwerten für die potentielle Alpha-Strahlenexposition durch Inhalation kurzlebiger Radon-Folgeprodukte allein für einen angemessenen Strahlenschutz ausreicht, wenn eine langjährige Berufstätigkeit zu berücksichtigen ist, über deren Dauer sich die Strahlenexposition kumuliert. Dies hat bereits in einzelnen Ländern zur Festlegung von Grenzwerten für die Lebensarbeitszeitdosis geführt. So ist in Schweden für die Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und Radon-Folgeprodukten ein Grenzwert für die Lebensarbeitszeitdosis von 35 WLM (350 mSv) festgesetzt worden. Im Uranbergbau in Elliot Lake in Kanada haben Unternehmer und Gewerkschaften einen Grenzwert für die Lebensarbeitszeitdosis von 80 WLM (800 mSv) vereinbart, nach dessen Erreichen der betroffene Beschäftigte nach übertage an einen Arbeitsplatz mit geringer Strahlenexposition umgesetzt werden muß /67/. Das Innenministerium der USA unterstellt einen Grenzwert für die Lebensarbeitszeitdosis von 120 WLM (1200 mSv) /10/.

Im Hinblick auf die effektive Dosis diskutiert ICRP eine Begrenzung der Lebensarbeitszeitdosis auf 1000 mSv und empfiehlt für eine Periode von fünf Jahren einen Grenzwert von 100 mSv, wobei in einem einzelnen Jahr bis zu 50 mSv möglich sind /36/. Ein Grenzwert von 100 mSv für eine Periode von fünf Jahren wird u. a. in die EG-Richtlinie zum Strahlenschutz und damit in Folge auch in die Strahlenschutzverordnung der Bundesrepublik Deutschland übernommen werden. In der Strahlenschutzverordnung der Bundesrepublik Deutschland ist ein Grenzwert für die Lebensarbeitszeitdosis von 400 mSv festgelegt (§ 49, Abs. 1 in /65/ und /66/).

Aber auch die jährlichen Grenzwerte für die Strahlenexposition durch Inhalation kurzlebiger Radon-Folgeprodukte werden zu niedrigen Werten hin verändert. Zuerst empfahl ICRP 1955 für Rn222-Folgeprodukte 12 WLM (120 mSv) /67/, 1981 waren es 4,8 WLM (48 mSv) /33/ und z. Z. beabsichtigt ICRP mit einer in Bearbeitung befindlichen neuen Richtlinie, eine weitere Reduzierung des jährlichen Grenzwertes vorzuschlagen.

Das Innenministerium der USA definierte 1969 einen Jahresgrenzwert von 12 WLM (120 mSv), der 1972 auf 4 WLM (40 mSv) abgesenkt wurde und in den USA bis heute gültig ist. Begründung für die Absenkung war die Voraussetzung, daß bei einem Grenzwert für die Lebensarbeitszeitdosis von 120 WLM (1200 mSv) in 30 Berufsjahren das Bronchialkrebsrisiko gering sei. Dieses Vorgehen wurde aber bewußt relativiert, weil die Erfassung der Strahlenexposition unzureichend ist; d. h. oft zu niedrige Werte ergibt /10/.

Für die Strahlenexposition der in den Gruben der Wismut beschäftigten Bergleute werden für Rn222 und seine kurzlebigen Folgeprodukte folgende Schwankungsbereiche angegeben /68/:

	bis	1955	30	-	300	WLM/a
1956	bis	1960	10	-	100	WLM/a
1961	bis	1965	5	-	50	WLM/a
1966	bis	1970	3	-	25	WLM/a
1971	bis	1975	2	-	10	WLM/a
	ab	1976	1	-	4	WLM/a

Die hohen Strahlenexpositionen der bei der Wismut beschäftigten Bergleute vor mehr als dreißig Jahren hatten ihre Ursache in der geringen Bewetterung der Bergwerke, die bis in die fünfziger Jahre hinein auf natürlicher Bewetterung beruhte. Ab Mitte der fünfziger Jahre wurden Hauptgrubenlüfter installiert. Dadurch wurden die Wettermengen erhöht und die Schadstoffkonzentrationen entsprechend erniedrigt. Strahlenschutz im Uranbergbau ist wesentlich über die Verbesserung der Wetterführung erreichbar. Durch eine geeignete Wahl der Wetterrichtung wurde zunehmend sichergestellt, daß den belegten Arbeitsplätzen insbesondere im Abbau und im Vortrieb nur Wetter mit möglichst geringer Vorbelastung zugeführt wurden. Dem Austritt von Radon aus abgeworfenen Grubenbauen in den Frischwetterbereich und damit in den Aufenthaltsbereich der Bergleute wurde entgegengewirkt durch Hermetisierungsmaßnahmen, durch Überdruckbewetterung, soweit dies in begrenztem Umfang möglich war, und durch Drainagebewetterung. Drainagebewetterung ähnelt der Methanabsaugung im Steinkohlebergbau. Die Tendenz dieser Maßnahmen zeigte sich in den stetig abnehmenden Strahlenexpositionen für die Beschäftigten. Ähnliche Effekte sind auch international feststellbar (z. B. /14/ und Abbildung 2.2 in /52/).

Bei der SDAG Wismut wurde auschließlich die Strahlenexposition durch Rn222-Folgeprodukte ermittelt. Dies ist international kein Einzelfall. ICRP und IAEA empfehlen die additive Bewertung der Strahlenexposition durch Rn222- und Rn220-Folgeprodukte, Staub mit langlebigen Radionukliden und Direktstrahlung (/35/ und /39/). Folgt man dieser Empfehlung nicht, so kann die Strahlenexposition für Uranbergleute über

dem jährlichen Grenzwert für die effektive Dosis von 50 mSv liegen (z. B. /57/).

3.1.2 Lungenfibrosen

Akute oder chronische Strahlenexpositionen der Lungen können zu Lungenfibrosen führen, d. h. zu Vermehrungen des Bindegewebes, die die Lungenfunktion herabsetzen und die mit oder ohne begleitende Silikosen oder Infektionen zum Tode führen können.

Die Strahlenexposition der Lunge kann ihre Ursache in Direktstrahlung (z. B. Strahlentherapie) oder in der Inhalation radioaktiver Stoffe (z. B. Radon-Folgeprodukte) haben. Bei strahleninduzierten Lungenfibrosen handelt es sich um nichtstochastische Schäden, deren Schwere mit der Strahlendosis parallel geht und die erst ab einer bestimmten Schwellendosis auftreten (/23/ bis /26/). Im Gegensatz dazu stehen stochastische Schäden (z. B. Karzinome, Leukämien), deren Häufigkeit - nicht aber deren Schwere - als Funktion der Strahlendosis auftritt und bei denen ein Schwellenwert ausgeschlossen wird.

Bei Lungendosen von mehr als 20 Sv ist mit der Auslösung von strahleninduzierten Lungenfibrosen zu rechnen. Die bisher gewonnenen Erkenntnisse müssen in Zukunft durch systematische Untersuchungen erweitert werden (/25/ und /26/).

Der Dosiskonversionsfaktor für das alveoläre Gewebe bei Exposition gegenüber Radon und seinen kurzlebigen Folgeprodukten ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Während bisher von einem Wert von 30 mSv/WLM bis 40 mSv/WLM für die Gesamtlunge ausgegangen wurde, wird z. Z. für den alveolären Bereich ein Wert von 2,86 mSv/WLM diskutiert. Letzterer würde bei einer Lungendosis von 20 Sv einer sehr hohen WLM-Belastung entsprechen. Realistischer ist der bisher zur Anwendung gelangte Wert von 12,9 mSv/WLM /26/.

3.2 Karzinome außerhalb der Lunge

Radioaktive Stoffe, die auf die Haut einwirken und über die Lunge in die Körperflüssigkeit übergehen, oder Direktstrahlung können Karzinome außerhalb der Lunge oder Leukämien auslösen. Radioaktive Stoffe dieser Art sind z. B. Radon-Folgeprodukte oder Uran und Thorium und deren Folgeprodukte.

Aus allgemeinen Berechnungsgrundlagen läßt sich qualitativ ableiten, welche Organe gefährdet sein könnten. Es liegen allerdings nicht für alle Organe entsprechende Berechnungsgrundlagen vor /69/. Kriterium kann die Verdoppelungsdosis für die Auslösung von Karzinomen und Leukämien sein. Bei diesem Vorgehen wird der Blick gelenkt auf die Knochenoberfläche, das Rote Knochenmark und ggf. auf Leber, Milz und Niere.

Systematische Untersuchungen oder epidemiologische Erhebungen in Bezug auf extrapulmonale Karzinome oder Leukämien bei Bergleuten, die in ihrer Belastbarkeit mit denen zum Bronchialkarzinom vergleichbar sind, sind nicht bekannt. Diskutiert werden Karzinome der Blase, Niere, Leber, des Magens und des Kehlkopfs und Leukämien (/19/, /22/, /27/ bis /30/). Radon-Folgeprodukte sollen für Hautkrebs verantwortlich sein /31/.

Vergleichsweise können die deutsche Thorotrast-Studie und zwei Studien über die Anwendung von Radium-224 (Ra224) diskutiert werden (/70/ bis /72/). In diesen Studien wurde ermittelt, daß Karzinome der Leber, der Knochen, des Knochenmarks (Leukämien), der Plasmazellen, der Speiseröhre, des Kehlkopfs, der Bauchspeicheldrüse und des lymphatischen Gewebes auftraten. Thorium und Radium wurden intravenös appliziert. Die ersten gesundheitlichen Schädigungen traten nach zwei Jahren, die letzten nach mehr als 45 Jahren auf. Die Studien erfüllen die Anforderungen an epidemiologische Erhebungen.

Bestimmend für die Grenzwerte von Radon und seinen kurzlebigen Folgeprodukten sind ausschließlich die Ergebnisse epidemiologischer Erhebungen über Bronchialkarzinome von Bergleuten (/33/, /37/ und /38/). Dies wurde bereits dargestellt. Untersuchungen über extrapulmonale Auswirkungen liegen nicht vor.

Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr für Staub mit langlebigen Radionukliden im Uranbergbau sind u. a. abhängig von der Lungengängigkeit der Staubpartikel, d. h. von ihrer Größe und von der Löslichkeit ihrer chemischen Verbindungen (/35/ und /39/). Unter diesen Randbedingungen ist die jeweilige biologische und radiologische Wirksamkeit des radioaktiven Staubs und damit die Höhe der Grenzwerte für die Jahresaktivitätszufuhr unterschiedlich. Unterstellt man einen mittleren aerodynamischen Durchmesser von 1 µm so beträgt der jährliche Grenzwert für Radionuklide der Uranzerfallsreihe 1700 Bq und für Radionuklide der Thorium-Zerfallsreihe 380 Bq (/35/ und /39/). Unterstellt man einen mittleren aerodynamischen Durchmesser von etwa 5 µm, so beträgt der jährliche Grenzwert für die Uranzerfallsreihe 3800 Bq /57/.

3.3 Kofaktoren

In der Bewertung epidemiologischer Erhebungen werden neben den dort für Bergleute ausschließlich behandelten Radon und Radon-Folgeprodukten häufig auch andere Noxen (Stoffe mit schädigender Wirkung auf den Organismus) mit berücksichtigt wie z. B. Arsen, Asbest, silikogener Staub, Schweißrauche, Dieselmotoremissionen sowie Zigarettenrauch /18/. Auf diese Zusammenhänge, die gelegentlich in ihren Auswirkungen unterschiedlich gewichtet werden, wird in diesem Bericht nicht weiter eingegangen.

4 Anerkennung strahleninduzierter Berufskrankheiten

4.1 Allgemeine Bemerkungen

Der Uranbergbau in Sachsen und Thüringen wurde ab 1946 von der Sowjetischen Aktiengesellschaft Wismut (SAG Wismut) betrieben - ab 1954 von der Sowjetisch-Deutschen Aktiengesellschaft Wismut (SDAG Wismut). 1991 hat das Bundeswirtschaftsministerium die SDAG Wismut übernommen /73/. Seit 1946 sollen bei der Wismut etwa 400000 Bergleute gearbeitet haben. Insgesamt wurden bis zur Einstellung der Erzförderung 1990 etwa 220000 t Uran gewonnen, die ausnahmslos in die Sowjetunion geliefert wurden.

Für die gesundheitliche Betreuung der Beschäftigten war das Gesundheitswesen Wismut zuständig, das nicht der Leitung der SDAG Wismut unterstand, sondern rechtlich dem Zentralvorstand der Industriegewerkschaft Wismut und fachlich dem Ministerium für Gesundheitswesen /74/. Für den medizinischen Arbeitsschutz war eine Arbeitshygieneinspektion als Bestandteil des Gesundheitswesens Wismut zuständig /75/. Über die Anerkennung von Berufskrankheiten entschied die Sozialversicherung Wismut.

Ionisierende Strahlung war in der DDR als Ursache von Berufskrankheiten nach Nr. 51 und 92 der Liste der Berufskrankheiten anerkannt /76/.

Die Sozialversicherung Wismut verwendete eine definierte Strahlenexposition als Anerkennungsschwelle und Arbeitshilfe im Feststellungsverfahren einer strahleninduzierten Berufskrankheit.

Mit dem Einigungsvertrag /64/ traten 1990 für das Gebiet der DDR das Dritte, Fünfte und Sechste Buch der Reichsversicherungsordnung (RVO) in Kraft /77/. Danach sind z. B. auch die Bestimmungen über Arbeitsunfall (§ 548 RVO), Berufskrankheit (§ 551 RVO, ab 01.01.1992) und Berufsgenossenschaften als Träger der allgemeinen Unfallversicherung (§ 646 RVO) wirksam. In der Berufskrankheitenverordnung (BKVO) wer-

den in Anlage 1 die Krankheiten bezeichnet, die als Berufskrankheit gelten /78/. Nr. 2402 in dieser Anlage 1 steht für Erkrankungen durch ionisierende Strahlen.

In der Bundesrepublik Deutschland stellt das Feststellungsverfahren bei Berufskrankheiten grundsätzlich auf den Einzelfall ab. Für den Einzelfall sind die Kausal-Zusammenhänge zwischen der versicherten Berufstätigkeit und der schädigenden Einwirkung (haftungsbegründende Kausalität) einerseits und zwischen der schädigenden Einwirkung und der festgestellten Erkrankung (haftungsausfüllende Kausalität) andererseits zu prüfen. Die einschlägigen Grenzwerte von Strahlenschutzbestimmungen zielen auf prophylaktische Maßnahmen der Unfall- und Berufskrankheitenverhütung und sie dürfen nicht als Ablehnungs- oder Anerkennungskriterien im Feststellungsverfahren für Berufskrankheiten verwendet werden (/7/, /36/, /64/, /79/ und /80/). Sie werden auch nicht entsprechend eingesetzt.

Für den Nachweis der schädigenden Einwirkung wird dabei ein hoher Grad an Wahrscheinlichkeit im Sinne eines Vollbeweises gefordert /79/. Der Zusammenhang zwischen der gefährdenden Einwirkung und der festgestellten Erkrankung (haftungsausfüllende Kausalität) muß hinreichend wahrscheinlich sein. Eine hinreichende Wahrscheinlichkeit ist dann gegeben, wenn nach dem anerkannten Stand der medizinischen Wissenschaft mehr für als gegen einen Zusammenhang spricht und ernste Zweifel hinsichtlich einer anderen Verursachung ausscheiden.

Grundsätzlich kann eine gefährdende Einwirkung als Alleinursache, als wesentliche Teilursache oder als richtungsweisende Verschlimmerung für die Entstehung einer Berufskrankheit ursächlich sein. Für die Bergleute der Wismut ist zu prüfen, ob der Strahlenexposition eine wesentliche Teilursächlichkeit zukommt. Grundlage der Anerkennung einer strahlenexponierten Berufskrankheit ist daher in jedem Fall die Ermittlung der individuellen Strahlenexposition.

4.2 Schädigungen der Lunge

4.2.1 Bronchialkarzinome

Die Sozialversicherung Wismut hat 5237 Fälle von Bronchialkrebs bis zum 31. Dezember 1990 als Berufskrankheiten anerkannt. 98 % der Fälle von Bronchialkrebs entfallen auf Bergleute, die bis 1955 eingestellt wurden und 2 % auf Einstellungen zwischen 1956 und 1960 /81/. Bei Bergleuten mit Einstellungen nach 1960 traten bisher nur Einzelfälle auf /82/. Die Lungenkrebsfälle bei der Wismut gingen in das Krebsregister der DDR aber nicht in die Berufskrankheitenstatistik der DDR ein.

Für den Bereich des Bergbaus der Wismut wurde in der DDR die Anerkennung eines Lungenkrebses als Berufskrankheit direkt ausgesprochen, wenn die Strahlenexposition eine bestimmte Anerkennungsschwelle überschritt. Bis Mitte 1990 betrug die Anerkennungsschwelle 450 WLM und wurde danach auf 200 WLM abgesenkt. Bis 1970 wurde als zusätzliche Voraussetzung für eine direkte Anerkennung eine Untertage-Tätigkeit von mindestens zehn Jahren, später von mindestens drei Jahren gefordert. Nicht hierunter einzuordnende Fallgestaltungen unterlagen der besonderen Prüfung im Einzelfall. Seit Mitte 1990 sieht dies wie folgt aus:

<	150	WLM -	keine Anerkennung
ab	150 bis < 200	WLM -	Diskussion des Einzelfalles in der Ärztekommission (z. B. mögliche Fakten: gleichzeitige Silikose, Tätigkeit, Latenzzeit, histologische Untersuchung)
≥	200	WLM -	Anerkennung

Die Sozialversicherung Wismut war nicht an die Empfehlungen der Ärztekommission gebunden.

Da etwa 98 % der Bronchialkrebsfälle Personen mit der Aufnahme bergmännischer Berufstätigkeit bei der Wismut vor 1955 betreffen, war

wegen der damaligen hohen Strahlenexposition der Bergleute in den meisten Fällen keine weitere Begründung notwendig. Allerdings führten Änderungen im Anerkennungsverfahren nicht zur nachträglichen Anerkennung vorher abgelehnter Anträge. Auf diese Weise entstand ein aufzuarbeitender Bestand von etwa 2500 Fällen /73/.

Darüber hinaus ist nach der bisherigen Erfahrung wegen der langen Latenzzeit des strahlenbedingten Bronchialkarzinoms bis auf weiteres mit etwa 200 bis 300 neuen Erkrankungen pro Jahr zu rechnen, wie sich aus vorliegenden Daten ableiten läßt /73/.

Der Sozialversicherung Wismut wurden 7163 Anträge auf Anerkennung von Lungenkrebs als Berufskrankheit bis zum 31. Dezember 1990 vorgelegt. Nach Schätzungen einer Studie wird unterstellt, daß z. B. wegen Abwanderung ehemaliger Bergleute der Wismut und wegen der langen Latenzzeit des Bronchialkarzinoms möglicherweise nur etwa 50 % der männlichen Lungenkrebsfälle bisher in ein Anerkennungsverfahren für eine Berufskrankheit eingebracht wurden /29/.

Für den Bereich des Nichturanbergbaus der DDR, d. h. dem volkseigenen Bergbau, lag die Schwelle für die Anerkennung bei 200 WLM. Fallgestaltungen bis herunter zu etwa 100 WLM unterlagen der besonderen Prüfung im Einzelfall /83/.

Nach dem 1. Januar 1991 waren die Berufsgenossenschaften der Bundesrepublik Deutschland zuständig. Vom Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften wurden Bearbeitungsempfehlungen für ein vereinfachtes Feststellungsverfahren herausgegeben. Den Berufsgenossenschaften wurde zunächst empfohlen, bei kumulierten Strahlenexpositionen von mehr als 200 WLM ein vereinfachtes Bearbeitungsverfahren anzuwenden. Bei diesen Fallgestaltungen genügt für die Anerkennung eine fachärztliche Stellungnahme anstelle der sonst erforderlichen medizinischen Begutachtung des Einzelfalls. Der Kausalzusammenhang zwischen der Strahlenexposition und der festgestellten

Erkrankung wird regelmäßig als ausreichend wahrscheinlich einzuschätzen sein. Dieses Vorgehen wurde 1992 geändert.

Ausgehend von epidemiologischen Befunden über das Bronchialkrebsrisiko, insbesondere von Uranbergleuten in den USA, in Kanada und in der Tschechoslowakei und von bereits bestehenden Modellen zur Abschätzung dieses Risikos (/18/ und /52) wird z. Z. ein relatives Risiko-Modell eingesetzt, das den Gegebenheiten bei der Wismut besser angepaßt sein soll /84/. Es wird von einer proportionalen Beziehung zwischen den beruflichen Exposition durch Rn222-Folgeprodukte und dem zusätzlichen relativen Bronchialkrebsrisiko ausgegangen. Dabei wird berücksichtigt, daß der relative Risikokoeffizient, d. h. das zusätzliche relative Risiko pro Einheit der kumulierten Exposition durch Rn222-Folgeprodukte, vom Alter des Beschäftigten zur Zeit der Exposition und vom Alter bei der Diagnose abhängt. Für die zeitliche Risikoprojektion wird als wesentliche Variable die Zeit nach der Exposition betrachtet.

Auf der Grundlage dieser Studie /84/ wurde Anfang 1992 die Bearbeitungsempfehlung für die Berufsgenossenschaft optimiert. Es wurde seitdem die vereinfachte Bearbeitung auf Fallgestaltungen mit einer Verursachungswahrscheinlichkeit von 50 % und mehr ausgedehnt. Die Bearbeitungsempfehlung bindet in keinem Fall den medizinischen Gutachter bei der Behandlung des Einzelfalls und begrenzt in keinem Fall eine Anerkennung der Berufskrankheit nur auf solche Fälle. Dies ist geboten, z. B. wegen der Verdoppelungsdosis und Bewertung der 95%-Perzentile als Vertrauensbereich für vorhandene und verwendete Daten (/21/, /52/ und /84/).

Durch die Abwanderung von Bergleuten aus der Wismut, die bis zu 100000 Personen und mehr betragen haben kann, ist mit der Möglichkeit zu rechnen, daß strahlenbedingte Lungenkarzinome in ganz anderen Gebieten der DDR und in geringerem Maße vor 1990 im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland aufgetreten sind /29/. Diese Problematik wird von den Berufsgenossenschaften in ihre Arbeit einbezogen.

Unter der Federführung des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften begann ein Programm zur Erhebung der beruflichen Arbeitsbedingungen einschließlich der Ermittlung der Strahlenexposition der Bergleute für die Durchführung von Vorsorgeuntersuchungen (/85/ und /86/). Die anfallenden Informationen und Daten verbleiben bei den Berufsgenossenschaften und unterliegen dem Datenschutz. Nach Schätzungen betrifft dieses Programm insgesamt etwa 100000 Bergleute der Wismut.

4.2.2 Lungenfibrosen

Wie bereits dargestellt wurde, sind Lungenfibrosen nichtstochastische Schäden. Im Bereich der Wismut wurden sie nicht als Berufskrankheiten in Betracht gezogen. Ob dies in Anerkennungsverfahren durch Berufsgenossenschaften anders war und ist, ist nicht bekannt.

Daß Lungenfibrosen strahlenbedingt sein können, ist seit etwa siebzig Jahren veröffentlicht (/25/ und /26/). In der DDR wurden Lungenfibrosen als Berufskrankheiten anerkannt, die durch Rn222 und Rn220 und ihre Folgeprodukte ausgelöst wurden. Begutachtungskriterien für die radonbedingte Lungenfibrose waren vor allem:

- Lungendosis von mehr als 20 Sv durch chronische Inhalation
- Nachweis langlebiger Rn222-Folgeprodukte, insbesondere Pb210 in der Schädelkalotte
- Nachweis langlebiger Radon-Folgeprodukte in Gewebeproben (z. B. Lunge, Hiluslymphknoten, Skelett)
- Erhöhte dizentrische Chromosonenaberrationen

Der Nachweis einer Lungenfibrose erfolgt am Patienten durch spezielle funktionsdiagnostische Methoden und/oder durch Gewebeuntersuchungen nach diagnostischer Probenahme. Konventionelle Röntgenuntersuchungen bringen bei der radonbedingten Lungenfibrose mit ihren diffusen Gewebeveränderungen meistens keine verwertbaren Auf-

schlüsse. Bei Todesfällen ist ebenfalls die feingewebliche Untersuchung des Lungengewebes die zu wählende diagnostische Methode.

Wie allein schon die Daten für die Strahlenexposition der Bergleute durch Rn222 und seine Folgeprodukte zeigen, können bei der Wismut Lungenfibrosen als Berufskrankheit nicht ausgeschlossen werden. Lungenfibrosen wurden bisher nicht bewertet, müssen aber mit betrachtet werden (/23/ bis /26/).

4.3 Karzinome außerhalb der Lunge

Wie bereits dargestellt wurde, wurden systematische Untersuchungen über bergbaubedingte strahleninduzierte extrapulmonale Karzinome und Leukämien nicht durchgeführt. Gleichwohl ist nicht auszuschließen, daß sie als Berufskrankheit im Uranbergbau entstanden sein können. Z. B. lagern bei der Wismut GmbH Akten, die bislang nicht ausgewertet wurden. Die Analyse und Bewertung dieses Sachverhalts ist geboten.

5 Ausblick und weitere notwendige Arbeiten

Wie dieser Bericht zeigt, sind die Strahlenexpositionen der Bergleute bedingt durch

- Inhalation der Edelgase Rn222 und Rn220 sowie ihrer kurzlebigen Folgeprodukte
- Inhalation von Staub mit langlebigen Radionukliden (Erz, Gestein)
- Direktstrahlung - äußere Strahlenexposition.

Die Aussagen in diesem Bericht gelten für Bergleute in Uranbergbau - sei es für die Erzgewinnung untertage oder übertage. Weitere Beschäftigte für unterstützende Arbeiten wie z. B. Wartung, Erzaufbereitung und Transport wurden in Bezug auf die Strahlenexposition nicht behandelt. Hier fehlen Daten, die ebenso in der Rückwärtsermittlung abzuleiten sind.

Daten für Rn220 und dessen kurzlebige Folgeprodukte, Staub mit langlebigen Radionukliden und Direktstrahlung sind zu vervollständigen und in die Strahlenexposition einzubeziehen.

Die Rückwärtsermittlung von Daten ist allerdings problematisch, z. B. im Hinblick auf die Übertragbarkeit auf ehemalige Arbeitsbedingungen und auf die Ermittlung der individuellen Strahlenexposition.

Seit über dreißig Jahren hat die Strahlenexposition der Bergleute der SDAG Wismut stark und stetig abgenommen. Damit ist die Zuordnung einer individuellen Strahlenexposition von zunehmender Bedeutung für die Anerkennung einer strahleninduzierten Berufskrankheit. Daher ist die Erhebung epidemiologischer Daten für die Zeit nach 1960 besonders wichtig.

Die Geschichte und die Auswirkungen des Uranbergbaus in Sachsen und Thüringen sind nicht zuletzt wegen der Nachkriegsgeschichte ein

nationales Problem /87/. Die Folgen aus diesem Uranbergbau verlangen eine fachliche und politische Lösung im Sinne der Betroffenen.

Der hier vorgelegte Bericht ist eine erweiterte Fassung des Berichts FS-92-62-AKURA vom April 1992 /88/. Er wird fortgeschrieben, wenn weitere Erkenntnisse und Informationen vorliegen.

6 Unterlagen

/1/ F. H. Härting, W. Hesse
Der Lungenkrebs, die Bergkrankheit in den Schneeberger Gruben
Vierteljahresschrift gerichtl. Medizin und öffentl. Gesundheitswesen 31, Seiten 313 - 337 (1879)

/2/ F. H. Härting, W. Hesse
Der Lungenkrebs, die Bergkrankheit in den Schneeberger Gruben
Vierteljahresschrift gerichtl. Medizin und öffentl. Gesundheitswesen 31, Seiten 101 - 132 (1879)

/3/ W. Schüttmann
Die Anerkennung der Schneeberger Lungenkrankheit als Berufskrankheit in der ersten Berufskrankheitenverordnung von 1925
Z. gesamte Hyg. 33 (12), Seiten 662 - 665 (1987)

/4/ W. Drees
Folgeprodukte des Radons im Erz- und Spatbergbau
Neue Bergbautechnik 11 (3), Seiten 191 - 194 (März 1981)

/5/ O. Blome
Geschichte, Ursachen und Verlaufsschilderung der "Schneeberger Lungenkrankheit" bzw. der Berufskrankheit Nr. 92 der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik/Nr. 2402 der Bundesrepublik Deutschland
Die BG (1), Seiten 38 - 46 (Januar 1993)

/6/ E. Lorenz
Radioactivity and Lung Cancer; a Critical Review of Lung Cancer in the Miners of Schneeberg and Joachimsthal
J. Natl. Cancer Inst. 5 (1), pp. 1 - 15 (August 1944)

/7/ W. Jacobi
Lungenkrebs nach Bestrahlung: Das Radon-Problem
Naturwissenschaften 73, Seiten 661 - 668 (1986)

/8/ J. H. Harley
Sampling and Measurement of Airborne Daughter Products of Radon
Nucleonics 11 (7), pp. 13 - 15 (July 1953)

/9/ W. F. Bale, J. V. Shapiro
Radiations Dosage to Lungs from Radon and Its Daughter Products
Proc. 1st Intern. Conf. Peaceful Uses of Atomic Energy, United Nations, N. Y, Vol. 13, pp. 233 - 236 (1956)

/10/ S. Stafford
Mine Radiation Control Efforts Are Waged on Varity of Fronts
Mine Safety and Health
US Dep. of Labor, Mine and Health Administration 4, pp. 2 - 9 + 28
(February/March 1979)

/11/ H.M. Solli, A. Andersen, E. Stranden et al.
Cancer Incidence Among Workers Exposed to Radon and Thoron Daughters at a Niobium Mine
Scand. J. Work Environ. Health 11, pp. 7 - 13 (1985)

/12/ E.P. Radford, K.G.St. Clair Renard
Lung Cancer in Swedish Iron Miners Exposed to Low Doses of Radon Daughters
N. Engl. J.Med. 310, pp. 1486 - 1494 (June 7, 1984)

/13/ J. Sevc, E. Kunz, L. Tomasek
Cancer in Man after Exposure to Rn Daughters
Health Physics 54 (1), pp. 27 - 46 (January 1988)

/14/ M. Tirmarche, A. Raphalen, F. Allin et al.
Lung Cancer Mortality of Uranium Miners in France
Australian Radiation Protection Society,
Proceedings of the 7th International Congress of IRPA,
April 10 - 17, 1988; Syndney, pp. 171 - 175

/15/ J.M. Samet
Review: Radon and Lung Cancer
J. Natl. Cancer Inst. 81 (10), pp. 745 - 757 (May 22, 1989)

/16/ J.H. Lubin, Y. Qiao, Ph. Taylor et al.
Quantitative Evaluation of the Radon and Lung Cancer Association in a Case Control Study of Chinese Tin Miners
Cancer Research 50 (1), pp. 174 - 180 (January 1, 1990)

/17/ W. Jacobi
Radiation Exposure from Natural Sources: The Radon Problem
in: Institut für Strahlenschutz der BG FuE und BG Ch, Proceedings "Risk Estimates for Radiation Carcinogenesis"
Bad Münstereifel (FRG), 28./29. September 1989, pp. 21 - 31

/18/ US Department of Energy (DOE)
Radon Epidemiology - A Guide to the Literature
DOE/ER-0399, DE89-006398, December 1988

/19/ J.M. Samet
Diseases of Uranium Miners and Other Underground Miners Exposed to Radon
Occup. Med. State Art Rev. 6 (4), pp. 629 - 639 (October 1991)

/20/ J.M. Samet, D.R. Pathak, M.V. Morgan et al.
Lung Cancer Mortality and Exposure to Radon Progeny in a Cohort of New Mexico Underground Uranium Miners
Health Physics 61 (6), pp. 745 - 752 (December 1991)

/21/ J. Sevc, L. Tomasek, E. Kunz et al.
A Survey of the Czechoslovak Follow-up of Lung Cancer Mortality in Uranium Miners
Health Physics 64 (4), pp. 335 - 369 (April 1993)

/22/ M. Tirmarche, A. Raphalen, F. Allin et al.
Mortality of a Cohort of French Uranium Miners Exposed to Relatively Low Radon Concentrations
Br. J. Cancer 67, pp. 1090 - 1097 (1993)

/23/ V.E. Archer, B.E. Carrol, H.P. Brinton et al.
Epidemiological Studies of Some Non-fatal Effects of Uranium Mining
IAEA-STI/PUB/78, pp. 21 - 36 (1964)

/24/ Congress of the United States of America
An Act to Provide Jurisdiction and Procedures for Claims for Compassionate Payments for Injuries Due to Exposure to Radiation from Nuclear Testing
H.R. 2372 (January 23, 1990)

/25/ D. Arndt, W. Schüttmann
Radonbedingte Lungenfibrosen des Menschen - Literaturberichte und eigene gutachtliche Erfahrungen
Erweiterte Fassung eines Vortrags im Rahmen des 24th Annual Meeting of the European Society for Radiation Biology, Erfurt, FRG
4. - 8. Oktober 1992
siehe auch: Wissenschaft und Umwelt (2), Seiten 185 - 1991 (1992)

/26/ D. Arndt
Lungenfibrosen nach Radoninhalation - diagnostische und gutachterliche Gesichtspunkte
Beitrag zur Jahrestagung der Vereinigung deutscher Strahlenschutzärzte, Dresden, 4. Juni 1993

/27/ D.K. Myers, J.R. Johnson
Radiation Hazards in Uranium Mining: Epidemiological and Dosimetric Approaches
AECL-9848 (January 1989)

/28/ R.B. Richardson, J.P. Eatough, D.L. Henshaw
Dose to Red Bone Marrow from Natural Radon and Thoron Exposure
The British Journal of Radiology 64 (763), pp. 608 - 624 (July 1991)

/29/ L. Heinemann, K. Martin, J. Conrady u. a.
Gesundheitsrisiken durch Strahlenexposition in den Südbezirken der ehemaligen DDR
BMU-1992-354, ISSN 0724-3316 (Januar 1992)

/30/ L. Thomasek, S.C. Darby, A.J. Swerdlow et al.
Radon Exposure and Cansers Other than Lung Cancer Among Uranium Miners in West Bohemia
Lancet (341), pp. 919 - 923 (1993)

/31/ M. Sevcova, J. Sevc, J. Augustinova et al.
Skin Basalioma Incidence in Miners and in Non-miner Teams - Comparison of Epidemiological Studies
Ceskoslovanska Dermatologie 59 (1), pp. 1 - 5 (1984)

/32/ International Commission on Radiological Protection (ICRP)
Radiation Protection in Uranium and Other Mines
ICRP Publication 24 (March 1976)
Pergamon Press

/33/ International Commission on Radiological Protection (ICRP)
Limits of Inhalation of Radon Daughters by Workers
ICRP Publication 32 (March 1981)
Pergamon Press

/34/ International Commission on Radiological Protection (ICRP)
General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers
ICRP Publication 35 (March 1982)
Pergamon Press

/35/ International Commission on Radiological Protection (ICRP)
Radiation Protection of Workers in Mines
ICRP Publication 47 (July 1985)
Pergamon Press

/36/ International Commission on Radiological Protection (ICRP)
1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection
ICRP Publication 60 (November 1990)
Pergamon Press

/37/ International Atomic Energy Agency (IAEA)
Basic Safety Standards for Radiation Protection - 1982 Edition
IAEA, Safety Series No. 9, Vienna 1982

/38/ International Atomic Energy Agency (IAEA)
Radiation Protection of Workers in Mining and Milling of Radioactive Ores - 1983 Edition
IAEA, Safety Series No. 26, Vienna 1983

/39/ International Atomic Energy Agency (IAEA)
Application of the Dose Limitation System of the Mining and Milling of Radioactive Ores
IAEA, Safety Series No. 82, Vienna 1987

/40/ International Atomic Energy Agency (IAEA)
Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores
IAEA, Safety Series No. 95, Vienna 1989

/41/ DSMA Atcon Ltd.
Elliot Lake Study: Factors Affecting the Uranium Mine Working Environment Prior to the Introduction of Current Ventilation Practices
AECB-INFO-0154 (March 4, 1985)

/42/ Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG)
Aufarbeitung von Expositionsdaten bei der Wismut GmbH durch die Bezirksverwaltung Gera der Bergbau-Berufsgenossenschaft
Laufendes Vorhaben (1993)

/43/ K. Irlweck, A. Großkopf
A Case of Extremly High Cumulative Radon Exposure
Radiation Protection Dosimetry 40 (2), pp. 123 - 127 (1992)

/44/ N. Cohen, G.R. Laurer, Ch. Pomroy et al.
Long-term Retention of Pb210 in Man: A Unique Case of Internal Contamination
Health Physics 62 (6), pp. 553 - 566 (June 1992)

/45/ G.R. Laurer, R.T. Gang, J.H. Lubin et al.
Skeletal Pb210 Levels and Lung Cancer Among Radon-Exposed Tin Miners in Southern China
Health Physics 64 (3), pp. 253 - 259 (March 1993)

/46/ H. Doerfel
Pilotstudie zur retrospektiven Bestimmung der Radon-Exposition von Mitarbeitern der ehemaligen SDAG Wismut durch in-vivo Messung von Pb210 im Skelett
in: Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkungen; Herausgeber M. Winter und A. Wicke, 25. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Binz/Rügen, 28. - 30. September 1993, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1993
FS-93-67-T, ISBN3-8249-0169-2, ISSN 1013 - 4506, Seiten 63 - 68 (1993)

/47/ Urteil des 2. Senats des Bayerischen Landessozialgerichts L2/Ka14/77 O, S30/Kn158/75 O
(5. Dezember 1984)

/48/ F. Martin, R. Earl, E.J. Tawn
A Cytogenetic Study of Men Occupationally Exposed to Uranium
British Journal of Industrial Medicine 48 (2), pp. 98 - 102 (1991)

/49/ G. Wolf
Aussagewert der Chromosomenaberrationsanalyse für die Rückwärtsermittlung der Strahlenexposition von Uranbergleuten
Vortrag in der fünften Sitzung der Arbeitsgruppe "Kriterien zu Berufskrankheiten im Uranbergbau" des FS-AKURA am 16./17. März 1993 in Berlin

/50/ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
Nuclear Energy Agency (NEA)
Metrology and Monitoring of Radon, Thoron and Their Daughter Products
OECD, ISBN 92-64-12767-4, Paris (January 1985)

/51/ Fachverband für Strahlenschutz (FS)
Arbeitskreis Uranbergbau und radioaktive Altlasten (AKURA), W. Ullmann
Messungen von Radon und kurzlebigen Radon-Folgeprodukten
Entwurf (2. April 1993)

/52/ SENES Consultants Limited
Uncertainty in Exposure of Underground Miners to Radon Daughters and the Effect of Uncertainty on Risk Estimates
AECB-INFO-0334 (October 1989)

/53/ L. Hambeck, H. Lutze, M. Riedel
Der Alpha-Zähler AZ-2. - Ein Gerät zur Bestimmung der potentiellen Alpha-Energie-Konzentration der Radonfolgeprodukte
in: Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten, 6. - 7. Mai 1991; Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1991
ISBN 3-8249-0028-9, ISSN 1013-4506, Seiten 103 - 109 (1991)

/54/ W. Ullmann
Die Messung von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten in den fünf neuen Bundesländern, insbesondere in Sachsen und Thüringen
in: Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten, 6. - 7. Mai 1991; Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1991
ISBN 3-8249-0028-9, ISSN 1013-4506, Seiten 15 - 24 (1991)

/55/ Centre de Radio Protection dans les Mines (CRPM)
Systeme de Integre de Dosimetrie
CEA, CRPM (Janvier 1989, Fevrier 1990)

/56/ A. Rannon, P. Zettwoog
Statistical Information on Individual Dosimetry in Underground Uranium Mines from the Measurement of Po218, Po214 and Po212 Exposures
Radiation Protection Dosimetry 36 (2 - 4), pp. 149 - 154 (1991)

/57/ S.M. Ching, K.P. Ho
A Review of Gamma Doses and Radon Daughter Exposures for Workers in Some Canadian Uranium Mines from 1984 to 1987
Radiation Protection Dosimetry 36 (2 - 4), pp. 155 - 160 (1991)

/58/ D.S. Pressyanov
Skin Dose for Workers in Uranium Milling
Radiation Protection Dosimetry 38 (4), pp. 315 -318 (1991)

/59/ H. Kiefer
Die externe Strahlenexposition in Uranbergwerken
Schriftreihe der Gesellschaft Deutscher Metallhütten und Bergleute (GDMB), Heft 34: Beiträge zu den Fragen des Schutzes von Beschäftigten und Umwelt im Uranbergbau, Seiten 13 - 16
Druckerei: Saarbergwerke AG, Saarbrücken
Clausthal-Zellerfeld 1978

/60/ J.W. Mc Klvenn
Personnel Dosimetry for Uranium Miners at High-Grade, Underground Mines Near the Grand Canyon
Radiation Protection in Australia 8 (3), pp. 62 - 65 (July - September 1990)

/61/ B. Rajewsky
Bericht über die Schneeberger Untersuchungen
Zeitschrift für Krebsforschung 49, Seiten 315 - 340 (1939)

/62/ Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 (DDR, GBl. I Nr. 30, Seiten 341 ff, 21. November 1984)

/63/ Durchführungsbestimmung der Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz
vom 11. Oktober 1984 (DDR, GBl. I Nr. 30, Seiten 348 ff, 21. November 1984)

/64/ Einigungsvertrag
Vertrag zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Deutschen Demokratischen Republik über die Herstellung der Einheit Deutschlands
vom 31. August 1990 (BGBl. II, Seite 889, 1062)

/65/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. Juni 1989 (BGBl. I, Seite 1321, ber. Seite 1926) (BGBl. III 751-1-1), zuletzt geändert durch Art 1 G vom 30. September 1990 i. V. m. Anlage 1 Kap. XII Sachgeb. B Abschn. II Nr. 2 zu dem Einigungsvertrag vom 31. August 1990 (BGBl. II Seite 885, 1116)

/66/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 13. Oktober 1976 (BGBl. I, Seite 2905, 1977, Seite 184, 269) in der Fassung der 2. Änderungsverordnung vom 18. Mai 1989 (BGBl. I, Seite 943) und neu bekanngemacht am 30. Juni 1989 (BGBl. I, Seite 1321) und berichtigt am 16. Oktober 1989 (BGBl. I, Seite 1926)

/67/ M.J. Wright, L.W. Gerard, A. Kanabe et al.
Are the Current Dose Limits for Uranium Miners too High?
in: H. Stocker (ed.)
Proceedings of the International Conference "Occupational Radiation in Mining"
Toronto, Canada, October 14 - 18, 1984
Canadian Nuclear Association, Toronto, Canada (1985), pp. 137 - 143

/68/ S. Richter
Grundlagen und Gesichtspunkte einer Aufarbeitung der Strahlenbelastung in der SAG/SDAG Wismut
Beitrag zur Tagung "Der Uranbergbau in der DDR und seine Folgen"
Ronneburg, 20. bis 23. September 1990

/69/ Bundesminister der Justiz
Bekanntmachung der Dosisfaktoren
Äußere Exposition ..... Ingestion und Inhalation ..... vom 5. September 1989
Bundesanzeiger 41 (185a), (30. September 1989)

/70/ L.B. Travis, R.L. Kathren, J.D. Boice
Cancer Risk Following Exposure to Thorotrast: Overview in Relation to a Case Report
Health Physics 63 (1), pp. 89 - 97 (July 1992)

/71/ E. Eder, J. P. Scharff, H. Spiess
Langzeit-Spätfolgen nach Injektion von Radium-224
in: Strahlenschutz für Mensch und Umwelt, Herausgeber H. Jacobs und H. Bonka, Jubiläumstagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Aachen, 30. September - 3. Oktober 1991, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1991
FS-91-55T, ISBN 3-8249-0027-0, ISSN 1013 - 4506, Seiten 1044 - 1051 (1991)

/72/ R.R. Wick, D. Chmelevsky, W. Gössner
Leukämierisiko nach intravenöser Ra224-Behandlung - Ergebnisse einer Langzeitstudie an Bechterew-Patienten
in: Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkungen; Herausgeber M. Winter und A. Wicke, 25. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Binz/Rügen, 28. - 30. September 1993, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1993
FS-93-67T, ISBN3-8249-0169-2, ISSN 1013 - 4506, Seiten 909 - 914 (1993)

/73/ J. Breuer
Die Last der Wismut - eine Herausforderung für die Berufsgenossenschaften
Die BG (9), Seiten 508 - 518 (September 1991)

/74/ Verordnung über das Betriebsgesundheitswesen und die Arbeitshygieneinspektion
vom 11. Januar 1978 (DDR, GBl. I, Nr. 4, Seiten 61 ff)

/75/ Verordnung über die Verhütung, Meldung und Begutachtung von Berufskrankheiten
vom 26. Februar 1981 (DDR, GBl. I, Nr. 12, Seiten 137 ff)

/76/ Erste Durchführungsbestimmung zur Verordnung über die Verhütung, Meldung und Begutachtung von Berufskrankheiten - Liste der Berufskrankheiten
vom 21. April 1981 (DDR, GBl. I, Nr. 12, Seiten 139 ff)

/77/ Reichsversicherungsordnung (RVO)
Fassung der Neubekanntmachung der RVO vom 15. Dezember 1924 (RGBl. I, Seite 779) einschließlich aller Änderungsgesetze bis zum 9. Juli 1990 (BGBl. I, Seite 1354)

/78/ Berufskrankheiten-Verordnung (BKVO)
Fassung vom 20. Juni 1968 (BGBl. I, Seite 721) - Geändert durch Verordnung vom 8. Dezember 1976 (BGBl. I, Seite 3329) und Verordnung vom 22. März 1988 (BGBl. I, Seite 400)

/79/ Ch. Leichsenring, D. Petermann
Ermittlungs- und Beweisschwierigkeiten bei Berufskrankheiten
Die BG (8), Seiten 517 - 521, August 1989

/80/ Strahlenschutzkommission (SSK)
Empfehlung zur Begrenzung der beruflichen Strahlenexposition
Verabschiedet auf der 80. Sitzung am 11. Dezember 1987
Bundesanzeiger, Nr. 5, 9. Januar 1988

/81/ M. Jönsson
Fälle von Bronchialkarzinomen bei der Wismut
Beitrag zur Tagung "Der Uranberbau in der DDR und seine Folgen"
Ronneburg, 20. bis 23. Septemer 1990

/82/ D. Laußmann, W.-H. Mehnert
Zur kombinierten Wirkung von beruflicher Tätigkeit im Uranerzbergbau, Silikoseerkrankung und Tabakrauchen auf das Lungenkrebsrisiko bei Männern
Eine Fall-Kontroll-Studie im Kreis Aue/Sachsen
Vorläufige Ergebnisse
Wissenschaft und Umwelt, Sonderheft, Seiten 57 - 63 (12. Juli 1992)

/83/ W. Schüttmann, D. Arndt
Ein historischer Beitrag zur Begutachtung der "Schneeberger Lungenkrankheit" in der ehemaligen DDR
Bundesgesundheitsblatt 36 (10), Seiten 428 - 430 (1993)

/84/ W. Jacobi
Verursachungswahrscheinlichkeit von Lungenkrebs durch die berufliche Strahlenexposition von Uran-Bergarbeitern der Wismut AG
Herausgeber: Institut für Strahlenschutz der BG FuE nach BG Ch
Anfang 1992

/85/ H. Schulz
Die zentrale Betreuungsstelle Wismut (ZeBWis) - Aufgaben und Organisation
Die BG (1), Seiten 30 - 34 (Januar 1993)

/86/ H. Otten
Die nachgehende arbeitsmedizinische Betreuung der ehemaligen Wismut-Beschäftigten
Die BG (1), Seiten 34 - 37 (Januar 1993)

/87/ J. Breuer
Die sozialrechtlichen Folgen der Wismut. - Eine staatliche Verantwortung.
Die BG (1), Seiten 13 - 29 (Januar 1993)

/88/ Fachverband für Strahlenschutz (FS)
Arbeitskreis Uranbergbau und radioaktive Altlasten (AKURA)
Strahlenexposition und strahleninduzierte Berufskrankheiten im Uranbergbau am Beispiel Wismut
FS-92-62-AKURA, ISSN 1013 - 4506 (April 1992)