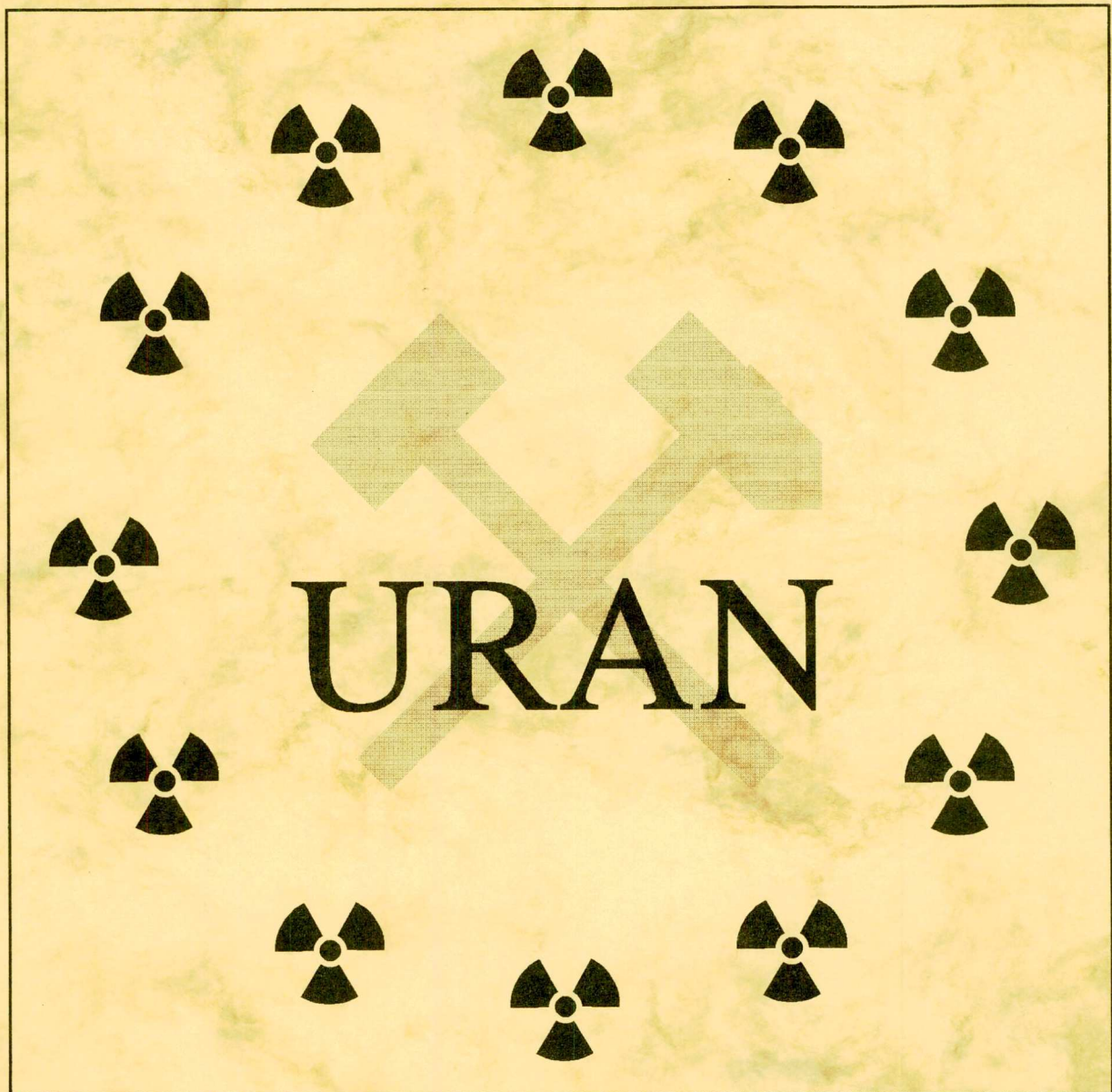


Uranabbau in Europa

Die Folgen für Mensch und Umwelt



Peter Diehl

BBU-Argumente

Mit diesem Heft nehmen wir eine alte Tradition des BBU wieder auf: die Herausgabe von Argumentationshilfen für die Bürgerinitiativen.

Die Auseinandersetzung mit der Atomindustrie ist für uns das zentrale Thema der Betroffenheit und des Widerstands. Es läßt uns keine Ruhe, daß die Strahlengefährdung durch Uranabbau und -aufbereitung ständig zunimmt und die abgebrannten Brennstäbe bis ans Ende aller Zeiten ihre Radioaktivität abgeben.

Indianer und andere Ureinwohner haben gewarnt „*Das Uran muß in der Erde bleiben!*“, Freiburger Studenten haben gefordert „*Das Uran bleibt drin!*“, aber, als hätten Hiroshima und Nagasaki das Startsignal gesetzt, brechen die Atombetreiber seitdem fieberhaft das Uran aus der Erdkruste heraus.

Peter Diehl berichtet über den Abbau in Europa und die Folgen für Mensch und Umwelt.

BBU-Vorstand und Geschäftsstelle

Der Autor:

Peter Diehl, Jahrgang 1954, war langjähriger Sprecher der *Bürgerinitiative gegen Uranabbau im Südschwarzwald*, die sich gegen kommerziellen Betrieb des Uranbergwerks in Menzenschwand eingesetzt hat. Seit 1988 hat er die wichtigsten Uranabbau-Standorte in Europa bereist. 1991 organisierte er die erste europäische Tagung von Bürgerinitiativen gegen Uranabbau nach dem Fall des eisernen Vorhangs.

BBU-Argumente Nr. 1/95

Herausgeber:

Bundesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz (BBU) e.V.

Prinz-Albert-Str. 43

D-53113 Bonn

Tel. 0228-214032, Fax: 0228-214033

Copyright: 1995 by Peter Diehl

Fotos: Peter Diehl

Auflage: 1000

Preis: DM 10,--

Druck: SOFORTDRUCK, R. Cipolla, Hildastr. 38, 77654 Offenburg

(Druck auf chlorfrei gebleichtem Papier)



INHALT

	Seite
1. URANGEWINNUNG IN EUROPA	5
Übersicht	5
Deutschland	6
Tschechien	9
Slowakei	11
Polen	11
Ungarn	11
Rumänien	12
Bulgarien	12
Ukraine	13
Rußland	13
Frankreich	14
Spanien	15
Portugal	15
Sonstige	15
2. GEFAHREN FÜR URAN-ARBEITER	17
3. UMWELTAUSWIRKUNGEN	19
Uranbergwerk	19
Taubes Gestein	21
Laugungshalden	25
In-Situ-Laugung	26
Aufbereitung des Erzes	28
Schlammdeponien aus der Aufbereitung des Uranerzes	29
Fremdablagerungen	38
4. KONZEPTE FÜR EINE SANIERUNG	41
Alternativen für die Verwahrung von Schlammdeponien	42
Verwahrung von bestehenden Schlammdeponien	43
Sanierung nach In-Situ-Laugung	45
5. SANIERUNGSVORHABEN	46
Sanierungsstandards	46
Sanierungskosten	46
Bergwerke	47
Halden	47
Aufbereitungsanlagen	48
Schlammdeponien	48
In-Situ-Laugung	49
6. SANIERUNGSABWICKLUNG	51
Öffentlichkeitsbeteiligung	51
Sanierungsgesetz	51
Finanzierung	53
7. LITERATUR	54
8. ORTSVERZEICHNIS	58

VORWORT

In Europa fand der Uranbergbau weitgehend im Verborgenen statt. Dabei wurde in Europa etwa ein Drittel des weltweit bislang produzierten Urans gewonnen.

Während der Bau und Betrieb von Atomkraftwerken sowie die Atommüll-Problematik in Westdeutschland immer große Beachtung in der Öffentlichkeit fanden, war der Ausgangspunkt der Atomindustrie, der Uranbergbau, ein Stiefkind des Interesses geblieben. Das lag offensichtlich daran, daß das für die Atomkraftwerke benötigte Uran fast ausschließlich aus Übersee importiert wurde und die mit der Urangewinnung verbundenen Probleme daher nicht so gegenwärtig waren.

Ganz anders übrigens in Frankreich, dem größten Uranproduzenten in Westeuropa: Hier wurde schon 1979 ein landesweiter Zusammenschluß von Initiativen gegen den Uranbergbau gegründet.

Im Osten Deutschlands gab es zwar einen ausgedehnten Uranbergbau; Informationen darüber waren aber nicht zugänglich, bis 1988 der Friedens- und Umweltaktivist Michael Beileites seine Untergrund-Studie *Pechblende* veröffentlichte.

Die Situation änderte sich schlagartig mit der politischen Wende 1989. Es wurde offenbar, daß für die Gewinnung des Ausgangsmaterials der Atombombe - und später des Brennstoffs für Atomkraftwerke - auch in Europa ganze Landstriche umgewühlt worden waren.

Inzwischen ist der Uranabbau in den meisten europäischen Ländern wegen der hohen Produktionskosten stark zurückgefahren oder ganz eingestellt worden. Was geblieben ist, sind zahllose stillgelegte Bergwerke, hunderte Millionen Tonnen an strahlendem Abraummateriale und an Aufbereitungsschlämmen, mit Gesundheitsrisiken durch austretendes Radongas und kontaminierte Sickerwässer. Diese Hinterlassenschaften stellen nicht nur eine akute Gefahr dar, sondern bedrohen über Zehntausende von Jahren zukünftige Generationen.

Über deren Schicksal darf aber nicht mehr im Verborgenen entschieden werden.

1. URANGEWINNUNG IN EUROPA

Übersicht

Die Zahlen über die Uranproduktion sind noch immer nicht in allen Ländern frei zugänglich. Die von der OECD regelmäßig (zuletzt 1994) veröffentlichte Statistik weist noch bedeutende Lücken auf (vor allem für die Sowjetunion und China). In der daher bekanntermaßen lückenhaften Weltrangliste der Uranabbauländer mit der höchsten Gesamtproduktion seit dem Zweiten Weltkrieg finden sich drei europäische Staaten unter den ersten sieben: Deutschland(Ost), Tschechoslowakei und Frankreich. Zusammengenommen haben die europäischen Uranabbauländer mehr Uran produziert als irgendein anderes Land.

Seit dem Absturz der Uranpreise Anfang der achtziger Jahre und den politischen Umwälzungen seit Ende der achtziger Jahre haben sich die Gewichte stark verändert. Uran wird nun nicht mehr aus politischen Gründen ohne Rücksicht auf die Kosten abgebaut, sondern es überleben nur noch die wirtschaftlichsten Abbaubetriebe. Weiterhin werden derzeit die großen in den Zeiten des kalten Krieges angehäuften Bestände auf den Markt geworfen, so daß zur Zeit weniger Uran abgebaut als verbraucht wird. Die neuesten verfügbaren Zahlen sind die für das Jahr 1992: Sie zeigen die neue Situation an; die Veränderungen waren 1992 aber noch voll im Gange.

Die größten Uranproduzenten der Welt

Produktion [t U]

	1946-1992 gesamt		1992
USA	339 290	Kanada	9 297
Kanada	257 692	Niger	2 964
Deutschland (Ost)	217 791	Rußland	2 900 a)
Südafrika	143 302	Kasachstan	2 800 a)
Tschechoslowakei	102 245	Usbekistan	2 700
Kasachstan	72 000 a)	Australien	2 334
Frankreich	68 174	USA	2 200
Namibia	56 682 a)	Frankreich	2 149
Niger	56 575	Namibia	1 684 a)
Australien	54 143	Südafrika	1 669
Zaire	25 600	Tschechoslowakei	1 539
Gabun	22 226	Ukraine	1 000 a)
Bulgarien	21 000 b)	China	800
Rumänien	16 850	Gabun	540
Ungarn	16 718	Ungarn	412
Indien	5 920 a)	Indien	290 a)

a) Schätzung des OECD-Sekretariats, b) [UI1994], S.22/23
Keine Schätzungen für Gesamtproduktion von UdSSR und China verfügbar
[OECD1994], S.36

Die Uranproduktion in Europa

Produktion [t U]

	1946-1992 gesamt
Deutschland (Ost)	217791
Tschechoslowakei	102245
Frankreich	68174
Bulgarien	21000 b)
Rumänien	16850
Ungarn	16718
Spanien	3774
Portugal	3568
Polen	1000 d)
Deutschland (West)	699
Belgien	490 c)
Jugoslawien	382
Schweden	200
Finnland	30
Ukraine	?

	1992
Frankreich	2 149
Tschechoslowakei	1 539
Ukraine	1 000 a)
Ungarn	412
Deutschland	232
Spanien	187
Rumänien	120
Bulgarien	90 a)
Belgien	36 c)
Portugal	28
Slowenien	2

a) Schätzung des OECD-Sekretariats, b) [UI1994], S.22/23

c) als Nebenprodukt aus importierten Phosphaten

d) Schätzung von Kersting, zitiert nach [OECD1992], S.42
[OECD1994], S.36

Die drei größten Uranproduzenten DDR, Tschechoslowakei und Frankreich haben zusammen 86 % des in Europa (ohne UdSSR) seit dem Zweiten Weltkrieg produzierten Urans geliefert. Die zum Ostblock gehörigen Länder hatten einen Anteil von 83 % an der Gesamtproduktion. Von dem auf Westeuropa entfallenden Anteil von 17 % produzierte Frankreich 89 %.

Deutschland

Der Uranbergbau ist in den beiden Teilen Deutschlands durch eine völlig unterschiedliche Entwicklung gekennzeichnet: Während im Westen nur einige wenige Uranerzlagerstätten erkundet und in kleinem Maßstab versuchsweise abgebaut wurden, entstand im Osten das weltweit drittgrößte Uranabbaugebiet.

Unmittelbar nach Ende des Zweiten Weltkrieges begannen die Sowjets mit der Erkundung und dem Abbau von Uranlagerstätten in den historischen Bergbaugebieten im Erzgebirge. In der Folgezeit entstand daraus im Süden der DDR das größte Uranbergbauggebiet Europas. Von 1946 bis 1990 hat die zunächst sowjetische, ab 1954 dann sowjetisch-deutsche Aktiengesellschaft (SAG bzw. SDAG) Wismut in zahlreichen Bergwerken in Sachsen und Thüringen insgesamt etwa 220 000 t Uran gewonnen. In Spitzenzeiten betrug die Produktion über 7000 t Uran pro Jahr. Zur Weiterverarbeitung wurde das gesamte produzierte Uran in die Sowjetunion geliefert. Eingesetzt wurde das gewonnene Uran zunächst ausschließlich für Atomwaffen, später auch für Atomkraftwerke.

Die Belegschaftsstärke der Wismut in den frühen Jahren wird auf bis zu 100 000 geschätzt, darunter anfangs viele Zwangsverpflichtete. Mitte der achtziger Jahre betrug die Belegschaft ca. 27 000. Über 400 000 Menschen waren irgendwann einmal bei der Wismut beschäftigt.

Ende 1990 wurde der Uranbergbau im Zuge der Vereinigung Deutschlands eingestellt. 1991 wurde die Wismut von der Bundesregierung übernommen und führt seitdem mit stark redu-

zierter Belegschaft (Ende 1994: 4600) die Stilllegungs- und Sanierungsarbeiten durch. Die Dauer der Sanierung wird von der Bundesregierung auf 10 - 15 Jahre veranschlagt; die Kosten werden mit 13 Mrd. DM angegeben und müssen mangels Rückstellungen der früheren Betreiber aus dem Bundeshaushalt aufgebracht werden.

Der Uranbergbau der Wismut konzentrierte sich zunächst auf die Standorte Johanngeorgenstadt/Aue/Schlema im sächsischen Erzgebirge, später auch auf Ronneburg in Ostthüringen, und Freital/Dresden-Gittersee sowie Königstein im Raum Dresden. Daneben gab es viele weitere kleinere Standorte, an denen nach Uranerz gesucht oder solches zeitweise gefördert wurde.

Die von Wismut insgesamt geförderte Uranmenge von 251 000 t verteilt sich wie folgt auf die einzelnen Lagerstätten (die mit dem Erz geförderte Uranmenge ist wegen der Extraktionsverluste bei der Aufbereitung größer als die daraus gewonnene Menge) [Hähne1993]:

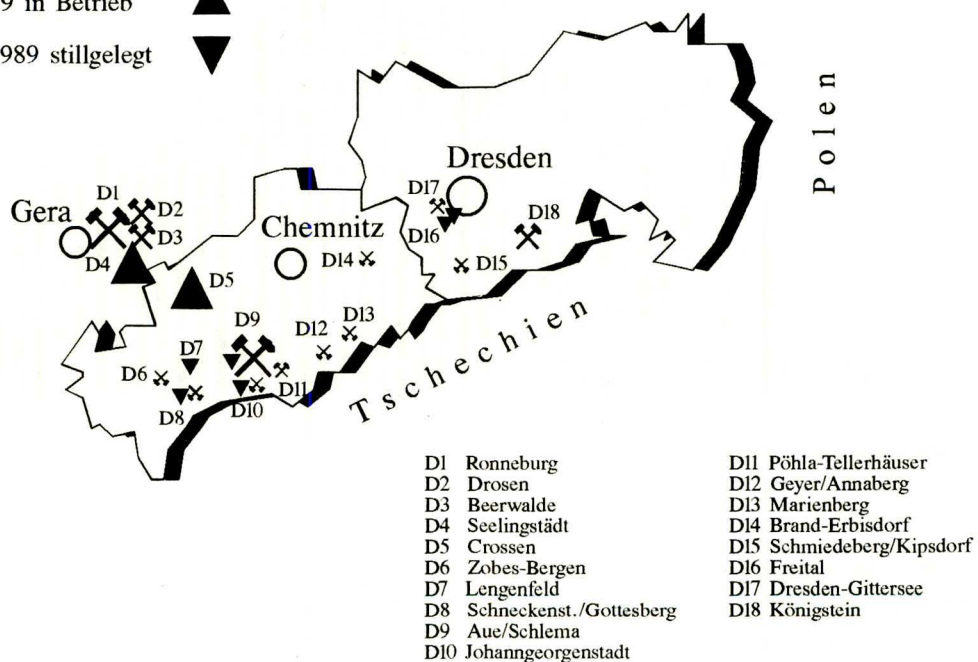
Art der Lagerstätte	Ort	Förderung
Hydrothermal	Erzgeb./Vogtland	103 000 t
Metamorphe Sedimentgest. des Paläozoikums	Ronneburg	113 000 t
Karbonat-Zechstein	Culmitzsch	12 000 t
Kohlelagerstätte des Unterperm	Dresden/Freital	4 000 t
Sedimentgestein der Kreidezeit	Königstein	19 000 t

Uranbergwerke in Thüringen und Sachsen

Uranbergwerke Aufber.betriebe

✕ 1989 in Betrieb ▲

✕ vor 1989 stillgelegt ▼



Das Uranerz wurde sowohl im Tagebau als auch untertage abgebaut. Der größte Tagebau "Lichtenberg" liegt bei Ronneburg: er war ursprünglich 240 m tief; nach teilweiser Verfüllung hatte das Restloch 1990 noch eine Tiefe von 160 m und eine Größe von 80 Mio. m³. Nach Erschöpfung der oberflächennahen Vorkommen wurde hier unter Tage bis in 500 m

Tiefe abgebaut. Im Erzgebirge wurden sogar Abbautiefen bis zu 2000 m erreicht. Wegen der in dieser Tiefe herrschenden Temperaturen mußten die Bergwerke mit aufwendigen Kühlanlagen klimatisiert werden.

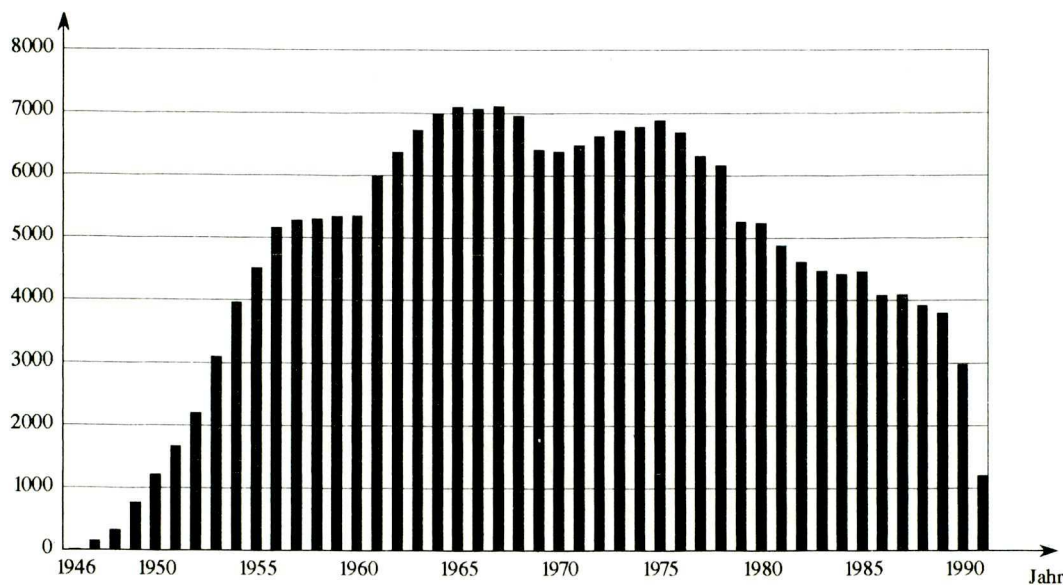
In den ersten Jahren wurden die gefördertten Erze in kleinen mechanischen Aufbereitungsanlagen in der Nähe der Bergwerke verarbeitet. Ab den fünfziger Jahren wurde die Aufbereitung in zwei Großanlagen mit chemischer Aufbereitung in Crossen bei Zwickau und Seelingstädt bei Gera/Ronneburg konzentriert. Daneben waren bis 1962 noch zwei kleinere Anlagen in Freital und Dresden-Gittersee in Betrieb.

Ein Sonderfall ist das Bergwerk Königstein. Dieses Untertage-Bergwerk wurde Anfang der achtziger Jahre auf das Verfahren der In-Situ-Laugung umgestellt: dazu wurde das Erz nicht mehr aus der Lagerstätte herausgeholt, sondern es wurde unter Tage an Ort und Stelle Schwefelsäure in das Gestein hineingepreßt und damit das Uran herausgelöst.

Der Urangehalt der von Wismut zuletzt abgebauten Erze betrug nur etwa 0,07 %, ein im internationalen Vergleich sehr niedriger Wert. Entsprechend hoch waren die Abbaukosten und der Anfall an Abraum und Verarbeitungsrückständen. 1990 betrugen die Abbaukosten bei Wismut 380,50 DM pro kg Uran [Pfueller1994], wogegen der Weltmarktpreis bei nur \$ 10/lb U_3O_8 lag, das entspricht \$ 26/kg U oder etwa 43 DM/kg Uran.

Wismut-Uranproduktion 1946-1991

Tonnen Uran/Jahr



Quelle: OECD 1992

Im Westen Deutschlands wurden in den Mittelgebirgen verschiedene Uranvorkommen entdeckt und erkundet; zu einem kommerziellen Abbau kam es jedoch nicht. Versuchsbergwerke gab es in Ellweiler (Rheinland-Pfalz), Baden-Baden/Gernsbach im Nordschwarzwald, Menzenschwand im Südschwarzwald, Mähding und Poppenreuth in Nordbayern und Großschloppen im Fichtelgebirge. Die einzige Aufbereitungsanlage für Uranerz war von 1961 bis 1989 in Ellweiler in Betrieb. Sie hat, vorwiegend aus Menzenschwander Erzen, insgesamt ca. 700 t Uran produziert. Nach Protesten von Umweltschützern wurde sie 1989 wegen Überschreitung von Grenzwerten bei der angegliederten Deponie für die Aufbereitungsschlämme geschlossen. In Mähding wurde nach der Stilllegung des Versuchsbergwerks noch einige Zeit lang Uran in Haufenlaugung gewonnen. Ende der achtziger Jahre wurden aufgrund der weltweit gesunke-

nen Uranpreise alle Aktivitäten zur Erkundung und Ausbeutung von Uranlagerstätten im Westen Deutschlands eingestellt.

Uranbergbau in Deutschland

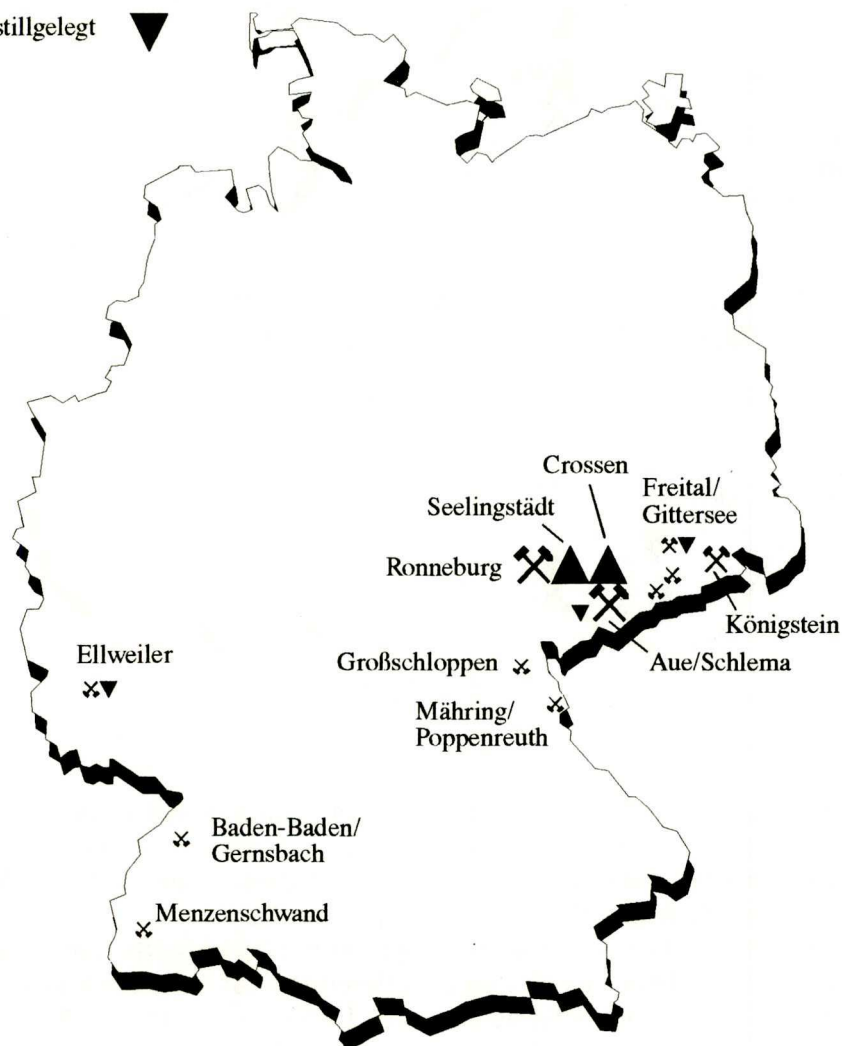
Uranbergwerke Aufber.betriebe



1989 in Betrieb



vor 1989 stillgelegt

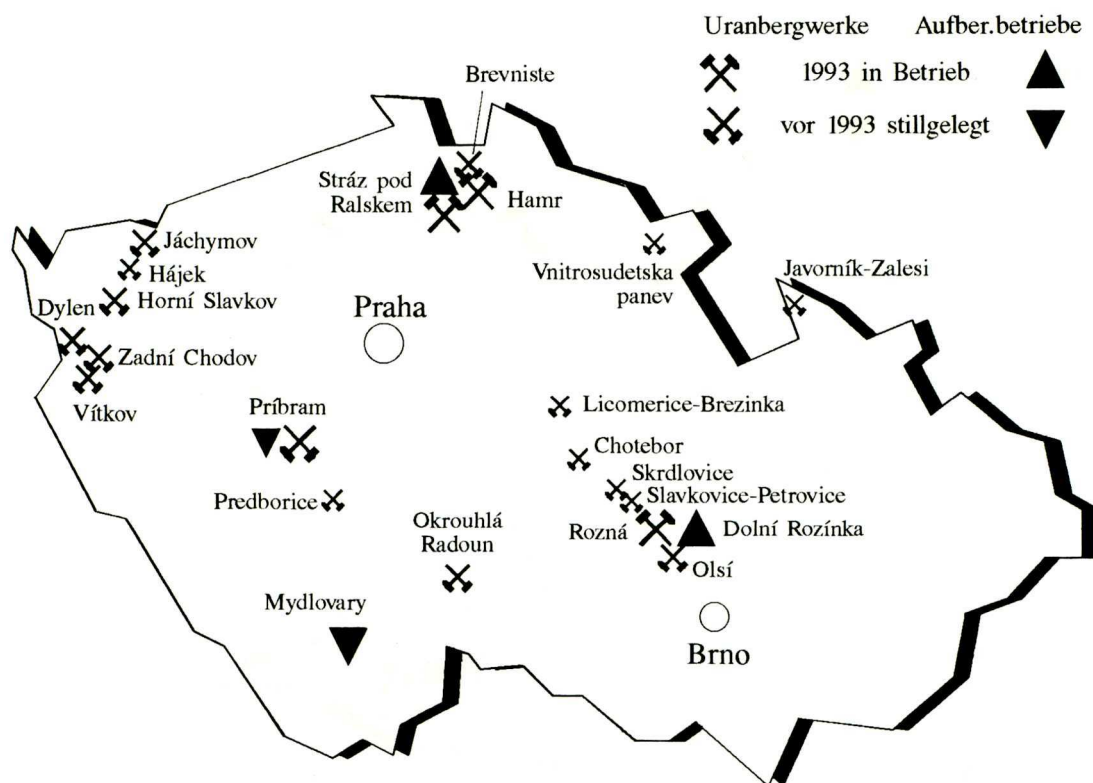


Tschechien

Direkt nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs begann auch in den historischen Bergbaugebieten auf der tschechischen Seite des Erzgebirges in Jáchymov und Umgebung die Suche nach Uran und dessen Abbau. Diese Vorkommen waren aber schon in den sechziger Jahren erschöpft. Weitere Lagerstätten wurden in verschiedenen Gebieten Böhmens sowie in Mähren entdeckt und abgebaut. Zwischen 1955 und 1988 lag die jährliche Produktion im Bereich von 2500 - 3000 t Uran. Die Gesamtproduktion von 1946 bis 1992 betrug 102 245 t Uran. Zur Weiterverarbeitung wurde das Uran in die Sowjetunion gebracht. Der Abbau wurde von dem

Staatsunternehmen CSUP s.p. (Ceskoslovenský Uranový Průmysl s.p.) durchgeführt, das 1992 in DIAMO s.p. umfirmierte.

Uranabbau in Tschechien



Der größte Uranabbau-Standort war Příbram; dort wurden (bei einer Jahresproduktion von bis zu 2000 t) insgesamt 38,9 % des Urans erzeugt. Nach der Wende wurde dort, wie am westböhmischem Standort Zadní Chodov und am südböhmischem Standort Okrouhlá Radoun, der Betrieb wegen Erschöpfung der Lagerstätte eingestellt.

Im südböhmischem Mydlovary bei Budweis war eine Uranerzaufbereitungsanlage in Betrieb, die ausschließlich von anderen Standorten angeliefertes Uranerz verarbeitet.

Noch in Betrieb ist der Uranbergbau an zwei Lagerstätten: im nordböhmischem Hamr na Jezeře mit der Aufbereitungsanlage Stráž pod Ralskem (Kreis Česká Lípa) und im westmährischen Rozná mit der Aufbereitungsanlage Dolní Rozínka (Kreis Zďár nad Sázavou).

In Stráž pod Ralskem wurde außerdem in großem Maßstab die Methode der In-Situ-Lauung angewandt: Die in Sandsteinen aus der Kreidezeit gelegene Lagerstätte mit Urangelalten zwischen 0,08 und 0,15 % ist auf einer Fläche von 5,6 km² mit 9340 Bohrungen von der Erdoberfläche aus erschlossen. Durch einen Teil der Bohrungen wird verdünnte Schwefelsäure in die Lagerstätte gepreßt, die das Uran löst; durch die übrigen Bohrungen wird die uranhaltige Flüssigkeit abgepumpt.

Nach der Wende war ursprünglich geplant, die Uran-Produktion in Tschechien auf einem Niveau aufrecht zu erhalten, das dem Bedarf der tschechischen Atomkraftwerke entspricht: Der Bedarf des einzigen in Betrieb befindlichen tschechischen Atomkraftwerks in Dukovany (4 x 408 MW) beträgt 1632 t pro Jahr; mit der geplanten Inbetriebnahme des Atomkraftwerks Temelin (2 x 892 MW) wird sich der Bedarf etwa verdoppeln. Wegen der hohen Kosten wird die Uran-Produktion nun doch stärker reduziert.

Slowakei

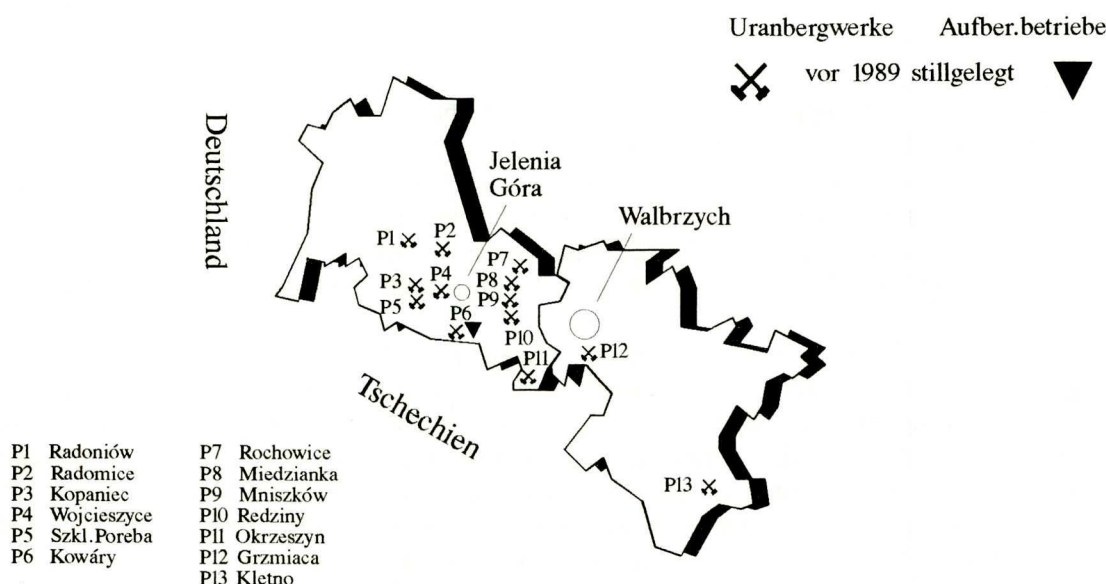
Auf dem Gebiet der Slowakei fand seit ihrer Gründung als eigenständiger Staat (1.1.93) kein Uranabbau statt, jedoch gab es in der Zeit der Zugehörigkeit zur Tschechoslowakei Uranabbau in den Gebieten Novoveská Huta - Murán - Hnilčík (Kreis Spisská Nová Ves) und Kalnica - Selec (Kreis Trenčín) in den West-Karpaten. [OECD1994] S.223

Polen

In Polen fand von 1948 bis 1963 Uranabbau an einer Reihe von Orten in den Sudeten nahe der tschechischen Grenze statt (Wojewodschaften Jelenia Góra und Walbrzych). Insgesamt haben 26 000 Menschen in den Bergwerken gearbeitet. Von 1963 bis 1972 war in Kowáry eine Aufbereitungsanlage in Betrieb, die Uran aus den verbliebenen Halden des eingestellten Uranbergbaus gewann [Norman1993].

Die Gesamtproduktion wird auf 1000 t Uran geschätzt [OECD1992].

Uranbergbau in Polen



Ungarn

Die Uranvorkommen in Ungarn beschränken sich auf eine Lagerstätte im Süden des Landes am Fuß des Mecsek-Gebirges westlich vor den Toren der Stadt Pécs (Fünfkirchen). Die Produktion betrug vor 1989 jährlich 500 - 550 t aus Erzen mit einem Urangehalt von 0,1 % und wurde komplett in die Sowjetunion gebracht. Die Gesamtproduktion bis 1992 betrug 16718 t Uran. Bis 1994 ging die Produktion dann auf 413 t zurück.

Von 1956 bis zum 31.3.1992 wurde der Abbau von der staatlichen Firma Mecseki Ércbányászati Vállalat (MEV) durchgeführt, seitdem von der Mecsekurán LLC. Die Zahl der Beschäftigten ging von 7454 (1985) auf 1855 (1992) zurück. Zunächst war daran gedacht, den Bergbau auf dem Niveau fortzusetzen, das nötig ist, um das Atomkraftwerk Paks (4 x

425 MW) mit Brennstoff versorgen zu können (420 t Uran pro Jahr). Ende 1994 wurde jedoch die Entscheidung gefällt, wegen der hohen Produktionskosten den Betrieb bis 1997 ganz einzustellen [NF 16.1.95].

Rumänien

Der Uranbergbau in Rumänien begann 1950 durch das sowjetisch-rumänische Unternehmen SOVROM-CUARTT in Baita-Bihor in den West-Karpaten. Da es keine Aufbereitungsanlage gab, wurde das ganze Erz zur Aufbereitung ins Ausland gebracht (zunächst nach Sillamäe in Estland). Das gewonnene Uran-Konzentrat wurde ausschließlich in die Sowjetunion geliefert. 1961 wurde das Unternehmen aufgelöst und die Produktion eingestellt.

Der Uranbergbau begann erst wieder 1978 mit der Inbetriebnahme der Aufbereitungsanlage Feldioara bei Brasov. Dorthin wurde das Erz aus den Abbaugebieten in den West-Karpaten, den Ost-Karpaten und dem Banat-Gebirge gebracht. Das Produktions-Maximum wurde 1986 mit 290 t Uran erreicht, seitdem sank die Produktion bis auf 120 t im Jahre 1992. Insgesamt wurden aus rumänischem Uranerz von 1950-1992 16 850 t Uran erzeugt, davon 2 350 t in der Aufbereitungsanlage Feldioara. Derzeit sind noch die Bergwerke Avram Iancu (Westkarpaten), Dobrei Süd (Banatgebirge), Botusana und Crucea (Ostkarpaten) in Betrieb.

Das produzierte Uran ist für das vor der Fertigstellung stehende Atomkraftwerk Cernavoda bestimmt. Dort sind 5 Reaktorblöcke vom kanadischen Typ CANDU in Bau. Block 1 soll im Frühjahr 1995 in Betrieb gehen. Dieser Reaktortyp kann mit Natururan betrieben werden, eine Anreicherung des Urans ist daher nicht nötig.

Bulgarien

Der Uranbergbau in Bulgarien begann 1946 in Bukhovo nahe Sofia. Er wurde von einer sowjetisch-bulgarischen Firma unter sowjetischer Leitung durchgeführt. 1956 wurde der Uranbergbau von der bulgarischen Firma Redki Metali unter Beteiligung sowjetischer Berater weitergeführt. Das produzierte Uran wurde in die Sowjetunion geliefert, zunächst als Erz, nach der Inbetriebnahme der Aufbereitungsanlagen Bukhovo und Eleshnitsa als Urankonzentrat. Im Gegenzug erhielt Bulgarien Brennstäbe für sein Atomkraftwerk Kosloduj (4 x 230 MW, 2 x 320 MW).

Die ersten Uranbergwerke waren Untertage-Bergwerke. Ab 1979 wurde auch die In-Situ-Laugung mit Bohrungen von der Erdoberfläche aus verwendet, meist mit Schwefelsäure. Ab 1981 wurde In-Situ-Laugung auch nachträglich in ausgeerzten konventionellen Untertage-Bergwerken verwendet, um die Ausbeute zu erhöhen [Tabakov1993]. Seit 1981 wurden 23 Lagerstätten in konventioneller Untertage-Technik abgebaut, 17 mit In-Situ-Laugung von der Erdoberfläche aus, und 11 mit In-Situ-Laugung in Verbindung mit konventioneller Abbau-Technik. Im Jahr 1990 stammte 70 % der Uranproduktion aus In-Situ-Laugung, aus Lagerstätten mit äußerst geringen Uran-Konzentrationen von 0,02 - 0,07 % [Kuzmanov1993]. In den Jahren 1991-1992 waren 14 000 Bohrungen in 15 In-Situ-Laugungs-Feldern in Betrieb [OECD1994]. Die insgesamt für In-Situ-Laugung in Anspruch genommene Fläche beträgt 6 km² [Vapirev1994].

Offizielle Zahlen zur Uranproduktion liegen nicht vor. Die Gesamtproduktion von 1946 - 1992 wird auf 21 000 t geschätzt [UI1994], die Jahresproduktion ging von 850 t (1989) auf 90 t (1992) zurück [OECD1994].

Am 20.8.92 entschied die bulgarische Regierung, wegen der hohen Produktionskosten von \$ 62 pro kg Uran alle Uranabbau-Aktivitäten bis 1995 einzustellen.

Uranabbau in Bulgarien

Uranbergwerke Aufber.betriebe



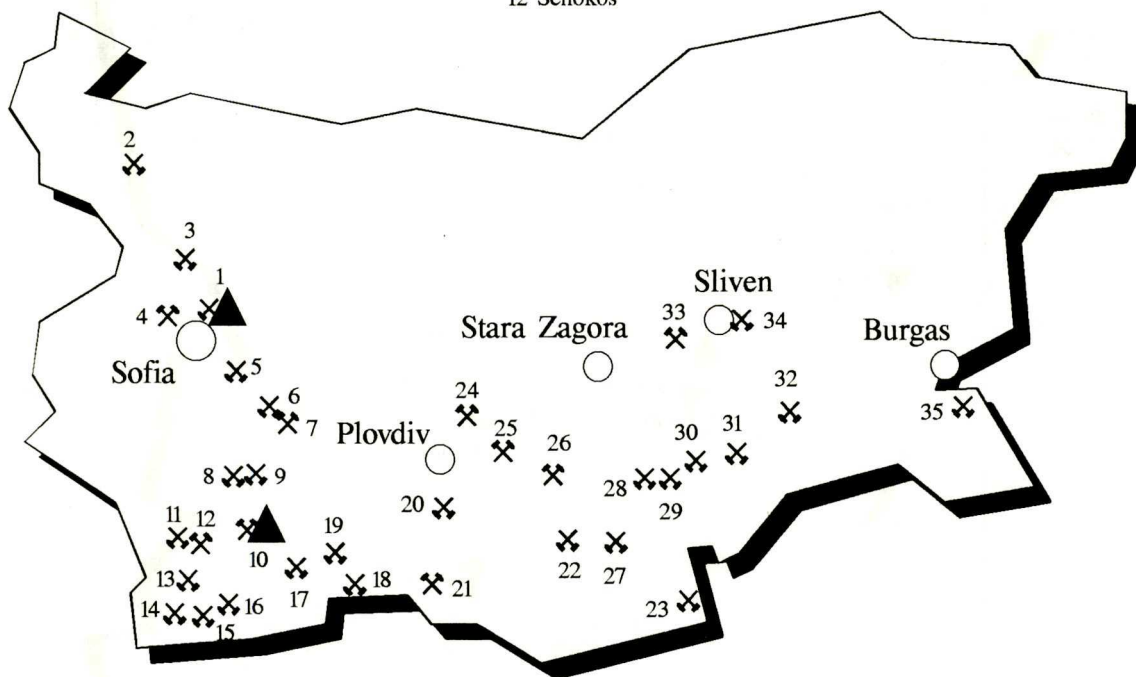
1990 in Betrieb



vor 1990 stillgelegt



- | | | |
|----------------|---------------|-------------------|
| 1 Bukhovo | 13 Graved | 24 Momino |
| 2 Smolianovtzi | 14 Igralishte | 25 Belosem |
| 3 Proboinitza | 15 Pripetshen | 26 Pravoslaven |
| 4 Kurrilo | -Deltshevo | 27 Haskovo |
| 5 Gabra | 16 Melnik | 28 Marritza |
| 6 Bialo Voda | 17 Beslet | 29 Navasen-Troian |
| 7 Kostenetz | 18 Dospat | 30 Orlov Dol |
| 8 Partisanska | 19 Selishte | 31 Isgrev |
| Poliana | 20 Narretshen | 32 Okop-Tenebo |
| 9 Beli Iskar | 21 Smolian | 33 Sborishte |
| 10 Eleshnitsa | 22 Sarnitza | 34 Sliven |
| 11 Simitli | 23 Planinetz | 35 Rosen |
| 12 Senokos | | |



Ukraine

Derzeit wird in der Ukraine Uran in den Bergwerken Ingul'skii und Vatutinskii in der Nähe von Kirovograd abgebaut. Das Erz wird in den Aufbereitungsanlagen Zheltiye Vody und Dneprodzerzinsk verarbeitet.

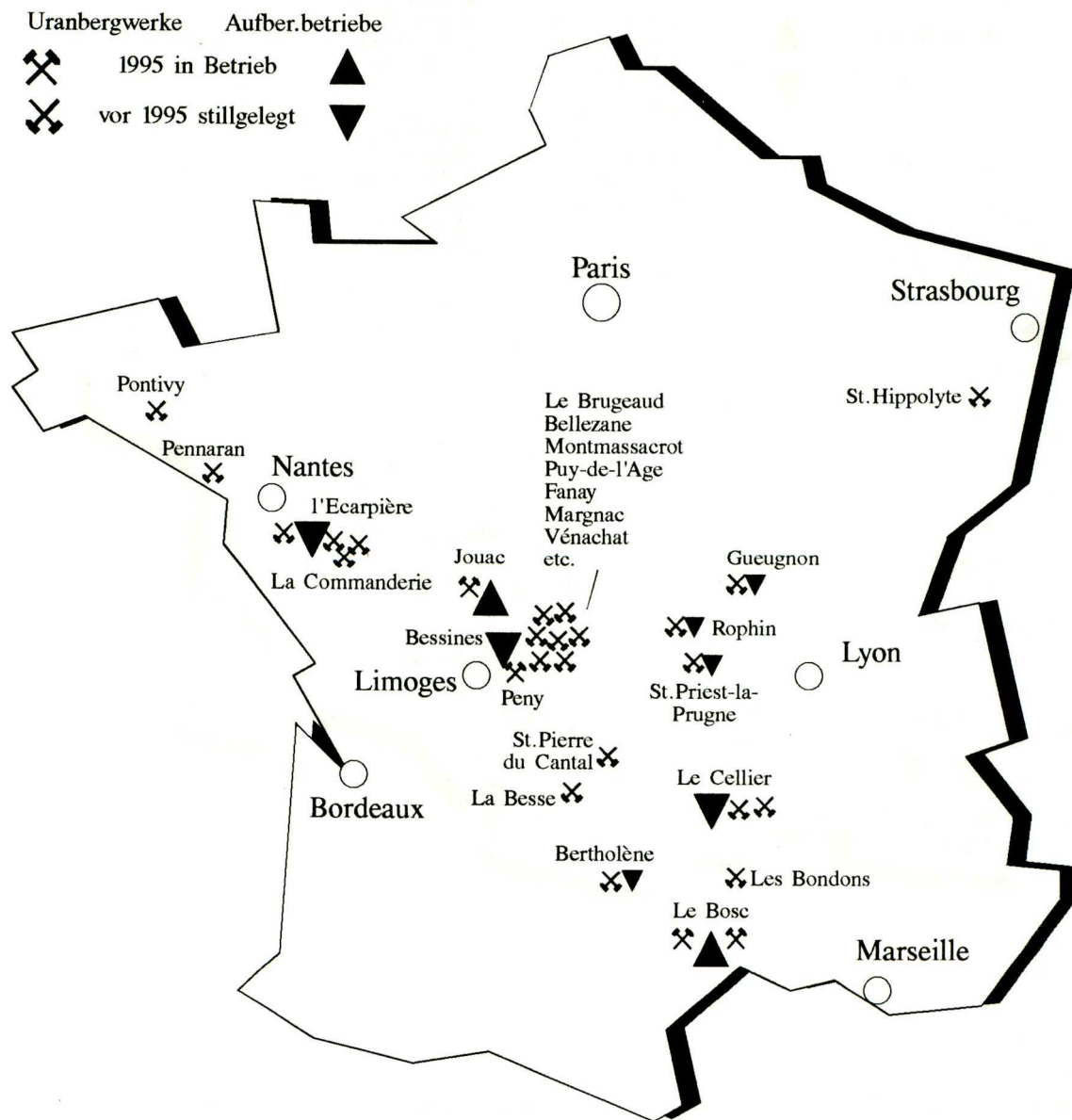
Zahlen über die Uranproduktion der Ukraine liegen nicht vor. Die Jahresproduktion für 1992 wird auf 1000 t Uran geschätzt [OECD1994].

Rußland

Gegenwärtig wird in Rußland nur die Lagerstätte Streltsovsk im östlichen Transbaikal-Gebiet in Ostsibirien abgebaut. Die Produktion im Jahre 1992 wird auf 2900 t geschätzt [OECD1994].

Im europäischen Teil Rußlands ist ein kleineres Uranerz-Vorkommen im Bezirk Onezsk in Karelrien bekannt, das noch nicht abgebaut wurde. Die Lagerstätten im Bezirk Stavropol im Nordkaukasus sind ausgeerzt.

Uranabbau in Frankreich



Frankreich

Frankreich ist mit Abstand der größte Uranproduzent in Westeuropa. Die Produktion erreichte im Jahr 1988 mit 3394 t ein Maximum; damit konnte Frankreich knapp die Hälfte des Bedarfs seiner Atomkraftwerke aus eigenen Quellen decken. Seit 1989 wurden viele Bergwerke wegen Erschöpfung der Lagerstätten oder wegen Unwirtschaftlichkeit geschlossen, und die Produktion ging seitdem stark zurück (1992: 2149 t). Infolge der Schließungen nahm die Anzahl der Arbeitsplätze in der Uranindustrie von 2886 im Jahr 1989 auf 1443 Ende 1992 ab. Von den im Jahre 1986 vorhandenen 34 Bergwerken und 5 Aufbereitungsanlagen waren Anfang 1995 nur noch 4 Bergwerke und 2 Aufbereitungsanlagen mit einer gesamten Jahreska-

pazität von 1000 t Uran in Betrieb. Bis 1999 ist eine weitere Senkung der Produktion auf 400 t im Jahr geplant [NF 16.1.1995].

Wurde bisher schon der überwiegende Teil des Uranbergbaus von der staatlichen Firma COGEMA (Compagnie Générale des Matières Nucléaires) durchgeführt, so hat COGEMA 1993 auch die einschlägigen Aktivitäten der Firma TOTAL übernommen und ist nun der einzige Uranproduzent in Frankreich.

Spanien

Spanien ist das einzige Land in Europa mit einer steigenden Uranproduktion. Die Firma ENUSA (Empresa Nacional del Uranio SA) hat in Saelices el Chico bei Ciudad-Rodrigo (Provinz Salamanca) nahe der portugiesischen Grenze eine neue Aufbereitungsanlage in Betrieb genommen und produzierte 1994 etwa 270 t Uran. Künftig soll die Produktion auf diesem Wert gehalten werden. Damit kann Spanien etwa ein Fünftel des Bedarfs seiner Atomkraftwerke decken [NF 16.1.1995]. Im Endausbau soll die Kapazität der Aufbereitungsanlage 800 t Uran pro Jahr betragen.

Portugal

Die staatliche Firma ENU S.A. (Empresa Nacional de Urânio S.A.) betreibt in Urgeiriça im Bezirk Beiras eine Uranerzaufbereitungsanlage, die von mehreren Bergwerken aus der Umgebung mit Erz beliefert wird. Die Anlage mit einer Kapazität von 170 t Uran jährlich arbeitet derzeit nur mit der geringen Auslastung von 28 t. Das Uran wird z.Zt. hauptsächlich aus Haldenlaugung von Armerzen gewonnen, zu einem kleineren Teil auch mit In-Situ-Laugung.

Da Portugal keine Atomkraftwerke betreibt, muß das produzierte Uran exportiert werden. Bis 1991 hatte ENU jährlich 130 t Uran an den französischen Reaktorbetreiber EdF geliefert; der Vertrag wurde jedoch wegen der hohen Produktionskosten nicht erneuert. ENU hatte daher die Euratom Supply Agency (ESA) aufgefordert, im Rahmen des Euratom-Vertrages für eine Abnahme des künftig produzierten Urans zu sorgen. Als ESA dies ablehnte, ging ENU zum Europäischen Gerichtshof in Luxemburg. [NF 14.5.90, 29.3.93, 17.1.94]

Sonstige

Slowenien: In Zirovski Vrh westlich von Ljubljana wurden seit 1982 insgesamt 382 t Uran produziert. Das Untertage-Bergwerk wurde 1992 geschlossen.

Estland: In Sillamäe (185 km östlich von Tallinn) wurde seit 1948 eine Uranerzaufbereitungsanlage betrieben. Sie verarbeitete zunächst arme Uranerze aus Estland mit Urangehalten von etwa 300 g/t. Später wurden insgesamt 4 Mio.t Uranerz mit Urangehalten bis zu 1 % aus verschiedenen Ländern Osteuropas verarbeitet: 2,2 Mio.t aus der Tschechoslowakei, 1,2 Mio.t aus Ungarn, sowie kleinere Mengen aus Polen, Rumänien, Bulgarien und der DDR. Seit 1977 werden in der Anlage nur noch andere Erze als Uranerze verarbeitet. [Ehd-wall1993]

Schweden: Von 1965 bis 1969 wurden in Ranstad in Västergötland (Südschweden) insgesamt 200 t Uran im Tagebau abgebaut. Die Lagerstätte in Alaun-Schiefer hatte nur einen Uran-Gehalt von 0,03 %.

Finnland: In Finnland sind einige kleinere Uranvorkommen bekannt. Vor längerer Zeit wurde eine Menge von insgesamt ca. 30 t Uran abgebaut.

Großbritannien: Es sind zwar kleinere Uranvorkommen im Südwesten Englands (Cornwall,

Devon) und im Norden Schottlands bekannt; zu einem Abbau kam es jedoch nicht [OECD1990]. Immerhin hinterließen die britischen Uranvorkommen aber Spuren in der Musikgeschichte: Als die Thatcher-Regierung 1980 in der Nähe von Stromness auf den Orkney-Inseln mit dem Uranabbau beginnen wollte, schuf der auf der benachbarten Insel Hoy lebende Dirigent und Komponist Peter Maxwell Davies für die Gegenkampagne die kabarettistische *Yellow Cake Revue* [Davies1984].

- Die wichtigsten Uranabbau-Länder in Europa waren DDR, Tschechoslowakei und Frankreich.
- Der Uranabbau wurde nach der Wende in fast allen Ländern Europas aus Kostengründen stark eingeschränkt oder ganz eingestellt.

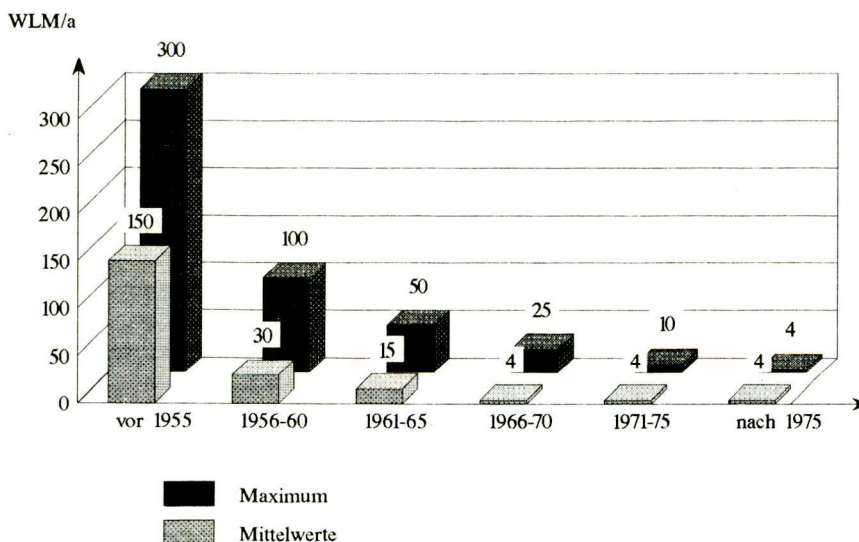
2. GEFAHREN FÜR URANARBEITER

Zusätzlich zu den Gefahren des konventionellen Bergbaus sind die Uran-Bergarbeiter dem Risiko ausgesetzt, an Lungenkrebs zu erkranken; dieses rührt vom Einatmen radioaktiver Stäube und des radioaktiven Gases Radon her. Radon-222 entsteht beim Zerfall des Radium-226, das im Erz enthalten ist. Untersuchungen - wie z.B. die von [Sevc1988] an tschechischen Uranarbeitern - zeigen, daß Uranbergarbeiter ein sechsfach höheres Risiko tragen, an Lungenkrebs zu erkranken; aber auch andere Krankheiten der Atemwege treten gehäuft auf. Lungenkrebs entwickelt sich erst nach einer Latenzzeit von 15 bis 30 Jahren, daher ist der Zusammenhang zwischen der Beschäftigung in einem Uranbergwerk und dem Auftreten der Krankheit nicht immer offensichtlich.

In den frühen "wilden" Jahren des Uranbergbaus wurden weltweit kaum Schutzmaßnahmen für die Bergarbeiter ergriffen; so tragen die Arbeiter aus diesen Zeiten das höchste Lungenkrebs-Risiko. Im Jahr 1955 betrug die Radon-Konzentration in den Wismut-Bergwerken durchschnittlich etwa $100\,000\text{ Bq/m}^3$, mit Spitzen bis zu $1,5\text{ Mio. Bq/m}^3$ [Jacobi1992]. Seit Ende der fünfziger Jahre wurde das Erz beim Bohren feucht gehalten, um die Staubeentwicklung zu vermeiden, und die Bergwerke wurden intensiv belüftet, um die Radon-Belastung zu senken. Die Dosisbelastung durch Radon-Zerfallsprodukte ging dadurch nach Angaben von Wismut von 150 WLM auf 4 WLM pro Jahr zurück (WLM = Working Level Month ist eine Einheit für die Dosisbelastung durch die für die Krebsentstehung maßgebenden Radon-Zerfallsprodukte).

Im rumänischen Uranbergwerk Avram Iancu wurden dagegen infolge der mangelhaften Belüftung auch in neuerer Zeit noch Radon-Konzentrationen bis zu $60\,000\text{ Bq/m}^3$ gemessen [RSRP1993].

Strahlenexposition SDAG Wismut



Nach [Jacobi1992] ist die Dosisbelastung bei der Wismut in den frühen Jahren nicht auf 150, sondern auf 200 WLM jährlich zu veranschlagen. Der tatsächliche Wert ist kaum noch zu ermitteln, da es bei der Wismut nie eine direkte Messung der Dosisbelastung des einzelnen Bergmannes gab. Vor 1955 gab es überhaupt keine Messungen, so daß man nur auf Schätzungen angewiesen ist. Danach wurde an repräsentativen Stellen im Bergwerk jeweils für kurze Zeit die Belastung durch Radon-Zerfallsprodukte gemessen, und dann anhand der bekannten Arbeitsorte der Bergleute die Belastung des einzelnen errechnet. Diese Methode gibt zwar einen Überblick, kann jedoch eine kontinuierliche und personenbezogene Messung nicht ersetzen.

In französischen Uranbergwerken werden dagegen seit 1983 individuelle Dosimeter verwendet. Seit 1989 sind sie Pflicht für alle Arbeiter, die Gefahr laufen, 30 % des Grenzwerts für die Strahlenbelastung zu überschreiten. [Tirmarche1993], [Bernhard1991]

Von den Bergarbeitern, die bei WISMUT beschäftigt waren, starben zwischen 1946 und 1990 insgesamt 7163 an Lungenkrebs; bei 5237 davon wurde Lungenkrebs als Berufkrankheit anerkannt [AKURA1993]. Die Anerkennungsgrenze betrug bis Mitte 1990 450 WLM; seitdem wurde sie auf 200 WLM gesenkt. Es genügt demzufolge schon ein Jahr Uranabbau-Tätigkeit in den frühen Jahren, um bei einem späteren Auftreten von Lungenkrebs die Verursachung durch die Berufstätigkeit anzunehmen.

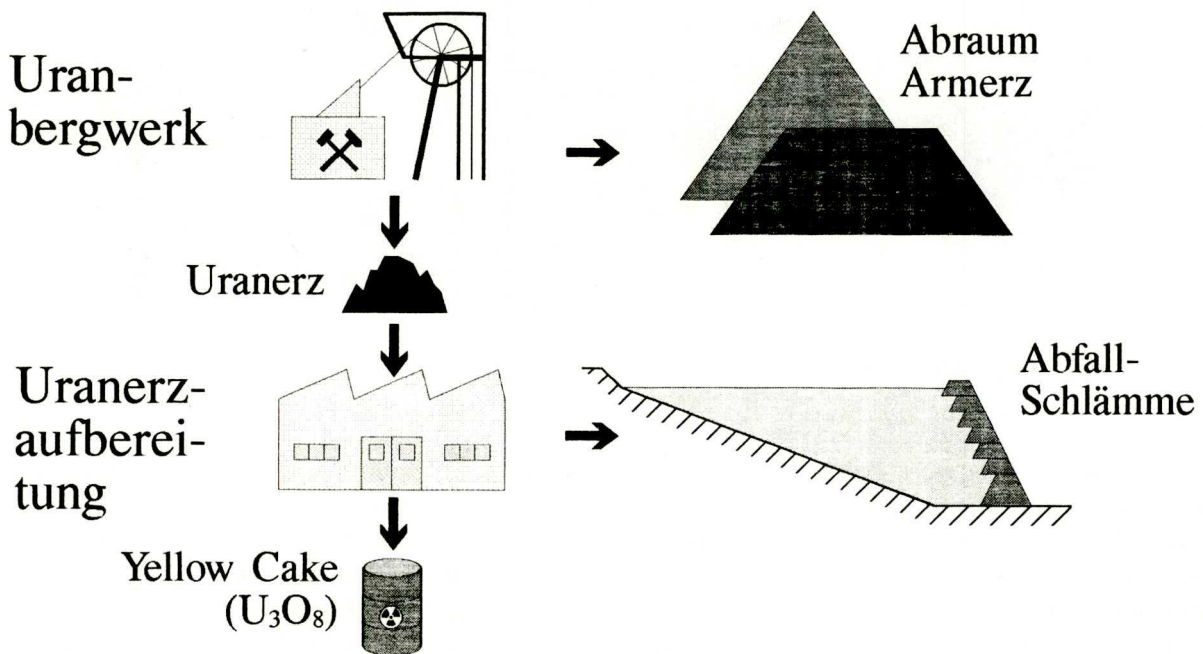
Eine Auswertung der internationalen Studien zur Lungenkrebserkrankung von Uran-Bergarbeitern ergab, daß abhängig vom Alter bei der Belastung und vom Alter bei Auftreten der Erkrankung schon eine Gesamtbelastung von 40 WLM als Ursache ausreichen kann. Diese Dosis konnte also auch bei einer Tätigkeit ausschließlich in den späteren Jahren erreicht werden, während bisher bei einer solchen Tätigkeit eine Anerkennung grundsätzlich abgelehnt wurde. Ab einer Belastung von 150 WLM kann ein aufgetretener Lungenkrebs praktisch unabhängig von der Vorgeschichte der Tätigkeit im Uranbergbau zugeschrieben werden. [Jacobi1992]

Eine besondere Situation ergibt sich für die Arbeiter, die in der Endstufe der Uranerzaufbereitungsanlagen arbeiten. Da sie mit dem hochkonzentrierten Endprodukt umgehen, besteht für sie das Hauptrisiko im Einatmen kontaminierten Staubs. Die wichtigste Belastung entsteht dabei durch die chemische Giftwirkung des Urans, die die Nierenfunktion beeinträchtigt.

- Die Uran-Bergarbeiter tragen ein erhöhtes Lungenkrebs-Erkrankungsrisiko durch das Einatmen von Radon.
- Die höchsten Belastungen sind in den frühen Jahren des Uranbergbaus (bis in die fünfziger Jahre) aufgetreten.
- Auch zehn Jahre Arbeit im Uranbergbau unter heutigen Bedingungen können unter Umständen schon ausreichen, um als ursächlich für eine aufgetretene Lungenkrebserkrankung anerkannt zu werden.

3. UMWELTAUSWIRKUNGEN

Uran - Produktion



Uranbergwerk

Uranerz wird im Tagebau oder bergmännisch unter Tage gewonnen. Der Urangehalt des Erzes liegt vielfach bei nur 0,1 %, deshalb müssen große Mengen an Erz abgebaut werden, um die benötigten Uranmengen zu gewinnen. In den Anfangsjahren wurde Uranerz vorwiegend in oberflächennahen Lagerstätten im Tagebau abgebaut, später wurde der Abbau in die Tiefe in Untertage-Bergwerken fortgesetzt. Mit dem Verfall der Preise am Uran-Weltmarkt seit Beginn der achtziger Jahre wurde der Untertage-Abbau für die meisten Lagerstätten zu teuer, daher wurden seitdem viele Bergwerke stillgelegt.

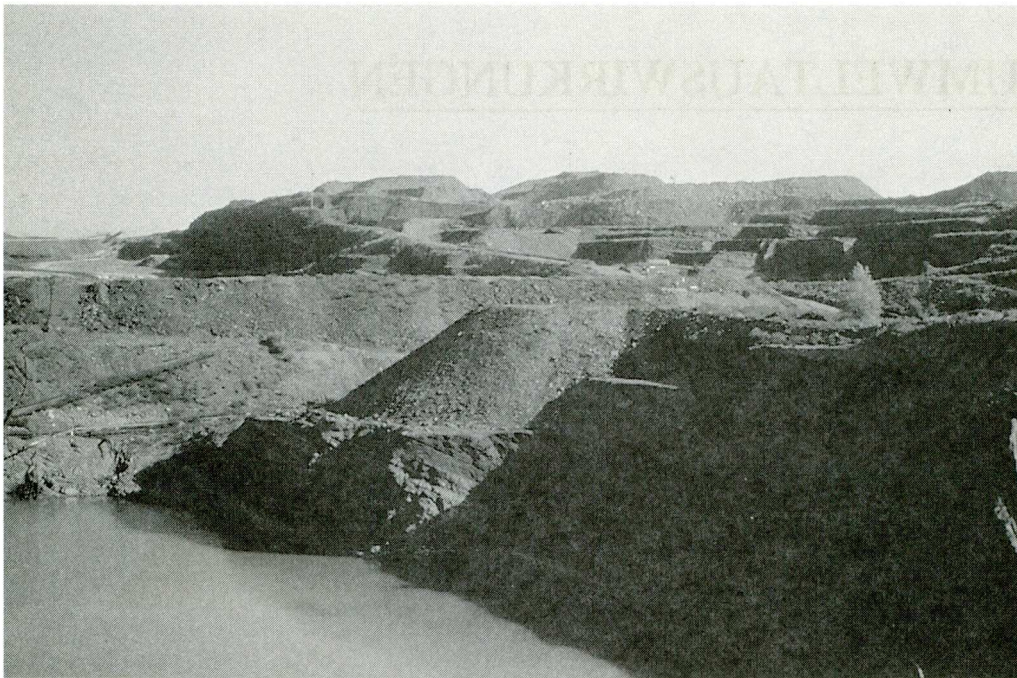


Bild: Tagebau Le Bosc bei Lodève (Hérault, Frankreich)

Während des Bergwerksbetriebs werden große Mengen an Radon- und Staub-belasteter Luft ins Freie geblasen, so z.B. im Jahr 1993 allein in Schlema-Alberoda 7426 Mio.m³ Abluft (d.h. 235 m³/s) mit einem durchschnittlichen Radon-Gehalt von 96 000 Bq/m³. Damit wird zwar die Belastung für die Bergarbeiter gering gehalten, es erhöht sich aber gleichzeitig die Belastung der Anwohner. Diese Belastung dauert auch nach der Einstellung der Urangewinnung an, solange die Gruben im Zuge der Stilllegungsarbeiten noch bewettert werden und nicht geflutet sind. In Schlema konnte durch eine Umstellung der Wetterführung im April 1992 erreicht werden, daß die Radonbelastung in einigen Wohngebieten erheblich zurückging: Die kontaminierte Abluft wird nun in unbewohntem Gebiet ins Freie geblasen.

In Bulgarien liegt ein stillgelegtes Uranbergwerk in unmittelbarer Nähe der Ortschaft Eleshnitsa. Es verursacht erhöhte Radon-Gehalte im Freien. Man nimmt an, daß 0,3 - 1 Lungenkrebsfälle jährlich bei den 2600 Einwohnern des Dorfes auf diese Radon-Belastung zurückzuführen sind. [Vapirev1994]

Aus dem stillgelegten Uranbergwerk Zirovski Vrh in Slowenien strömt Luft mit einem Radongehalt von 5000 Bq/m³ und führt bei austauscharmen Wetterlagen in den umgebenden Tallagen zu hohen Belastungen [Peter1994].

Radon und Staub, die mit der Grubenlüftung austreten, führen jedoch nicht nur beim direkten Einatmen zu Dosisbelastungen der Anwohner: Die Untersuchung verschiedener Proben von Lebensmitteln, die im Einzugsbereich des Uranbergbaus im Ronneburger Revier erzeugt wurden, ergab, daß beim Verzehr einheimischer Lebensmittel die mit Abstand höchste Dosisbelastung von 0,33 mSv (33 mrem) pro Jahr durch Weizen entsteht, der unmittelbar an einem Lüftungsschacht angebaut wurde [Schmidt1994].

Um das Grundwasser während des Betriebs vom Bergwerk fern zu halten, werden große Wassermengen abgepumpt und in Flüsse, Bäche und Seen abgelassen. In den Sedimenten von Flüssen im Raum Ronneburg wurden bei Werten um 3000 Bq/kg bis zu 100-fache Anreicherungen von Uran und Radium gefunden [Hanisch1994].

In Tschechien kam es wegen der bis 1989 mangelhaften Reinigung der Abwässer des Bergwerks Hamr I zu einer anhaltenden Kontamination der Sedimente des Flusses Ploucnice und der Überschwemmungsgebiete in seiner Talaue auf einer Länge von ca. 30 km [Andel1993]. Die Dosisbelastung durch Gammastrahlung erreicht an einzelnen Stellen Spitzenwerte von $3,1 \mu\text{Gy/h}$, das ist etwa das dreißigfache der natürlichen Werte.

In dem Fluß Lergue, der die Abwässer des Uranbergbau-Komplexes Le Bosc (Hérault, Frankreich) aufnimmt, wurden in Sedimenten Konzentrationen an Radium-226 bis zu $13\,000 \text{ Bq/kg}$ gemessen; das entspricht den Werten in Uranerz [Descamps1988]. Aus der Quelle geht jedoch nicht hervor, inwieweit dieser Wert durch den Bergbau selbst oder durch die Aufbereitung des Erzes und die Lagerung der Aufbereitungsrückstände verursacht wird.

In den alten Bergbaugebieten im Erzgebirge vermischen sich die Probleme des seit dem Mittelalter stattgefundenen Altbergbaus mit denen des Uranbergbaus. So werden im Raum Schneeberg außerordentlich hohe Radon-Werte in Wohnungen gemessen (in Wohnräumen sind $20\,000 \text{ Bq/m}^3$ keine Seltenheit, in Kellern bis zu $100\,000 \text{ Bq/m}^3$ [Keller1991]), die zum Teil darauf zurückzuführen sind, daß die Häuser vom Keller aus Zugang zu oberflächennahen Grubenbauen haben, oder sonstige Wegsamkeiten für das Radongas bestehen. Da die Wissenschaft sich nicht einig ist, wie das Lungenkrebsrisiko bei solch hohen Radonwerten in Wohnungen zu bewerten ist, werden zur Zeit weltweit zahlreiche epidemiologische Untersuchungen durchgeführt. Erste Untersuchungen im ostdeutschen Uranbergbaugebiet zeigten in mehreren Städten bei Männern erhöhte Lungenkrebsraten, die auf berufliche Belastung im Uranbergbau zurückgeführt werden. In Schlema und Schneeberg wurde eine erhöhte Lungenkrebshäufigkeit jedoch auch bei Frauen gefunden [Heinemann1992]. Daher wird zur Zeit eine eingehendere Untersuchung über das Lungenkrebsrisiko in Wohnungen in Thüringen und Sachsen durchgeführt [Heinrich1992].

Im Raum Dresden-Freital wurde seit 1542 uranhaltige Steinkohle als Brennstoff abgebaut. Von 1952-1955 und 1967-1989 wurde dieselbe Kohle von der Wismut als Uranerz abgebaut. Daher ist in diesem Raum ebenfalls mit einer Vermischung der Probleme des Altbergbaus mit denen des Uranbergbaus zu rechnen, insbesondere durch die von der Verbrennung dieser Kohle herrührende Asche.

Taubes Gestein

Taubes Gestein fällt im Tagebau beim Entfernen des Deckgebirges und im Untertage-Bergbau beim Stollenvortrieb durch nicht vererzte Zonen an. Halden mit sogenanntem taubem Gestein enthalten oft erhöhte Konzentrationen an radioaktiven Bestandteilen gegenüber unbelastetem Gestein. Andere Halden enthalten Armerze, deren Urangehalt zu niedrig für eine Aufbereitung ist. Der Übergang zwischen taubem Gestein und Armerz bzw. Erz ist fließend und hängt von den technischen Möglichkeiten und wirtschaftlichen Randbedingungen ab.

Alle diese Halden bedrohen Anwohner und Umwelt auch nach Beendigung des Bergbaus langfristig aufgrund ihrer Radon-Ausgasung und der Versickerung von radioaktiven und toxischen Bestandteilen ins Grundwasser.

Die Abraumhalden der Uranbergwerke im Raum Schlema/Aue haben ein Volumen von 47 Mio. m^3 und bedecken eine Fläche von 343 ha. Das Abfallgestein wurde meist an die Talhänge gekippt. Vielfach befinden sich in unmittelbarer Nähe Wohngebiete. In großen Teilen Schlemas werden folglich im Freien hohe Radon-Belastungen von 100 Bq/m^3 , in einigen Gebieten sogar über 300 Bq/m^3 gemessen. Das Öko-Institut hat daraus ein zusätzliches Lebenszeit-Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken, von 20 bzw. 60 Fällen pro 1000 Einwohner berechnet [Küppers1994]. Bei Inversions-Lagen kann es zudem in den engen Tallagen zu hohen Spitzenwerten kommen.

Urangehalte von Gesteinen

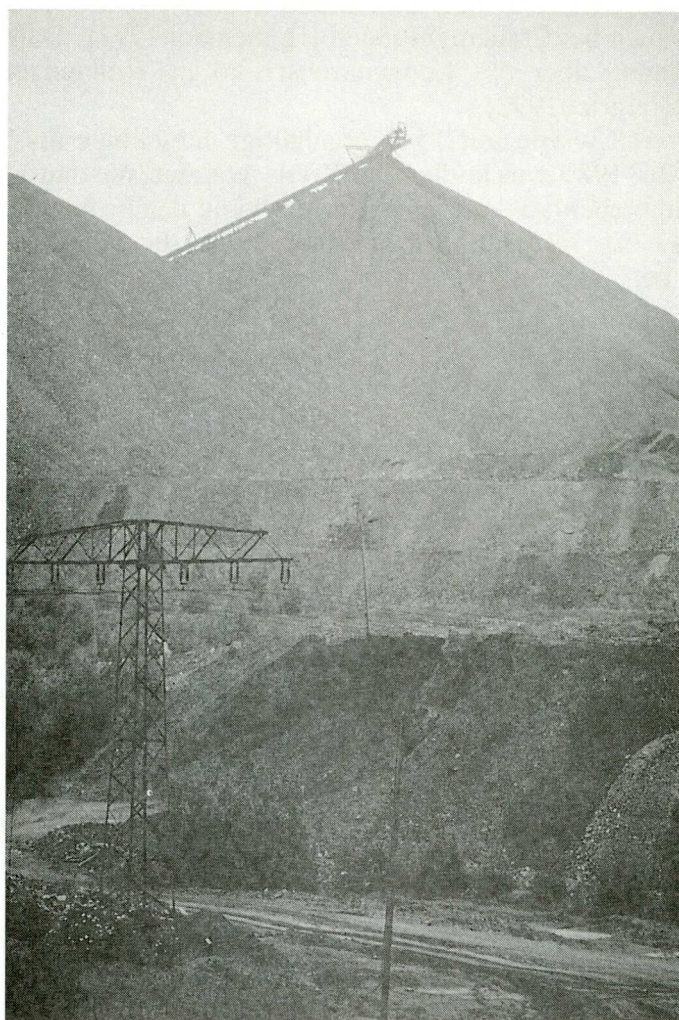
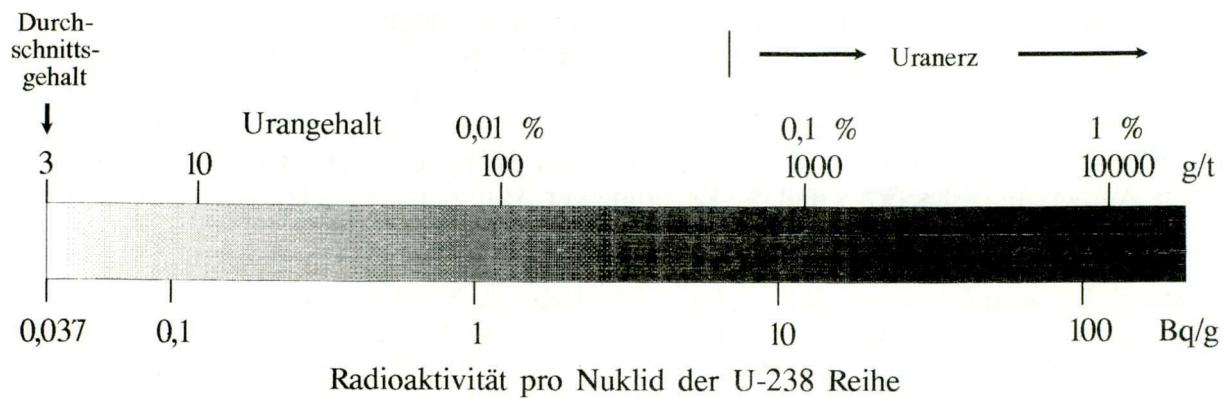
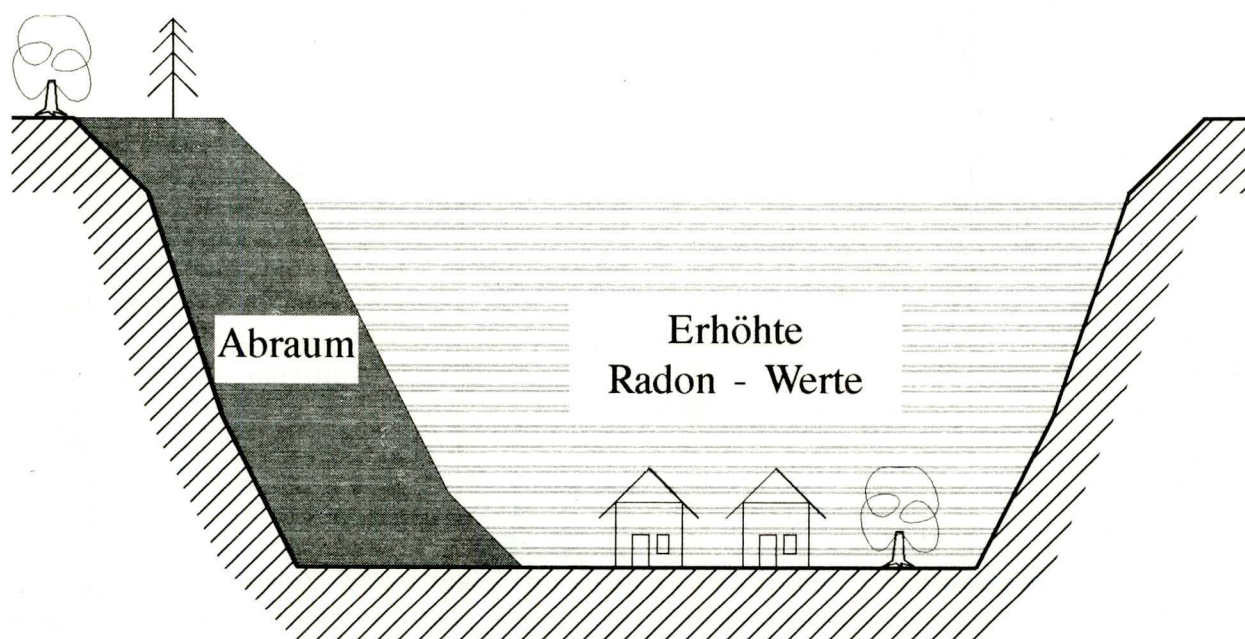


Bild: Haldenlandschaft Paitzdorf, Ronneburg (Thüringen), Mai 1990



Bild: Halden Schlema (Sachsen)



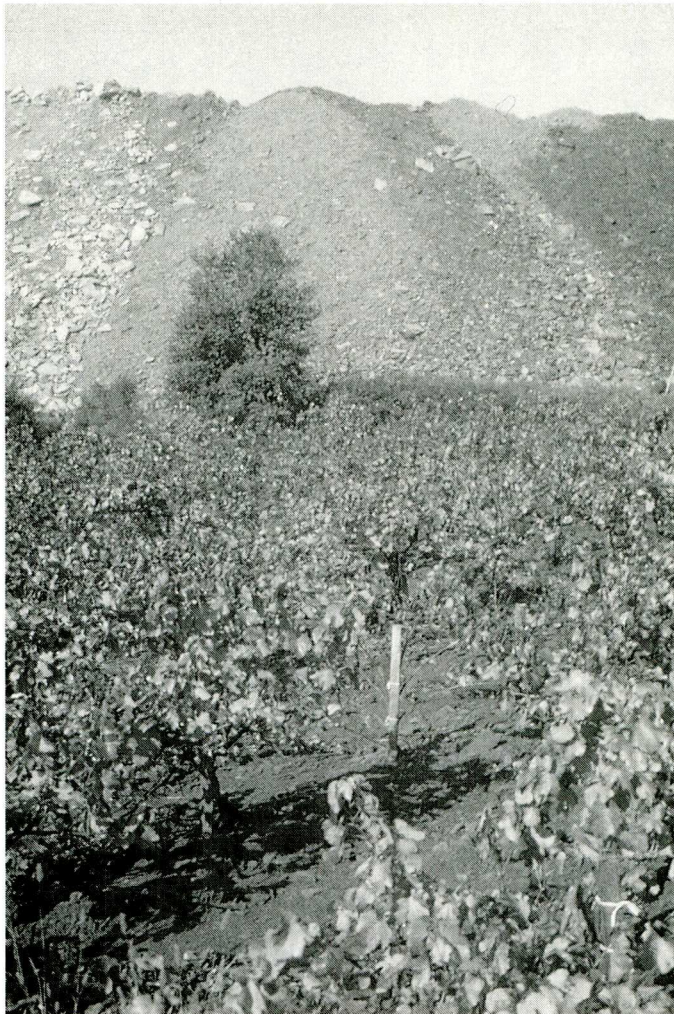


Bild: Weinbau an Halde, Le Bosc bei Lodève (Hérault, Frankreich)

Für den Süden Ronneburgs hat das Öko-Institut ein zusätzliches Lebenszeitrisiko, an Lungenkrebs zu erkranken, von 15 Fällen auf 1000 Einwohner berechnet. Da das Radon sich mit dem Wind schnell ausbreitet, muß auch das Risiko für die Bevölkerung in einem größeren Umkreis betrachtet werden: Das Öko-Institut rechnet mit dem Auftreten von zusätzlich 6 Lungenkrebsfällen pro Jahr in einem Umkreis von 400 km. [Küppers1994]

Ein weiteres Problem der Halden stellen die Sickerwässer dar, zum Teil wurden gar Bäche einfach überkippt. Aus den Halden im Raum Schlema/Aue treten jährlich geschätzte 2 Mio.m³ Sickerwässer aus, von denen etwa die Hälfte im Grundwasser verschwindet. Von dem Rest wird nur ein Bruchteil am Fuß der Halden gefaßt.

Vielfach wurde sogenanntes taubes Gestein auch zu Schotter oder Zement verarbeitet und bei Bahn- und Straßenbau verwendet. So wurde allein von den Hartsteinwerken Oelsnitz 7,58 Mio.t Material mit Urangelhalten bis zu 100 g/t verarbeitet. Vom Baukombinat Zwickau wurden von der Bergehalde des Aufbereitungsbetriebes Crossen 14,4 Mio.t mit Urangelhalten bis zu 150 g/t und Radium-Gehalten bis zu 1,3 Bq/g im Straßenbau verwendet [BT1992a]. Damit wurde die erhöhte Radioaktivität über große Gebiete verteilt. Für einen Teil des Materials läßt sich die Verwendung nicht mehr zurückverfolgen.

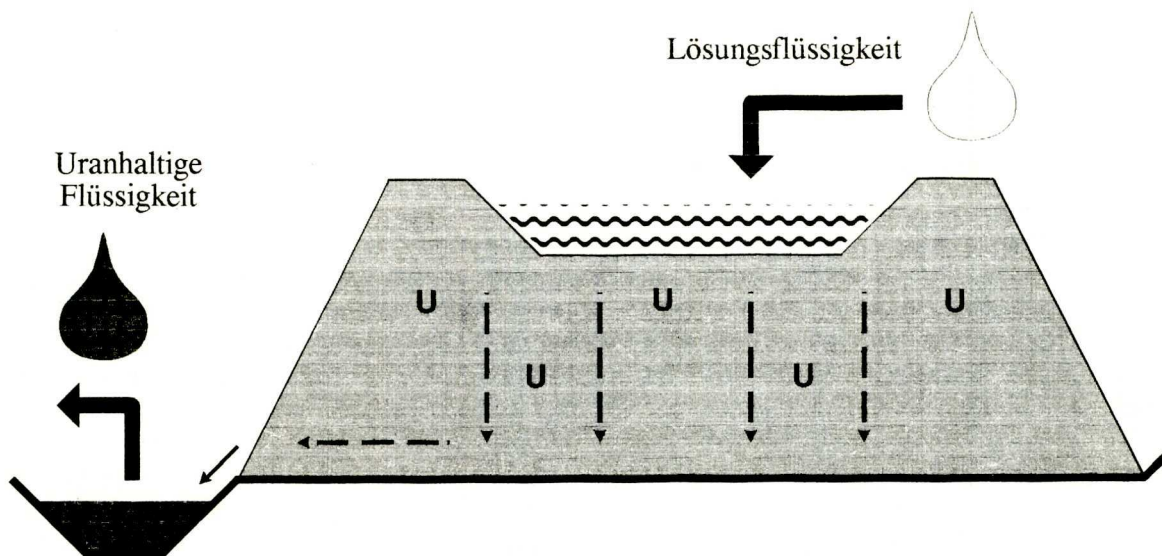
In der Tschechoslowakei konnte bis 1991 Material mit Urangelhalten bis 200 g/t und Radium-Gehalten bis 2,22 Bq/g für den Straßenbau verwendet werden [Andel1994].

Laugungshalden

In einigen Fällen werden Armerze auf Halden gelaugt, wenn der Urangehalt zu niedrig für eine wirtschaftliche Verarbeitung in einer Uranerzaufbereitungsanlage ist. Die Lösungsflüssigkeit (oft Schwefelsäure) wird oben auf den Halden aufgegeben und rieselt durch diese hindurch bis auf eine untere Abdichtung, wo sie aufgefangen und in eine Rückgewinnungsanlage geleitet wird. Man spricht von Haldenlaugung, wenn das Erz nach der Laugung an Ort und Stelle verbleibt, während bei Haufenlaugung das ausgelaugte Erz immer wieder abtransportiert und durch frisches ersetzt wird. In Frankreich wurde die Lösungsflüssigkeit am Standort Le Cellier (Lozère) auch in die Halden injiziert, um die Ausbeute zu steigern und die Laugung zu beschleunigen.

Halden- bzw. Haufenlaugung von Armerzen wurde in großem Maßstab unter anderem eingesetzt bei der Gessentalhalde der Wismut in Ronneburg (7 Mio.t) und in Königstein (2 Mio.m³), sowie im ungarischen Pécs (2-3 Mio.t), in kleinerem Maßstab auch im bayerischen Mähring (15 000 t).

Haufenlaugung von Uranerz



Während des Betriebes stellen diese Halden ein Risiko dar wegen ihrer Freisetzung von Stäuben, Radon-Gas und dem möglichen Versickern von Lösungsflüssigkeit. Nach Beendigung des Laugungsprozesses kann eine andauernde Gefahr aufgrund von natürlicher Laugung weiterbestehen, wenn die aufgehaldeten Erze (wie z.B. die aus thüringischen Lagerstätten) das Mineral Pyrit (FeS_2) enthalten: Dann können Niederschläge unter Luftzutritt eine fortgesetzte Produktion von Schwefelsäure in der Halde verursachen, die zu einer jahrhundertlangen Auslaugung von Uran und anderen Schadstoffen und damit zu einer permanenten Bedrohung des Grundwassers führt.

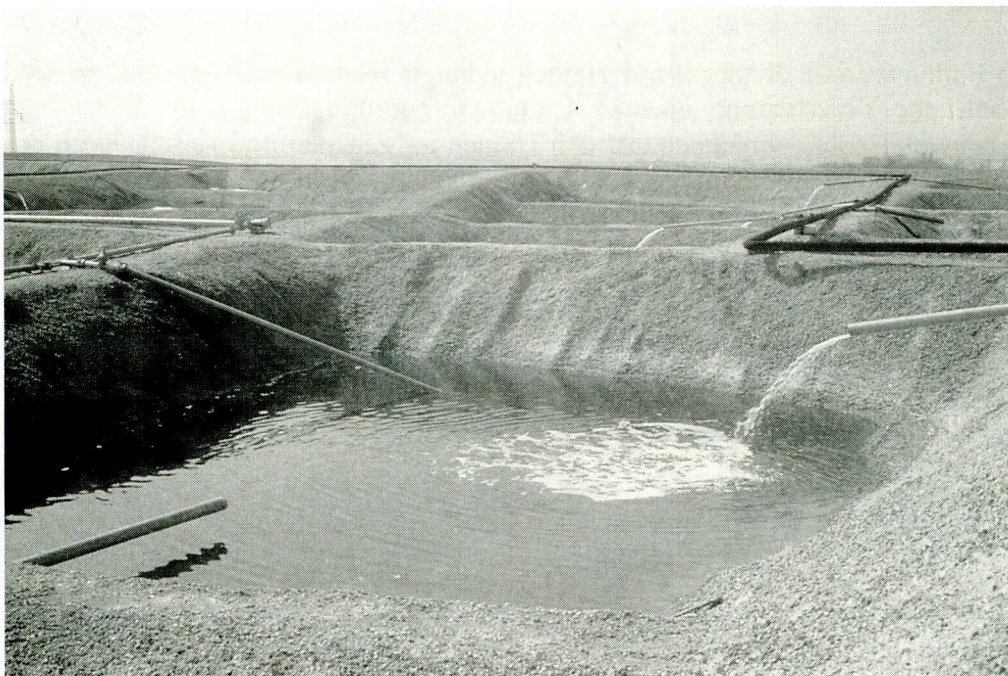


Bild: Haldenlaugung Pécs (Ungarn): Säureaufgabe oben auf den Halden

In-Situ-Laugung

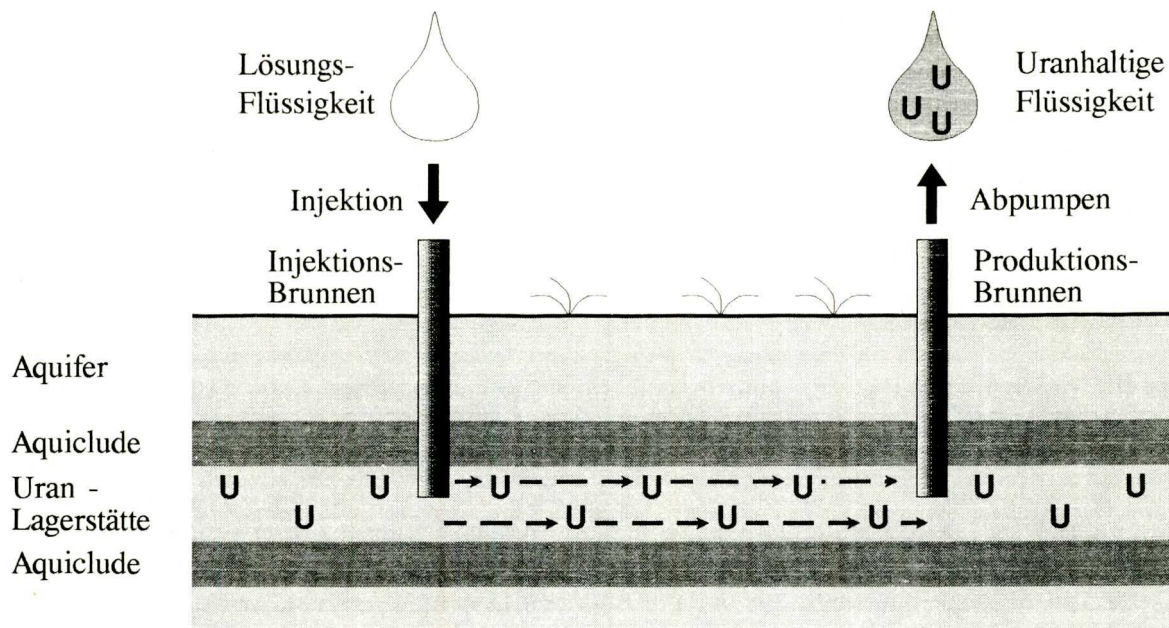
Bei In-Situ-Laugung (ISL) wird das uranhaltige Erz nicht aus seiner Lagerstätte herausgeholt, sondern eine Lösungsflüssigkeit (z.B. Ammonium-Karbonat, in Europa jedoch meist Schwefelsäure) durch Bohrlöcher in das unterirdische Uranvorkommen gepreßt und die uranhaltige Flüssigkeit aus anderen Bohrlöchern abgepumpt (der umgangssprachliche Begriff "Laugung" trifft bei Verwendung von Schwefelsäure natürlich strenggenommen nicht zu). Diese Methode ist nur anwendbar bei Uranvorkommen, die in wasserdurchlässigem Gestein in einem Grundwasserleiter liegen, der nach allen Seiten mit undurchlässigen Schichten umgeben ist.

In-Situ-Laugung erlangt mit fallendem Uranpreis eine wachsende Bedeutung. In den USA, dem bislang größten Uranproduzenten der Welt, ist In-Situ-Laugung heute aus Kostengründen die einzige noch angewendete Technologie für die Urangewinnung. In Sachsen war bis Ende 1990 in Königstein bei Dresden ein auf In-Situ-Laugung umgestelltes Untertage-Bergwerk in Betrieb. In kleinem Umfang wurde In-Situ-Laugung auch in den Bergwerken in der Region Ronneburg eingesetzt. In Tschechien wurde In-Situ-Laugung in großem Maßstab in Stráz pod Ralskem in Nordböhmen praktiziert. In Bulgarien wurde In-Situ-Laugung an 8 Standorten eingesetzt.

Die Vorteile dieser Methode sind:

- Die reduzierte Gefährdung des Personals durch Unfälle und Strahlung;
- die geringeren Kosten;
- das Entfallen von großen Schlammdeponien.

In Situ - Laugung von Uran



Dem stehen die folgenden Nachteile gegenüber:

- Die Gefahr des Austretens der Lösungsflüssigkeit über die Uranlagerstätte hinaus und der nachfolgenden Belastung von Grundwasser;
- die unvorhersagbaren Auswirkungen der Lösungsflüssigkeit auf das Gestein der Lagerstätte;
- die Entstehung gewisser Mengen an Abfallschlämmen und Abwasser bei der Rückgewinnung der Lösungsflüssigkeit;
- die Unmöglichkeit, den natürlichen Zustand in der Laugungszone nach Beendigung der Auslaugung wiederherzustellen.

Im Falle von Königstein wurden mit der Lösungsflüssigkeit ca. 100 000 t Schwefelsäure in die Erzlagerstätte gepumpt. Jetzt sind noch 1,9 Mio.m³ Lösungsflüssigkeit in den Poren des bisher gelaugten Gesteins eingeschlossen, weitere 0,85 Mio.m³ zirkulieren noch zwischen der Laugungszone und der Aufbereitungsanlage. Die Flüssigkeit hat einen hohen Schadstoffgehalt, ausgedrückt als Vielfaches vom Grenzwert für Trinkwasser z.B.: Cadmium 400x, Arsen 280x, Nickel 130x, Uran 83x, u.a. Diese Flüssigkeit bedroht einen Trinkwasserleiter, der für die Trinkwasserversorgung der Region von Bedeutung ist.

Ungleich größer ist die Grundwasserkontamination bei der nordböhmischen In-Situ-Laugungs-Anlage Stráz pod Ralskem: In der 5,74 km² großen eigentlichen Laugungszone befinden sich hier 28,7 Mio.m³ kontaminierter Flüssigkeit mit einem Schadstoffinhalt von u.a 1,5 Mio.t Sulfat und 37 500 t Ammonium. Zusätzlich zu den für die Laugung nötigen Chemikalien (darunter insgesamt 3,7 Mio.t Schwefelsäure) wurden hier auch 100 000 t Ammonium injiziert, die bei der Aufbereitung über Tage als Abfall anfielen. Die kontaminierte Flüssigkeit ist zudem über die eigentliche Laugungszone hinaus sowohl in die Breite als auch in andere Gesteinsschichten über der Laugungszone ausgetreten; dadurch wurden auf einer Fläche von 28 km² weitere 235 Mio.m³ Grundwasser kontaminiert. In südwestlicher Richtung

breitet sich die Grundwasser-Kontamination weiter aus und hat inzwischen die 2. Schutzzone der Trinkwasserversorgung des Ortes Mimon erreicht. In südöstlicher Richtung ist das kontaminierte Grundwasser noch 1,2 - 1,5 km von der 2. Schutzzone der Trinkwasserfassung Dolánky entfernt, die 200 l/s für die Stadt Liberec gewinnt [Andel1993]. In östlicher Richtung wird eine weitere Ausbreitung in Richtung auf das benachbarte Untertage-Bergwerk Hamr I vorerst durch eine sogenannte Hydrobarriere verhindert: In eine Kette von Bohrungen wird laufend gereinigtes Wasser hineingepumpt, um ein Weiterfließen kontaminierten Grundwassers zu unterbinden.

In Bulgarien wurden für die In-Situ-Laugung insgesamt 2,5 Mio.t Schwefelsäure in die Uranlagerstätten injiziert [Vapirev1994]. Einige der In-Situ-Laugungsanlagen (z.B. Okop-Tenebo) befinden sich in der Nähe von Trinkwasserbrunnen. Mit den Umweltproblemen der In-Situ-Laugungsanlagen hat man sich in Bulgarien anscheinend noch nicht intensiver beschäftigt.

Aufbereitung des Erzes

Die im Tagebau und Untertagebau gewonnenen Erze werden in einer Aufbereitungsanlage gemahlen und gelaugt. Das ist eine spezielle chemische Fabrik, die meist in der Nähe der Bergwerke errichtet wird, um das Uran aus dem Erz herauszulösen. In den meisten Fällen kommt Schwefelsäure als Lösungsflüssigkeit zum Einsatz, es wird aber auch alkalische Laugung eingesetzt. Da die Laugungsflüssigkeit nicht nur das Uran aus dem Erz herauslöst, sondern auch andere Bestandteile wie Molybdän, Vanadium, Selen, Eisen, Blei und Arsen, muß das Uran mit Ionenaustauschern aus der gewonnenen Lösung abgetrennt werden. Das Endprodukt der Aufbereitungsanlage ist Yellow Cake (U_3O_8 mit Verunreinigungen), das in Fässer verpackt und versandt wird.

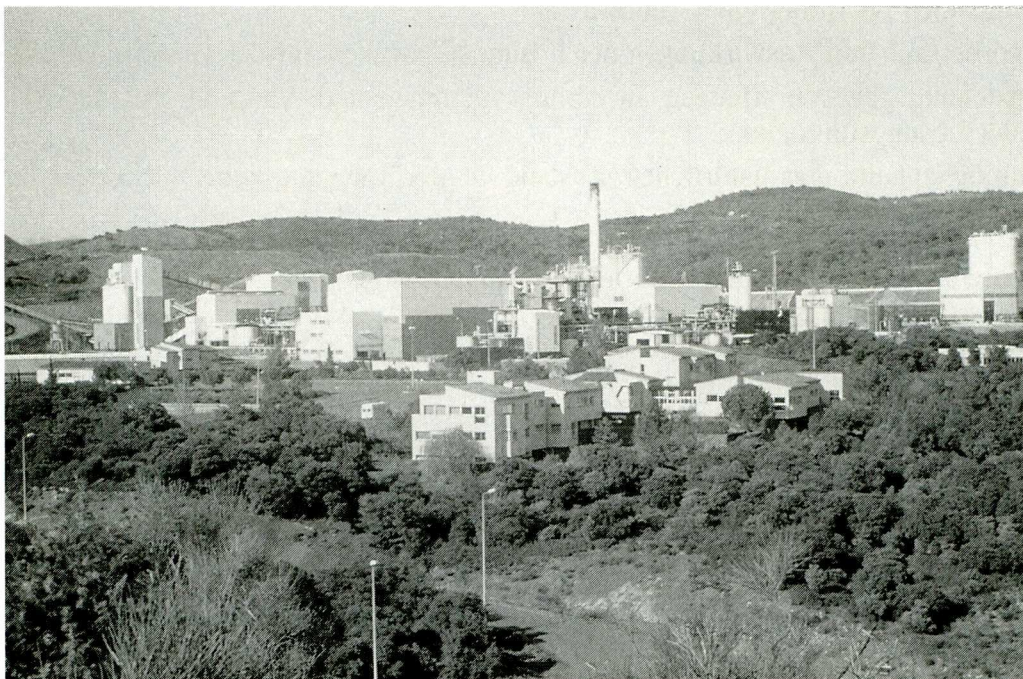


Bild: Uranerzaufbereitungsanlage Le Bosc bei Lodève (Hérault, Frankreich)

Während des Betriebes stellt eine Aufbereitungsanlage hauptsächlich wegen der Entwicklung kontaminierter Stäube ein Problem dar.

Bei der Stilllegung eines Uranaufbereitungsbetriebes fallen große Mengen radioaktiv kontaminierter Schrotts an, die sicher deponiert werden müssen. Um Kosten zu sparen, wird im Falle des Aufbereitungsbetriebes Crossen der Wismut beabsichtigt, Teile des Schrotts in die Schlammdeponie Helmsdorf einzulagern, wo es allerdings aufgrund chemischer Reaktionen zu Gasbildung und damit zu einer Gefährdung der sicheren Endlagerung der Schlämme käme. Weitere 20 000 t Schrott mit einer Oberflächen-Kontamination durch Gesamt-Alpha-Strahlung unter $0,5 \text{ Bq/cm}^2$ sollen wie normaler Schrott eingeschmolzen und wieder in Umlauf gebracht werden [taz 30.8.1991].

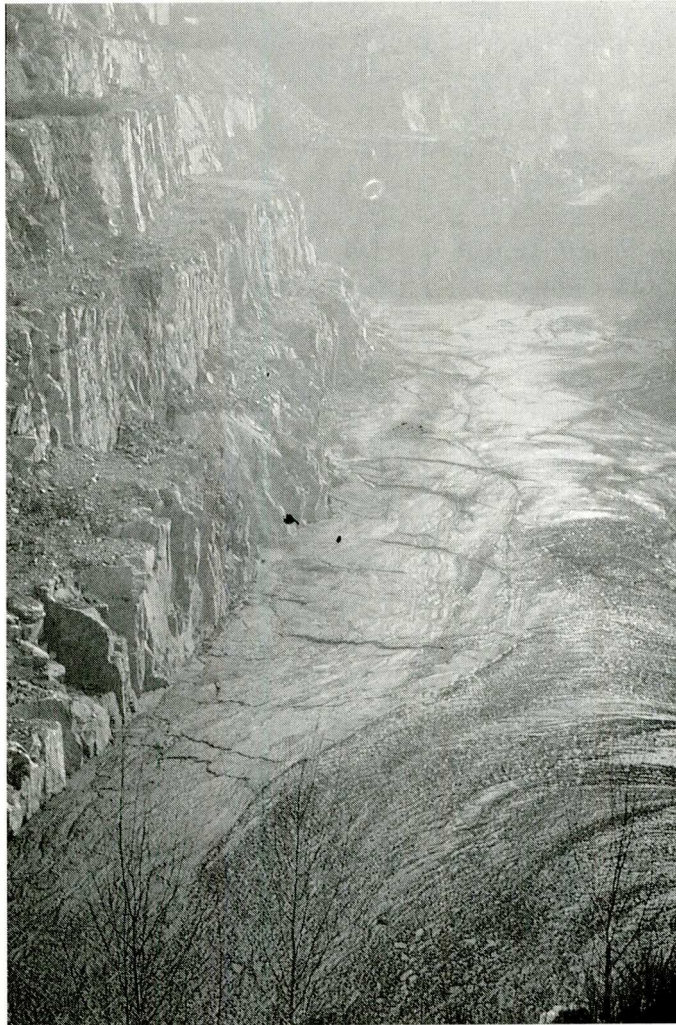


Bild: Schlammdeponie im ehemaligen Tagebau Bellezane bei Bessines-sur-Gartempe (Haute-Vienne, Frankreich), Januar 1992, Inhalt (Ende 1990): 844 000 t

Schlammdeponien aus der Aufbereitung des Uranerzes

Die Rückstände des Aufbereitungsprozesses (englisch: tailings) werden in der Regel als Schlamm in besondere Absetzanlagen eingeleitet, wo sie sich selbst überlassen werden.

Eine Ausnahme bildet die Aufbereitungsanlage Bukhovo in Bulgarien, wo die Schlämme von 1947 bis 1958 einfach in eine Schlucht geleitet wurden; die feineren Bestandteile der Schlämme liefen in den nächsten Fluß. Bei starkem Regen wurde das abgelagerte Material weiter in der Umgebung verteilt. Dies führte zur Kontamination einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von 120 ha. Die gemessene Gamma-Dosisleistung beträgt bis zu $1000 \mu\text{R/h}$, das entspricht etwa dem hundertfachen des natürlichen Werts. Nach 1958 wurden die am stärksten kontaminierten Flächen abgesperrt. Später verfiel die Absperrung jedoch und die Flächen wurden teilweise wieder landwirtschaftlich genutzt. In Getreide von diesen Flächen wurden Radium-Werte von bis zu 1077 Bq/kg gemessen. [Vapirev1994], [Dimtchev1991]

Nach den Rechenregeln der in Westdeutschland gültigen Strahlenschutzverordnung ergäbe sich beim Verzehr dieses Getreides eine Jahresdosis von 74 mSv (7400 mrem), bei einer im deutschen Uranbergbauggebiet zulässigen Dosis von 1 mSv (100 mrem).

Absetzanlagen für Aufbereitungsschlämme werden entweder in vorhandenen Vertiefungen angelegt, oder es werden eigens Staudämme oder Ringdämme errichtet. In Frankreich werden die Schlämme vielfach in alten Tagebaugruben von ausgeerzten Uranbergwerken eingelagert.

Die größten solcher Absetzanlagen in Europa sind die Absetzanlagen Culmitzsch bei Seelingstädt (Thüringen) mit 90 Mio.t Feststoffen sowie die Absetzanlage Helmsdorf in Oberrothenbach bei Zwickau (50 Mio.t). Die Absetzanlage Culmitzsch ist am Standort eines ausgeerzten Tagebau-Uranbergwerks errichtet worden, dessen ursprüngliches Fassungsvermögen durch zusätzliche Dämme wesentlich erweitert wurde. Die Anlage Helmsdorf wurde als Talsperre am Standort des gleichnamigen Dorfes errichtet, das dem Bau weichen mußte. Im Westen Deutschlands gibt es nur eine kleinere Absetzanlage bei der Aufbereitungsanlage Ellweiler mit einem Inhalt von $170\,000 \text{ t}$.



Bild: Die beiden Teilbecken der Schlammdeponie Culmitzsch bei Seelingstädt (Thüringen) vor der inzwischen erfolgten Abdeckung der freiliegenden Spülstrände, September 1990, Gesamtinhalt 90 Mio.t

Schlammdeponien aus der Uranerzaufbereitung in Europa

	Feststoffgehalt		Fläche ha
	Mio.t	Mio.m ³	
Deutschland	≈ 170 ?		≈ 650 ?
davon: Culmitzsch	90		250
Helmsdorf	50,3		192
Trünzig	19		116
Dänkritz I	5,6		19,5
Dänkritz II	0,8		7
Oberschlema	0,4		
Schlema-Borbachtal	0,3		
Dresden-Gittersee		3	29
Freital		?	?
Ellweiler	0,17		2,5
Tschechien		≈ 45 ?	607 ?
davon: Mydlovary		18,8	264
Stráz pod Ralskem		14,2	187
Dolní Rozínka		8	110
Prábram		?	46
Ungarn	20		200
Rumänien	3,4	1,7	35
Bulgarien	16		
Ukraine	?		
Estland	4		33
Schweden	1,5	1	25
Frankreich	45		
davon: Le Brugeaud	14,2		
Lavaugrasse	5,7		
Le Cellier	5,6		
l'Ecarpière	11,5		
Le Bosc	2,97		
St.Priest-la-Prugne	1,3		
Spanien	?		
Portugal	?		

Zusammengestellt aus vielen Einzelquellen (Bezugsjahre 1989-1994)
Die Angaben in verschiedenen Quellen differieren z.Teil erheblich

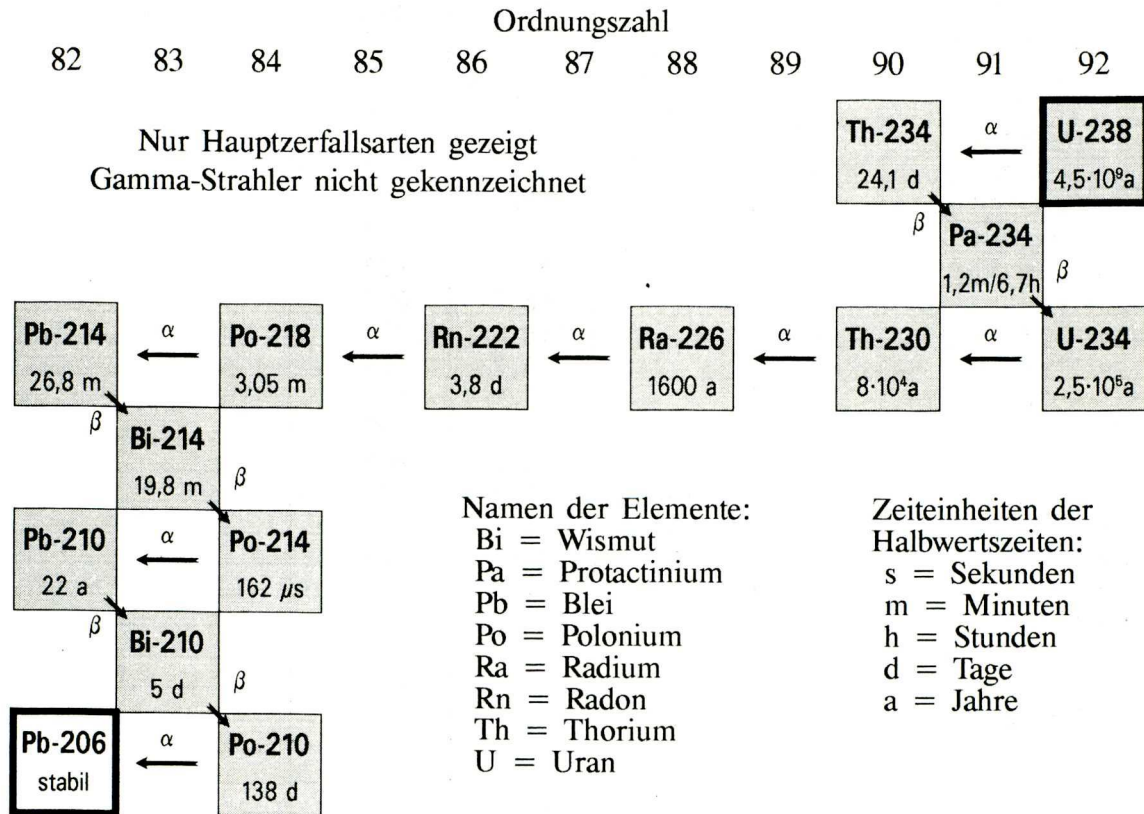
Die Menge der Schlämme ist praktisch genauso groß wie die des gefördertten Erzes: Bei einem Urangehalt von z.B. 0,1 % bleiben 99,9 % des Materials übrig.

Der Schlamm enthält außer dem Uran noch alle Bestandteile des Erzes. Das bedeutet auch, daß der Schlamm noch 85 % der ursprünglichen Radioaktivität des Erzes enthält, da die langlebigen Zerfallsprodukte wie Thorium-230 und Radium-226 nicht entfernt werden. Da wegen technischer Begrenzungen nicht alles Uran herausgelöst werden kann, enthält der Schlamm auch noch 5 % bis 10 % des ursprünglich im Erz vorhandenen Urans.

Das im Schlamm enthaltene Radium-226 zerfällt laufend zu dem radioaktiven Gas Radon-222. Ein Teil dieses Radons entweicht aus dem Inneren der Schlammdeponie und gelangt in die Atmosphäre. Das austretende Radon-222 hat zwar eine vergleichsweise kurze Halbwertszeit von 3,8 Tagen; da aber aus dem Zerfall von Radium-226 fortwährend neues Radon entsteht, stellt das Radon wegen der langen Halbwertszeit des Radium-226 von 1620 Jahren eine Langzeitgefahr dar. Nun ist in den Schlämmen aber nicht nur das Radium-226

vorhanden, sondern auch sein Vorgänger in der Zerfallsreihe, das Thorium-230. Dessen radioaktiver Zerfall klingt erst mit einer Halbwertszeit von 80 000 Jahren ab und produziert kontinuierlich Radium-226.

Die Zerfallsreihe des Uran-238



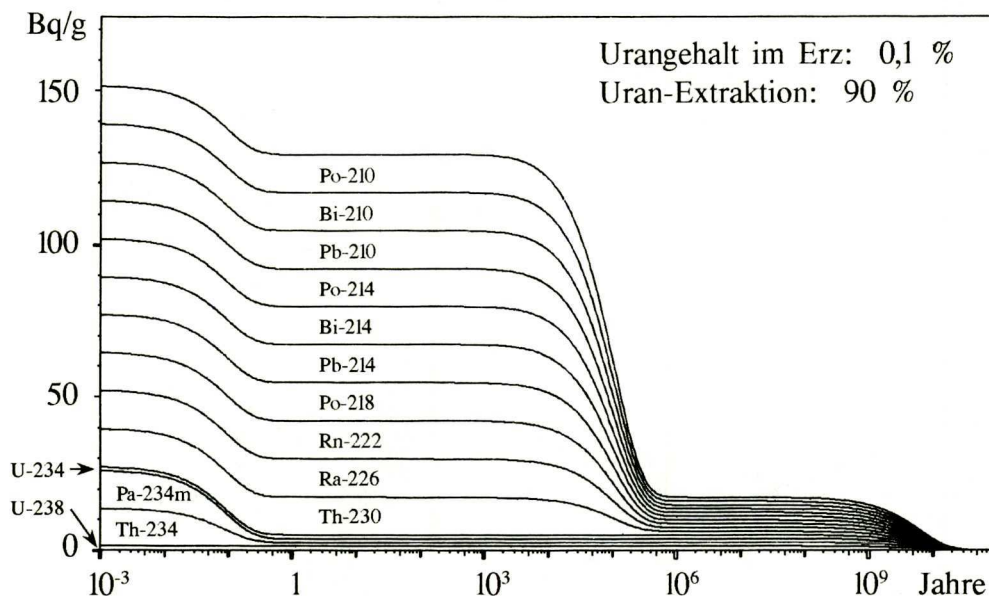
Erst nach etwa 1 Mio. Jahren ist daher die Radioaktivität der Schlämme und damit auch die Radon-Ausgasung soweit abgeklungen, daß sie nur noch vom Restgehalt der Schlämme an Uran-238 bestimmt wird, welches ja selbst laufend neues Thorium-230 produziert. Wenn beispielsweise 90 % des Urans aus 0,1-prozentigem Erz herausgelöst worden sind, stabilisiert sich die Strahlung der Schlämme nach 1 Mio. Jahren auf dem 33-fachen des Pegels von unbelastetem Material. Wegen der 4,5 Mrd. Jahre betragenden Halbwertszeit des Uran-238 kommt es danach praktisch zu keiner weiteren Abschwächung mehr.

Neben den radioaktiven Bestandteilen sind im Schlamm auch noch andere Schadstoffe enthalten, die aus dem Erz stammen, wie z.B. Arsen oder verschiedene Schwermetalle. So enthält die Schlammdeponie Helmsdorf z.B. allein 7590 t Arsen. Zusätzlich enthält der Schlamm noch Chemikalien, die beim Aufbereitungsprozeß eingebracht wurden.

All diese gefährlichen Stoffe sind aus ihrer sicheren Verwahrung unter der Erde herausgeholt und in die Form von feinem Sand bzw. Schlamm gebracht worden, wodurch sie sehr anfällig für eine Verteilung in die Umwelt werden. In der Schlammdeponie befinden sich die Stoffe zudem in einem geochemischen Ungleichgewicht, weshalb innerhalb der Deponie verschiedene Prozesse stattfinden, die eine weitere Gefährdung der Umwelt mit sich bringen, z.B.:

Radioaktivität in den Tailings

(U-238 Reihe)



- In der Deponie vorhandene Salze behindern die Entwässerung der Schlämme, die zur Erhöhung der Stabilität der Deponie und zur Senkung des Sickerwasseraustritts notwendig ist. Diese Salze führen andererseits zur Austrocknung angrenzender Bereiche mit niedrigerem Salzgehalt und damit u.a. zur Rißbildung in einer aufgetragenen Abdeckung. In trockenen Bereichen können schadstoffhaltige Salze an die Oberfläche der Deponie wandern, wo sie der Erosion ausgesetzt sind und in die Umwelt verteilt werden.
- Enthalten die Erze das Mineral Pyrit (FeS_2), dann bildet sich in der Deponie unter Zutritt von Niederschlägen und Sauerstoff Schwefelsäure, die zu einer fortwährenden selbsttätigen Auslaugung von Schadstoffen führt.
- Chemische Reaktionen zwischen den Schlämmen und einer evtl. vorhandenen unteren Abdichtung der Deponie können zu einer Beeinträchtigung von deren Dichtwirkung und damit zum verstärkten Austritt von Schadstoffen mit den Sickerwässern ins Grundwasser führen.

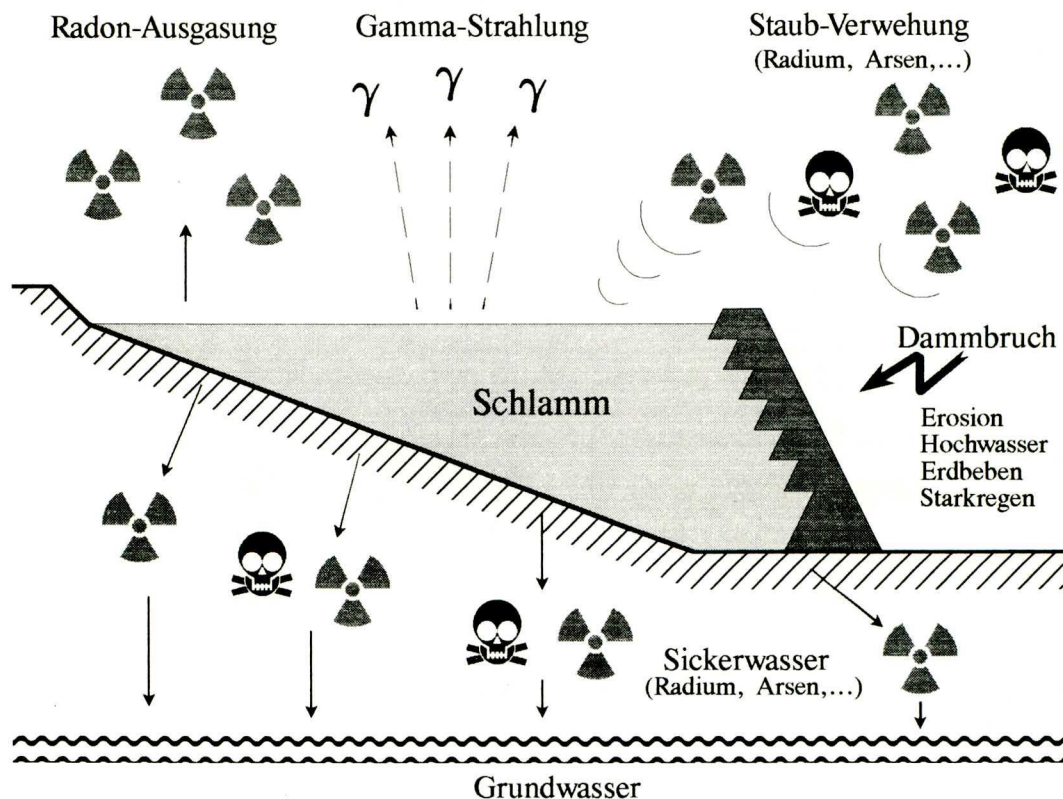
Aufgrund ihrer Beschaffenheit stellen die Aufbereitungsschlämme ein besonders problematisches Gefahrenpotential dar:

Die in der Schlammdeponie enthaltenen Radionuklide senden eine **Gammastrahlung** aus, die an der Oberfläche das 20 - 100-fache der natürlichen Hintergrundstrahlung erreicht. Mit der Entfernung von der Deponie nimmt die Gammastrahlung schnell ab. Sie stellt eine Gefahr nur für unmittelbare Anwohner dar.

Das aus der Schlammdeponie austretende radioaktive Gas **Radon-222** stellt eine der größten der auch nach der Stilllegung noch vom Uranabbau ausgehenden Gefahren dar, da es über lange Zeiträume fortwährend neu produziert wird und beim Menschen Lungenkrebs verursachen kann. Das zusätzliche Lebenszeit-Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken, wurde von der US-Umweltbehörde EPA für die direkten Anwohner einer 80 ha großen offenen Schlammde-

ponie mit 2 Fällen pro Hundert berechnet [EPA1983b].

Gefahrenpotential der Aufbereitungsschlämme



Da das Radon sich mit dem Wind schnell ausbreitet, werden viele Menschen in der Umgebung durch kleine zusätzliche Strahlendosen belastet. Das zusätzliche Risiko ist für den einzelnen zwar klein, wegen der großen Zahl der Betroffenen können die Auswirkungen jedoch insgesamt nicht vernachlässigt werden. EPA hat berechnet, daß die 1983 in den USA vorhandenen Schlammdonien etwa 500 Lungenkrebstote pro Jahrhundert verursachen werden, wenn sie nicht sicher verwahrt werden sollten [EPA1983b].

Schlammdonien sind auf vielfältige Weise der **Erosion** ausgesetzt; wegen der langen Halbwertszeiten muß die Sicherheit der Donien jedoch langfristig gewährleistet bleiben. Bei Niederschlägen kann es zur Bildung von Erosionsrinnen kommen; bei Hochwasser kann die ganze Donie zerstört werden; Pflanzenwurzeln und Tiere können in die Donie eindringen und damit das Material ausbreiten, die Radon-Ausgasung erhöhen, und die Donie anfälliger für witterungsbedingte Erosion machen. Wenn die Oberfläche der Schlammdonie austrocknet, werden die feinen Sande vom Wind über angrenzende Gebiete verweht.

Über den Dörfern in der Nachbarschaft der Wismut-Schlammdonien verdunkelte sich bei aufkommendem Sturm der Himmel vom radioaktiven Staub. Infolgedessen wurden in Staubproben aus diesen Dörfern erhöhte Werte an Radium-226 und Arsen gefunden. Mittlerweile sind die trockengefallenen Spülstrände der Donien abgedeckt worden, so daß dieser Belastungspfad vorerst unterbrochen ist.

Die estnische Schlammdonie Sillamäe ist durch ihre exponierte Lage unmittelbar an der Ostseeküste gefährdet. An einigen Stellen schreitet die Erosion der Küstenlinie in Richtung auf die Donie fort. Im ungünstigsten Fall wird damit gerechnet, daß der gesamte Donie-

inhalt sich in die Ostsee ergießt.

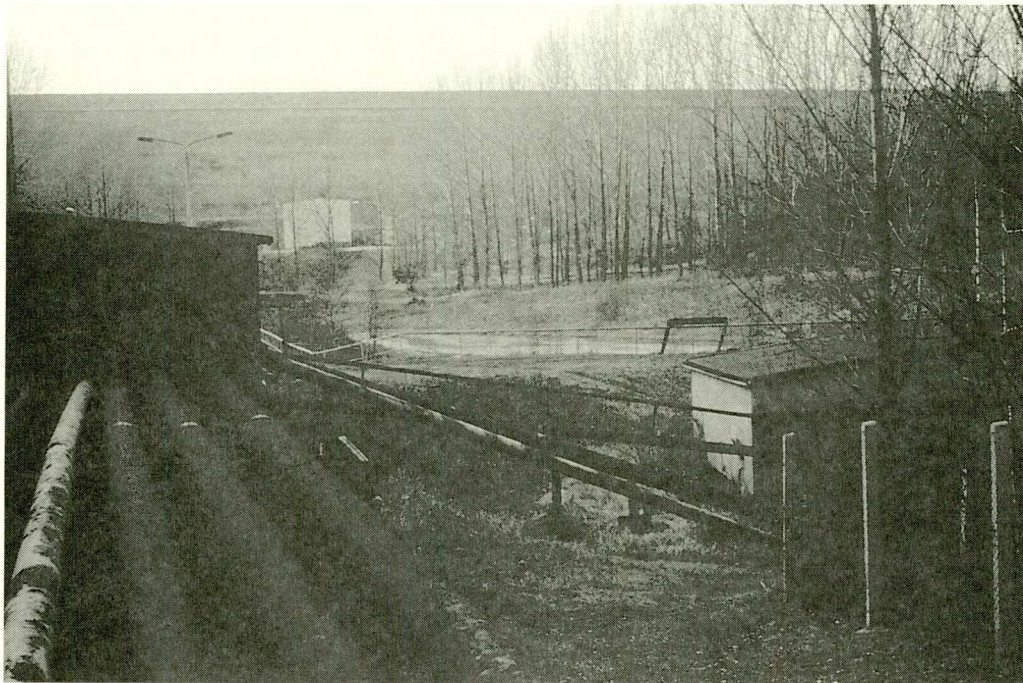


Bild: Hauptdamm der Schlammdeponie Helmsdorf, Oberrothenbach (Sachsen)

Die **Dämme** von Schlammdeponien sind vielfach nicht besonders stabil konstruiert: Meist werden sie nicht als ingenieurmäßige Bauwerke errichtet, sondern durch Aufspülen aus den größeren Bestandteilen des Schlamms; dadurch ist eine Beurteilung der Standsicherheit mit großen Unsicherheiten verbunden. Zudem werden die Dämme mit wachsendem Füllungsgrad nach und nach angeschüttet. Einige Dämme (so auch Culmitzsch und Trünzig in Thüringen) wurden auf geologischen Störungen angelegt und liegen zudem noch nahe beim Zentrum des am stärksten erdbebengefährdeten Gebietes Ostdeutschlands. Bei Erdbeben sind sie daher einer besonderen Gefahr ausgesetzt. Der 1800 m lange und 59 m hohe Hauptdamm der Schlammdeponie Helmsdorf erfüllt nicht einmal die laut DIN geforderte Standsicherheit. Bei einem Dammbruch würden große Teile des Ortes Oberrothenbach in den Schlamm-Fluten versinken.

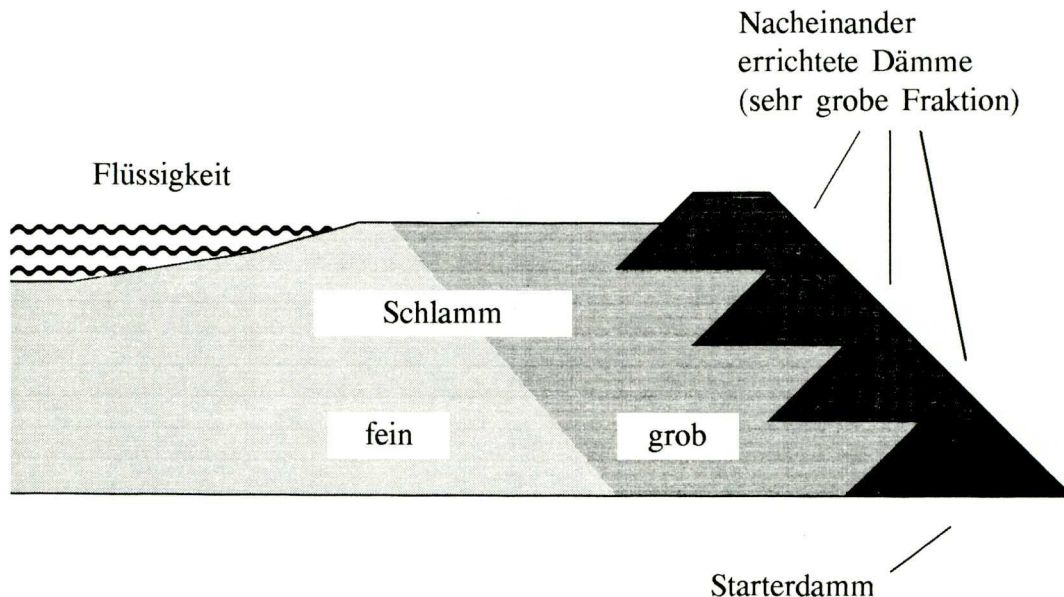
Weiterhin kann es auch durch starke Niederschläge zum Versagen der Dämme kommen, wenn der Wasserspiegel auf den Schlämmen zu stark ansteigt. Im Mai 1994 kam der Wasserspiegel auf der Schlammdeponie Helmsdorf bis auf 6 cm an die zulässige Marke heran. Aus diesem Grund mußte im Frühjahr 1995 auf der Schlammdeponie Helmsdorf ein provisorischer Zusatzdamm errichtet werden, der verhindern soll, daß der Wasserspiegel den Hauptdamm erreicht.

In der Vergangenheit kam es wiederholt zu Dammbrüchen, zum Beispiel:

- 1977, Grants, Neu Mexiko, USA: Auslaufen von 50 000 t Schlamm und Geröll sowie etlicher Mio. Liter belasteten Wassers.
- 1979, Church Rock, Neu Mexiko, USA: Auslaufen von über 1000 t Geröll und Schlamm und rund 400 Mio. Liter belasteten Wassers.
- 1984, Key Lake, Saskatchewan, Kanada: Auslaufen von mehr als 100 Mio. Liter kontami-

nierter Flüssigkeit.

Typischer Aufbau eines Tailings-Damms



Aus den USA ist bekannt, daß trockengefallener Schlamm wiederholt zum **Hausbau** oder für **Anschüttungen** verwendet wurde, da er eine feine sandige Beschaffenheit besitzt. In Häusern, die auf oder aus diesem Material gebaut sind, werden hohe Strahlungspegel durch Gammastrahlung und Radon gemessen. Die US-Umweltbehörde EPA hat für die Bewohner solcherart kontaminierter Häuser ein zusätzliches Lebenszeit-Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken, von 4 Fällen pro Hundert berechnet [EPA1983b]. Bisher ist nicht bekannt, daß in den europäischen Uranabbaugebieten systematische Untersuchungen zur Erfassung möglichen Mißbrauchs von kontaminiertem Material durchgeführt würden.

Bei stichprobenartigen Untersuchungen der unabhängigen Strahlen-Meßstelle CRII-RAD in Frankreich wurden z.B. im Kindergarten von Bessines (Haute Vienne) Radon-Werte von bis zu 1200 Bq/m^3 festgestellt [CRII-RAD1994]. Sie werden durch die Verwendung kontaminierten Auffüll-Materials für den Fußboden verursacht. Dieser Wert entspricht etwa dem, der in Bergwerken für berufliche Belastung zulässig ist. Als Radon-Grenzwert in Wohnungen gelten in vielen Ländern Werte um 200 Bq/m^3 .

Aus der Schlammdeponie austretende **Sickerwässer** belasten Grund- und Oberflächenwässer. Die Anwohner werden also durch Radium-226 und andere gefährliche Stoffe wie Arsen in ihrem Trinkwasser und in Fischen gefährdet, die in der Umgebung gefangen werden. Das Sickerwasserproblem wird sehr wichtig bei sauren Schlämmen, da die meisten beteiligten Radionuklide unter sauren Bedingungen beweglicher sind. In Pyrit-haltigen Schlämmen entstehen durch die selbsttätige Schwefelsäure-Produktion automatisch saure Verhältnisse, die die Austragung von Schadstoffen mit den Sickerwässern begünstigen. Bei günstigen geochemischen Bedingungen können die Schadstoffe im natürlichen Untergrund festgehalten werden, oder ihr Transport wird verlangsamt. Vielfach läßt diese Rückhaltungswirkung jedoch mit der Zeit nach. Besteht der Untergrund aus klüftigem Gestein, dann wird die Ausbreitung der

Schadstoffe gar nicht gebremst.

Das Verhalten der Sickerwässer im natürlichen Untergrund hängt von komplizierten hydrogeologischen Bedingungen ab; ihr Verhalten kann nur nach Durchführung aufwendiger Messungen und computergestützter Modellierungen vorhergesagt werden. Neben der Freisetzung von Radon stellt das Versickern von Schadstoffen eine der beiden Hauptgefahren dar, die von den Schlammdeponien aus der Uranerzaufbereitung ausgehen.

Aus der Schlammdeponie Helmsdorf versickern jährlich $600\,000\text{ m}^3$; nur etwa die Hälfte davon wird gefaßt und vorerst (bis zur Inbetriebnahme einer Wasserreinigungsanlage) wieder in die Deponie zurückgepumpt. Das Sickerwasser hat eine hohe Schadstoffbelastung, angegeben als Vielfaches der Trinkwasser-Grenzwerte, z.B.: Sulfat 24x, Arsen 253x, Uran 46x. Die Kontamination tritt zum einen in den umliegenden Bächen aus, die Konzentrationen nehmen mit der Entfernung aber rasch ab. Zum anderen führt das Sickerwasser zur Kontamination des Grundwassers. Die hier gefundenen Werte sind zwar noch nicht so hoch, sie nehmen jedoch mit der Entfernung kaum ab. [Wismut1992c]

Aus der seit 1979 betriebenen Schlammdeponie bei der nordböhmischen Aufbereitungsanlage Stráz pod Ralskem sind bisher insgesamt bis zu 4 Mio. m^3 kontaminierter Lösungen in die Umgebung gesickert. Sie könnten früher oder später auch in den nur 750 m entfernten Fluß Ploucnice oder in denjenigen tieferliegenden Grundwasserleiter gelangen, der die bedeutendste Trinkwasser-Reserve Nordböhmens darstellt. Bei dem 1992 in Betrieb genommenen zweiten Becken der Schlammdeponie wurde eine 0,4 m pro Tag schnelle Strömung kontaminierten Grundwassers von dem Becken weg festgestellt. [Hudecek1993]

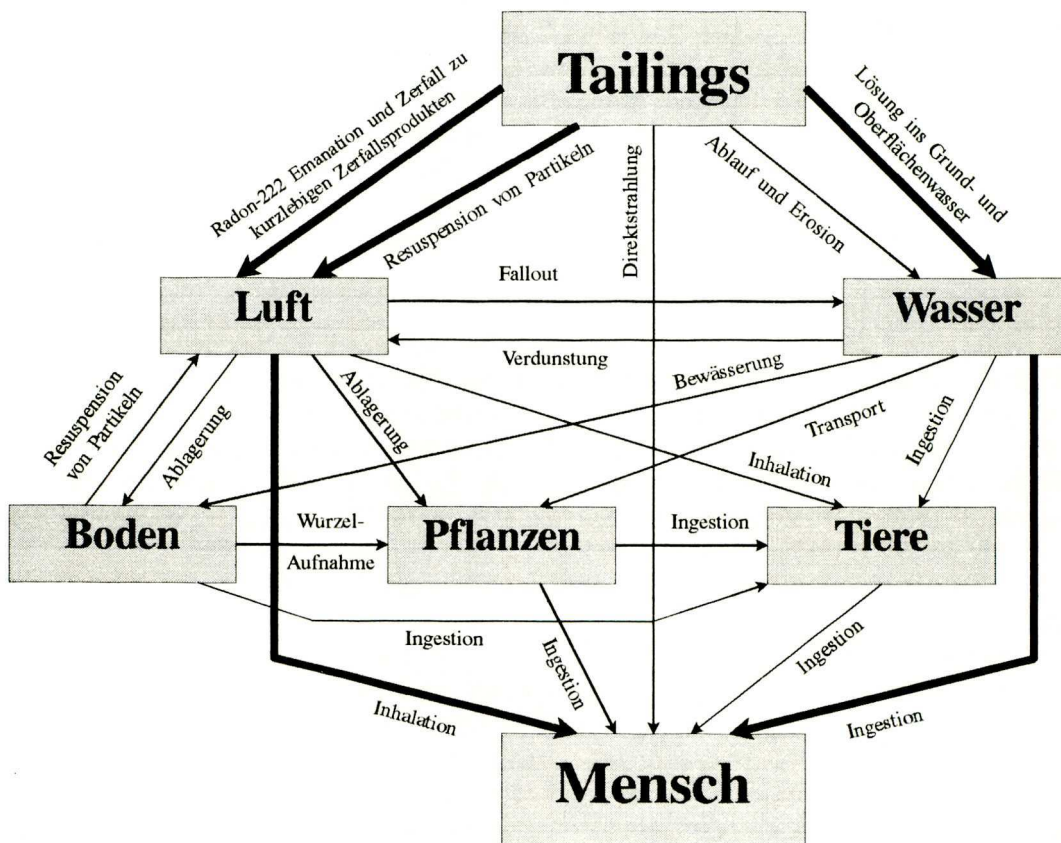
Auch um die Schlammteiche der Uranerz-Aufbereitungsanlage Pécs (Ungarn) ist das Grundwasser durch Sickerwasser kontaminiert. Ca. 1-2 km westlich von den Schlammdeponien wird aus einem Brunnenfeld etwa die Hälfte des Trinkwasserbedarfs der Stadt Pécs gewonnen. Das kontaminierte Grundwasser bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 30-50 m pro Jahr auf die Trinkwasserbrunnen zu. Wegen fehlender finanzieller Mittel kann die weitere Versickerung nicht unterbunden werden, geschweige denn der kontaminierte Grundwasserleiter saniert werden.

In Frankreich wurden in den Sedimenten von Bächen in der Umgebung der Schlammdeponie Bellezane (Haute Vienne) Radium-Werte über 25 Bq/g gefunden; das entspricht etwa dem Radium-Gehalt in den Schlammdeponien selber [CRII-RAD1994].

Der Schlammteich der estnischen Aufbereitungsanlage Sillamäe liegt unmittelbar an der Ostsee-Küste. Im Ostseewasser fand man hier bis zu 230-fach erhöhte Uran-Konzentrationen (max. $190\text{ }\mu\text{g/l}$). Die Kontamination ist bis in eine Entfernung von 300 m von der Küste nachweisbar. [Ehdwall1993], [Putnik1994]

Die aus Schlammdeponien der Uranerzaufbereitung entweichenden Schadstoffe können auf zahlreichen unterschiedlichen Wegen zu Dosis-Belastungen des Menschen führen. Ein Teil der Belastungspfade wirkt direkt auf den Menschen ein, ein anderer über die Nahrungskette. Es hat sich erwiesen, daß im wesentlichen zwei direkte Belastungspfade für die Dosisbelastung des Menschen ausschlaggebend sind: Das Einatmen von ausgasendem Radon und aufgewirbeltem kontaminiertem Staub, sowie das Trinken von Wasser, das durch Sickerwässer kontaminiert ist.

Die wichtigsten Belastungspfade von den Tailings zum Menschen



Nach: National Research Council: Scientific Basis for Risk Assessment and Management of Uranium Mill Tailings, Washington DC, 1986, S.83.

Fremdablagerungen

Der Mangel an Standorten für die Deponierung von Giftmüll oder Atommüll führt zu Bestrebungen, diese Problemabfälle, auf Abraumhalden des Uranbergbaus, in Schlammabsetzanlagen aus der Uranerzaufbereitung oder in ehemaligen Uranbergwerken abzulagern:

- In Thüringen wurde vor der Wende auf der Oberfläche der Schlammabsetzanlage Trünzig A Giftmüll deponiert, dieser sollte später noch mit einer 5 m dicken Lage Hausmüll überdeckt werden, was dann aber aufgrund von Protesten der Anwohner unterblieb.
- Auf einer Schlammdeponie des 1962 stillgelegten Uranerz-Aufbereitungsbetriebs Dresden-Gittersee wurden 1 Mio.m³ Hausmüll und Asche abgelagert.
- Auf einer Abraumhalde des Bergbaubetriebs Ronneburg wurden nach der Wende wassergefährdende Flüssigkeiten deponiert. Diese müssen nun erst mühsam wieder entfernt und gesondert entsorgt werden, damit die Halde saniert werden kann.
- In Sachsen soll in der Schlammdeponie Helmsdorf radioaktiv belasteter Schrott aus dem Abriß der Aufbereitungsanlage Crossen eingelagert werden.
- In Frankreich gibt es Bestrebungen, schwach radioaktive Abfälle aus dem Werk La Rochelle des Rhône-Poulenc-Konzerns auf den Aufbereitungsschlamm des stillgelegten

Uranbergwerks l'Ecarpière (Loire-Atlantique) abzulagern. Dieses Werk gewinnt Elemente der Seltenerd-Gruppe (z.B. Cer) aus Erzen, die aus Australien importiert werden.

Wenn das Mischen von Schlämmen aus der Uranerzaufbereitung mit anderen Abfällen zugelassen wird, wird die Sanierung der Schlammabsetzanlagen jedoch noch schwieriger, wenn nicht gar ganz unmöglich, da eine bestmögliche Methode immer nur für einen bestimmten Schadstoff allein gefunden werden kann.



Bild: Deponie für Flüssigabfälle auf der Absetzerhalde Ronneburg (Thüringen), Mai 1990

- In Frankreich wurden in der Grube des ehemaligen Tagebau-Uranbergwerks Margnac bei Limoges 176 150 angeblich leere radioaktiv kontaminierte Fässer eingelagert.
- In Ungarn wird untersucht, ob unter dem stillzulegenden Uranbergwerk von Pécs in 1000 m Tiefe ein Endlager für hochradioaktive Abfälle eingerichtet werden kann [NF 2.1.95].

Stillgelegte Uranbergwerke haben aber meist sehr ungünstige Eigenschaften für die Rückhaltung von eingelagerten Schadstoffen; am betreffenden Standort müssen detaillierte Untersuchungen von unabhängigen Fachleuten vorgenommen werden, bevor solche Ablagerungen in Betracht gezogen werden können.

- Auf dem Gelände der stillgelegten Uranerz-Aufbereitungsanlage Bessines bei Limoges soll ein Lager für 265 000 t abgereichertes Uran eingerichtet werden, ein Abfallprodukt der Urananreicherung in der EURODIF-Anlage in Tricastin im Rhônetal.

- Während des Betriebes der Uranbergwerke entstehen die größten Belastungen durch den Radon- und Staubauswurf der Grubenlüfter und durch die Grubenabwässer.
- Nach der Stilllegung gehen die größten Gefahren von der Radon-Ausgasung und dem Sickerwasseraustritt der Halden und Schlammdeponien aus.
- In-Situ-Laugung stellt eine massive Gefährdung von Grundwasser-Reserven dar.
- Durch die Verwendung von Haldenmaterial für Bauzwecke wurde die Belastung weiträumig verteilt.
- Haufenlaugungs-Halden, Schlammdeponien aus der Uranerz-Aufbereitung und In-Situ-Laugungs-Anlagen sind die heikelsten Altlasten des Uranabbaus.
- Alle Altlasten des Uranabbau stellen ein ausgesprochenes Langzeitproblem dar.
- Durch Vermischen verschiedenartiger Abfälle wird das Problem zum Teil noch verschärft.

4. KONZEPTE FÜR EINE SANIERUNG

In Anbetracht der Langlebigkeit der beim Uranabbau freigelegten radioaktiven Stoffe und der ungeheueren Mengen der zurückgebliebenen Abfälle ist offensichtlich, daß es eine Sanierung im Sinne einer Beseitigung der Gefahren nicht geben kann. Die Bemühungen können nur dahin gehen, die schädlichen Auswirkungen möglichst gut und für einen möglichst langen Zeitraum zu begrenzen. Da jedoch keine technische Maßnahme während der erforderlichen Zehntausenden von Jahren wirksam sein kann, ist klar, daß auch noch zukünftige Generationen sich mit diesen Hinterlassenschaften werden beschäftigen müssen.

"Sanierung" von Altlasten des Uranabbaus kann nur bedeuten, die Schadstoffe möglichst gut einzuschließen und damit ihre Ausbreitung in die Umwelt zu unterbinden. Verhindert werden muß der Austritt von Radon-Gas und von Gamma-Strahlung, die Verwehung von kontaminiertem Material und der Eintritt von Schadstoffen in Gewässer und Grundwasser.

In der Frühzeit des Uranbergbaus nach dem Zweiten Weltkrieg ließen die Bergbaufirmen oft einfach alles stehen und liegen, wenn ein Erzvorkommen erschöpft war: In den USA wurden vielfach nicht einmal die Betriebsanlagen abgerissen, geschweige denn die Abfälle gesichert; in Kanada wurden die Aufbereitungsschlämme einfach in einen der zahlreichen Seen gekippt.

Die Unhaltbarkeit dieser Situation wurde zuerst vom US-Gesetzgeber erkannt, der 1978 einheitliche gesetzliche Anforderungen für die Sanierung von Schlammdeponien aus der Urangewinnung festlegte [UMTRCA1978]. Auf dieser gesetzlichen Grundlage wurden von den zuständigen Behörden EPA und NRC Verordnungen erlassen [EPA1983a], [EPA1983b] u.a. Sie schreiben nicht nur die zulässige Belastung kontaminierter Böden und die zulässigen Schadstoffabgaben (insbesondere von Radon) vor, sondern legen auch fest, daß diese Werte für einen Zeitraum von 200-1000 Jahren eingehalten werden müssen. Die Verwahrung hat also nicht nur den sicheren Zustand am Ende der Sanierungsphase zu gewährleisten, sondern es wird erstmals eine Langzeitperspektive in solchen Regelungen verankert. Eine weitere Vorgabe ist, daß die sichere Verwahrung ohne menschliche Eingriffe während des vorgesehenen Zeitraums wirksam bleiben muß. Ist die Einhaltung dieser Bedingungen am gegenwärtigen Standort nicht möglich, dann muß die Deponie an einen sicheren Standort umgelagert werden.

In Anbetracht der tatsächlichen Dauer der Gefährdung stellen diese Forderungen natürlich auch nur einen Kompromiß dar, aber sie sind zumindest ein erster Schritt. Die Bestimmungen zum Schutz des Grundwassers existieren bisher nur als Entwürfe; hier werden derzeit noch auf den Einzelfall bezogene Entscheidungen getroffen.

Ausgehend von diesen gesetzlichen Anforderungen wurden in den darauffolgenden Jahren in den USA zahlreiche Methoden entwickelt und erprobt, die den sicheren und wartungsfreien Einschluß der Schadstoffe gewährleisten sollen. Die Sanierung erstreckte sich auch auf die Dekontamination von Häusern, zu deren Bau mißbräuchlich radioaktive Abfallschlämme aus der Uranerz-Aufbereitung verwendet wurden.

In Kanada wird, anders als in den USA, von Fall zu Fall über die Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen entschieden. Gesetzliche Anforderungen für eine Sanierung gibt es dort nicht. Das Atomenergie-Ministerium AEBC hat nur grobe Richtlinien aufgestellt und entscheidet jeweils zusammen mit den Betreibern, welche Maßnahmen als notwendig erachtet werden. So nimmt es nicht wunder, daß die kanadischen Sanierungsmaßnahmen ein viel

geringeres Schutzniveau bieten.

Alternativen für die Verwahrung von Schlammdeponien

Der naheliegende Gedanke, die Schlämme aus der Erzaufbereitung wieder dahin zu bringen, wo man das Erz hergeholt hat, führt in den meisten Fällen zu keiner akzeptablen Lösung. Dem Material wurde nun zwar das Uran entzogen, damit ist es aber nicht ungefährlicher geworden, im Gegenteil: Zum einen ist der größte Teil der Schadstoffe (85 % der Radioaktivität und alle chemischen Schadstoffe) nach wie vor darin enthalten. Weiterhin befindet sich das Material nun aufgrund seines mechanischen und chemischen Zustands in einer Form, in der die Schadstoffe viel mobiler sind und leichter in die Umwelt gelangen können.

Das Verbringen des Schlamms zurück in ein Untertage-Bergwerk verbietet sich daher in den meisten Fällen; dort würde er nach dem Abstellen der Pumpen in direktem Kontakt mit dem Grundwasser stehen. Vielfach sind die alten Stollen auch nur noch in kleinen Teilen zugänglich.

Ähnlich stellt sich die Problematik dar, wenn der Schlamm in eine alte Tagebau-Grube zurückgebracht werden soll. Auch hier steht er entweder direkt mit dem Grundwasser in Verbindung oder kann es durch Versickerung belasten. Nur wenn durch nachgewiesenermaßen dichte geologische oder künstlich aufgebrachte Schichten eine Kontamination des Grundwassers dauerhaft auszuschließen ist, kann diese Art der Ablagerung in Erwägung gezogen werden. Ihr Vorteil ist der verhältnismäßig gute natürliche Erosionsschutz.

In Frankreich wird dagegen in letzter Zeit an einigen Standorten das Konzept verfolgt, die Schlämme in ehemaligen Tagebaugruben *im* Grundwasser zu lagern. Dazu werden die Schlämme mit einer gut durchlässigen Schicht umgeben, in der das Grundwasser frei zirkulieren kann. Da die Schlämme eine geringere Durchlässigkeit haben, soll es kaum zu einem Austausch von Schadstoffen zwischen Schlämmen und Grundwasser kommen. Eine ähnliche Methode wird in Kanada auch für die Deponierung von Uran-Schlämmen in Seen erprobt (pervious surround disposal).

In den meisten Fällen wird man die Schlämme mangels anderer Möglichkeiten oberirdisch lagern müssen. Hier lassen sich die Schutz-Erfordernisse durch geeignete Maßnahmen am ehesten kontrolliert realisieren; allerdings muß man zusätzliche Maßnahmen gegen Erosion vorsehen.

In jedem Fall muß der Standort von seiner Geologie und Hydrologie her für eine Deponierung infrage kommen: Er darf nicht auf einer geologischen Störung liegen, darf nicht durch Erdbeben gefährdet werden, es sollten möglichst undurchlässige natürliche Schichten vorhanden sein, er sollte nicht im Hochwasserbereich von Flüssen liegen, der Grundwasserspiegel sollte möglichst tief liegen, durch möglicherweise austretende Sickerwässer darf das Grundwasser nicht gefährdet werden, der Standort sollte nicht zu weit von Vorkommen geeigneter Tone für Auskleidungen und Abdeckungen entfernt sein, er sollte möglichst weit entfernt von Siedlungen liegen, usw.

Im Rahmen dieser Untersuchungen sind im Feld Messungen der Grundwasserströme durchzuführen. Mit Isotopenmethoden kann zudem das Alter von Grundwässern festgestellt werden, und damit z.B. die Frage beantwortet werden, ob ein Grundwasserleiter Kontakt zur Oberfläche hat. Erst bei Vorliegen ausreichend detaillierter Meßergebnisse können rechnergestützte dreidimensionale Grundwasser-Modelle erstellt werden. Mit Hilfe dieser Messungen und Modelle lassen sich dann die Auswirkungen angenommener oder tatsächlicher Schadstoffaustritte vorhersagen bzw. verfolgen.

Hat man einen geeigneten Standort gefunden, ist die Deponie mit Abdichtungen und Abdeckungen so anzulegen, daß die Schlämme möglichst gut und dauerhaft von der Umwelt abgeschlossen werden.

Für eine vorübergehende Lagerung der Schlämme eignen sich ausgekleidete Becken; als Abdeckung gegen den Austritt von Radon kann in diesem Fall eine mindestens 1 m hohe

Schicht Wasser dienen.

Verwahrung von bestehenden Schlammdeponien

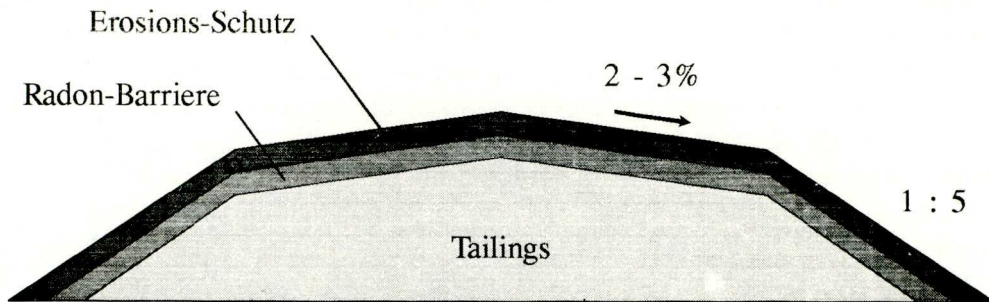
Soll eine vorhandene Schlammdeponie entsprechend den Erfordernissen einer sicheren langfristigen Verwahrung saniert werden, sind zunächst umfangreiche Untersuchungen zur Beurteilung des Standortes und des derzeitigen Zustandes nötig. Wenn von der Deponie eine unmittelbare Gefahr ausgeht, können parallel vorübergehende Schutzmaßnahmen (wie Abdeckung gegen Staubbildung, Fassung von Sickerwässern) durchgeführt werden, allerdings nur so, daß sie die langfristige Sanierung später nicht behindern.

Zunächst muß festgestellt werden, ob die Deponie überhaupt an Ort und Stelle saniert werden kann. Dazu sind detaillierte hydrogeologische Untersuchungen erforderlich. Unter Umständen kann es erforderlich werden, das ganze Material vorübergehend auszulagern, um nachträglich eine Abdichtung nach unten anbringen zu können. Dies war z.B. bei der Schlammdeponie in Canonsburg (Pennsylvania, USA) der Fall. In ganz schwierigen Fällen kann auch die dauernde Umlagerung an einen günstigeren Standort erforderlich werden. In den USA entschied man sich an drei Standorten für diese Variante: Grand Junction und Durango (Colorado) sowie Salt Lake City (Utah): Hier lagen die Schlämme an hochwassergefährdeten Plätzen mitten in dicht besiedelten Gebieten.

Für eine Langzeitverwahrung sind dann die folgenden Maßnahmen nötig:

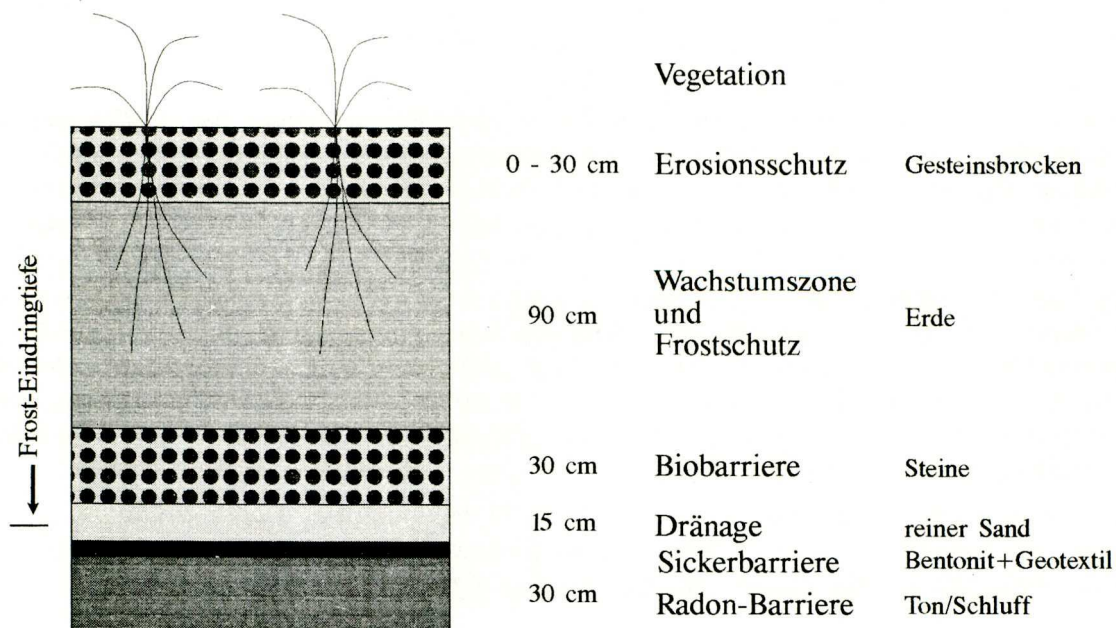
- Um das Eindringen von Grundwasser und das Versickern von kontaminierten Wässern zu verhindern, muß eine untere **Abdichtung** angebracht werden, falls keine natürlichen dichten Schichten vorhanden sind. Dazu sind geeignete Materialien auszuwählen, die auch unter dem Einfluß der Schlämme ihre Dichtwirkung langfristig beibehalten. Möglicherweise muß die Auskleidung aus mehreren Lagen bestehen, um diese Eigenschaft zu gewährleisten.
- Zum Erhöhen der mechanischen **Stabilität** dienen die folgenden Maßnahmen: Entwässern der Schlämme, Abflachen der Böschungen, Anbringen eines Erosionsschutzes.
- Nach oben ist eine geeignete **Abdeckung** aufzubringen, als Schutz gegen Austritt von Gammastrahlung und Radon, gegen Einsickern von Niederschlägen, gegen das Eindringen von Pflanzen und Tieren, und als Schutz gegen Verwehung und Erosion. Diese Abdeckung wird in der Regel aus mehreren unterschiedlichen Lagen bestehen, um allen Erfordernissen gerecht zu werden. Bei geeignet ausgelegter Abdeckung kann unter Umständen auch die untere Abdichtung entfallen.
- Solange die Maßnahmen zur Abdichtung und Abdeckung noch nicht greifen, ist eine Fassung, Sammlung und Behandlung aller **Sickerwässer** nötig, damit nur noch gereinigte Wasser in die Gewässer abgegeben werden. Auf lange Sicht soll gemäß dem in den USA verfolgten Konzept durch die Maßnahmen zur Abdichtung und Abdeckung erreicht werden, daß nur noch unbedeutende Mengen Sickerwasser austreten und die Deponie allein durch passive Maßnahmen sicher bleibt.
- Schließlich ist auch festzustellen, inwieweit in der Umgebung der Deponie kontaminiertes Material mißbräuchlich oder aus Unwissen zu **Bauzwecken** oder für Anschüttungen verwendet wurde; die kontaminierten Anwesen sind in die Sanierung einzubeziehen.

Verwahrung von Tailings-Deponien



Nach: Technical Approach Document, U.S. DOE Albuquerque Operations Office, 1989

Aufbau der Abdeckung für Tailings-Deponien



Nach: Technical Approach Document, U.S. DOE Albuquerque Operations Office, 1989

Sanierung nach In-Situ-Laugung

Nach Beendigung der In-Situ-Laugung müssen die Abfallschlämme endgelagert werden und muß der Grundwasserleiter, in dem die Laugung stattfand, saniert werden. Die Grundwasser-sanierung ist ein äußerst langwieriger und aufwendiger Prozeß, der noch nicht voll beherrscht wird. Bisher ist es nicht möglich, alle Schadstoffwerte auf die natürlichen Werte zurückzuführen.

Die besten Erfolge wurden bisher mit der folgenden aus mehreren Schritten bestehenden Methode erzielt [Schmidt1989], [Catchpole1993b]:

- 1.Phase: Abpumpen von kontaminiertem Wasser: Die Injektion von Lösungsflüssigkeit wird eingestellt und nur noch die vorhandene Flüssigkeit aus der Laugungszone abgepumpt. In der Folge fließt sauberes Grundwasser von außen in die Laugungszone nach.
- 2.Phase: wie 1., aber Reinigung der abgepumpten Flüssigkeit (mit Umkehrosmose) und erneute Injektion in die frühere Laugungszone. Es entsteht somit ein Flüssigkeits-Kreislauf.
- 3.Phase: wie 2., aber Zugabe einer reduzierenden Chemikalie (z.B. Schwefelwasserstoff oder Natriumsulfid). Damit werden wichtige Schadstoffe ausgefällt und können sich nicht mehr mit dem Grundwasser bewegen.
- 4.Phase: Umwälzen der Flüssigkeit durch Abpumpen und erneute Injektion, um eine Vergleichmäßigung der Bedingungen in der früheren Laugungszone zu erreichen.

Aber auch mit dieser Methode sind nicht alle Probleme gelöst:

- Schadstoffe wie Radium, die im reduzierenden Milieu beweglich bleiben, können nicht beherrscht werden,
- kommt es später aus irgendwelchen Gründen zu einer Störung des reduzierenden Milieus, werden die ausgefällten Schadstoffe wieder mobil,
- die Sanierung dauert sehr lange,
- nicht alle Parameter können ausreichend abgesenkt werden.

Da in der westlichen Welt praktisch nur alkalische In-Situ-Laugung betrieben wurde, beziehen sich auch die meisten publizierten Sanierungsversuche auf diese Methode. Daher gibt es kaum Erfahrungen mit der Grundwassersanierung nach der Anwendung der in Mittel- und Osteuropa meist praktizierten sauren In-Situ-Laugung. Die einzige In-Situ-Laugungs-Anlage, die bisher nach "Laugung" mit Schwefelsäure saniert wurde, ist die kleine Versuchsanlage Nine Mile Lake bei Casper/Wyoming in den USA. Die Ergebnisse können daher nicht ohne weiteres auf Anlagen im Produktionsmaßstab übertragen werden. Hier wurden die ersten beiden oben angeführten Phasen benutzt. Es zeigte sich, daß mehr als das 20-fache des in den Gesteinsporen der Laugungszone enthaltenen Wasservolumens abgepumpt werden mußte, und dennoch verschiedene Parameter den ursprünglichen Zustand nicht erreichten. Zudem dauerte die Sanierungsphase etwa solange wie die vorangegangene Laugungsphase [Nigbor1982].

- Eine "Sanierung" im Sinne von Beseitigung der Gefahren kann es für Altlasten des Uranabbaus nicht geben.
- Für die Schlammdeponien aus der Uranerzaufbereitung wurden Konzepte für eine vergleichsweise sichere Langzeitverwahrung entwickelt und erprobt.
- Für die durch In-Situ-Laugung gestörten Grundwasserleiter gibt es noch keine überzeugende Sanierungsmethode.

5. SANIERUNGSVORHABEN

Sanierungsstandards

Zur Sanierung von Altlasten des Uranbergbaus gibt es in europäischen Ländern bisher keine speziellen gesetzlichen Regelungen. Die von Umweltschützern für Deutschland geforderte Verabschiedung eines Sanierungsgesetzes und die Übernahme der US-Regelungen werden von der Bundesregierung abgelehnt [BT1992a], [BT1993a]. Parlamentarische Vorstöße von Bündnis'90/Grüne [BT1992b] und SPD-Fraktion [BT1994] wurden von der Koalitions-Mehrheit zurückgewiesen. Die Bundesregierung favorisiert die kanadische Herangehensweise der Standort-spezifischen Entscheidungen und hat sich auch bei der internationalen Atomenergie-Behörde IAEA gegen eine weltweite Übernahme der US-Regelungen verwendet [BT1993b].

Dementsprechend fehlt auch ein einheitliches Konzept für die in Ostdeutschland anstehenden Sanierungsmaßnahmen. Es wurde mit den Maßnahmen begonnen, ohne daß eine ausreichende Analyse der Gegebenheiten und von Alternativen stattgefunden hätte. Selbst für die Erfassung des Gefahrenpotentials an den einzelnen Standorten gibt es keine einheitliche Vorgehensweise; nur die Gamma-Strahlungsbelastung wird flächendeckend aufgenommen.

Laut Einigungsvertrag gilt im ostdeutschen Uranbergbauggebiet nicht die Strahlenschutzverordnung, sondern das DDR-Strahlenschutzrecht gilt weiter. Damit ist für die Bevölkerung eine Strahlendosis von 1 mSv (100 mrem) pro Jahr zulässig, statt 0,6 mSv (jeweils 0,3 mSv für die Belastung auf dem Wasser- und dem Luftpfad), wie in der Strahlenschutzverordnung geregelt. Außerdem erlauben die anderen Rechenregeln des DDR-Strahlenschutzrechts viel höhere Aktivitätsaufnahmen zur Erlangung der gleichen Dosis [Küppers1991]. Die jährlich zulässige Strahlendosis von 1 mSv bedeutet, daß eine Krebserkrankung bei einem von 286 Betroffenen hingenommen wird.

Gegen diese Bestimmung des Einigungsvertrages ist eine Verfassungsbeschwerde verschiedener betroffener Einzelpersonen und Gemeinden anhängig. Die Beschwerde wurde vom Bundesverfassungsgericht zur Entscheidung angenommen, eine Entscheidung steht aber noch aus.

Für die Wiederverwendung kontaminierter Materialien und Flächen hat die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) verschiedene Empfehlungen erarbeitet [BMU1993]. Sie basieren im Prinzip auf einer für die Bevölkerung zulässigen Jahresdosis von 1 mSv. In diesem Wert sind jedoch noch nicht enthalten die Werte für die Belastung durch Trinkwasser (weitere 0,5 mSv) [SSK1993t] und für Radon in Wohnungen. Zudem legt die SSK für die Berechnung der Dosisbelastung aufgrund der Aufnahme von Radionukliden mit Nahrung und Wasser andere Rechenregeln als nach westdeutschem Strahlenschutzrecht zugrunde; dadurch ist eine höhere Aufnahme von Radionukliden zulässig, bis der Grenzwert erreicht wird [Küppers1994]. Für die problematischsten Bereiche, die Verwahrung der Schlammdeponien und der In-Situ-Laugungs-Anlagen, gibt es keine Empfehlungen.

Sanierungskosten

Legt man die von der Bundesregierung veranschlagten Gesamtkosten für die Wismut-Sanierung von 13 Mrd. auf das produzierte Uran um, so erhält man Sanierungskosten in Höhe von 60 DM pro erzeugten Kilos Uran. Wegen der darin nicht enthaltenen Sanierungskosten für die Alt-Standorte (die bis 1962 an die Gemeinden zurückgegeben wurden) dürfte dieser Betrag sogar noch um einiges zu niedrig veranschlagt sein. Immerhin ist dieser Betrag jedoch allein schon höher als der derzeit auf dem Weltmarkt zu erzielende Verkaufspreis für Uran

(40 DM pro kg und weniger). Andererseits ist noch gar nicht absehbar, ob die Sanierung überhaupt so, wie von der Wismut beabsichtigt, durchgeführt werden kann. Unter Umständen erfordert der Grundwasserschutz wesentlich aufwendigere Maßnahmen.

Bergwerke

Schon bald nach der Beendigung des Uranabbaus hat die Wismut mit der Flutung der tiefsten Schächte begonnen. Vor dem Fluten werden wassergefährdende Flüssigkeiten entfernt; kontaminiertes Gerät verbleibt jedoch unter Tage. Die Flutung hat zur Folge, daß kontaminiertes Material mit dem Grundwasser in Kontakt kommt. Durch die Anwesenheit von Sauerstoff und Wasser finden chemische Prozesse statt, die zur Lösung und Mobilisierung von Schadstoffen führen. Zur Unterbindung einer beliebigen Zirkulation des Wassers in den Grubenhohlräumen werden zwar an einigen Stellen Sperren errichtet, ein systematischer Versatz unterbleibt jedoch. Eine Wiederherstellung der ursprünglichen Grundwasser-Fließverhältnisse ist aufgrund der weitverzweigten Schachtanlagen nicht möglich. Nach Abschluß der Flutung kann sich ein geochemisches Gleichgewicht einstellen und die Mobilität der Schadstoffe wieder zurückgehen. Es dauert jedoch möglicherweise Jahrzehnte, bis dieser Zustand erreicht ist. Bis dahin muß der Austritt kontaminierter Wässer verhindert bzw. deren Reinigung sichergestellt werden.



*Bild: ehemaliger Tagebau Lichtenberg, Ronneburg (Thüringen), Juni 1992.
Die in den Tagebau führende Rampe wurde aus Material der Gessenhalde
angeschüttet.*

Halden

Das Sanierungskonzept der Wismut sieht vor, daß ein Teil der Halden in das Tagebau-Restloch Lichtenberg verkippt wird und die übrigen abgedeckt werden. Nach der Wende hatte sie bereits damit begonnen, Teile der besonders problematischen 7 Mio.t großen Gessental-Lau-

gungshalde in das Tagebau-Restloch zu kippen. Wegen des hohen Schadstoffpotentials dieser Halde, ihres hohen Pyrit-Gehalts und ihrer jahrzehntelangen Laugung mit Schwefelsäure ist nach der Flutung des Tagebaus mit einer langandauernden Grundwasserkontamination zu rechnen.

Die nach der Wende noch auf der Ronneburger Absetzerhalde deponierten Flüssigabfälle müssen zunächst getrennt entsorgt werden, bevor mit der Verwahrung dieser Halde begonnen werden kann. Dazu möchte die Wismut eine spezielle Sondermülldeponie auf ihrem Gelände einrichten. Für die Einlagerung von Teilen der Absetzerhalde in das Tagebaurestloch hat die Wismut aber im März 1995 schon die Genehmigung erhalten.

Aufbereitungsanlagen

Die Wismut beabsichtigt, Anlagenteile, deren Strahlung einen gewissen Grenzwert nicht überschreitet, für die Wiederverwendung bzw. zum Einschmelzen freizugeben. Höher kontaminierte Teile sollen in die bestehenden Schlammdeponien verbracht werden.

Durch die Mischung der Schlämme mit dem Stahlschrott könnte es in den Absetzanlagen jedoch zur Bildung von Gasen kommen, die eine sichere Verwahrung der Schlämme unmöglich machen.

Schlammdeponien

Als eine erste Sofortmaßnahme hat Wismut die trockengefallenen Bereiche der Schlammdeponien mit Erde abgedeckt, um die Verwehung des Materials zu unterbinden. Da aber der Untergrund der Schlammdeponien noch nicht eingehend untersucht wurde, ist nicht bekannt, ob die Schlämme überhaupt an Ort und Stelle verbleiben können. Falls sie wegen Kontakt zum Grundwasser zeitweise (zur Anbringung einer unteren Abdichtung) oder dauerhaft umgelagert werden müssen, muß diese Abdeckschicht dann erst wieder entfernt werden.

Auf der Schlammdeponie Helmsdorf werden Versuche zur Entwässerung der Schlämme durchgeführt. Dort ist außerdem eine Abwasser-Reinigungsanlage im Bau, die es erlauben wird, das auf den Schlämmen überstehende stark kontaminierte Wasser sowie die gefaßten Sickerwässer zu reinigen und abzuleiten.

Die Schlammdeponie bei der Aufbereitungsanlage Ellweiler in Rheinland-Pfalz wurde nach der Schließung der Anlage vom Land mit einem Aufwand von 6,9 Mio.DM gesichert. Da das verwendete Konzept völlig unzureichend war, traten schon im Januar 1991, wenige Monate nach Abschluß der Arbeiten, Schäden an der Abdeckung auf. Auch im Januar 1995 rutschte nach Regenfällen wieder ein Teil der Abdeckung ab. Es ist offensichtlich, daß der jetzige Zustand den Anforderungen an eine Langzeitverwahrung nicht genügt und ein sicherer Einschluß an Ort und Stelle wegen der beengten Platzverhältnisse und des unmittelbar vorbeifließenden Bachs nicht möglich ist. Daher muß ein neues Konzept entwickelt und realisiert werden, das die Umlagerung der Deponie zum Ziel hat.

In Frankreich wurde die Methode des "pervious surround disposal" zur Einlagerung von Schlämmen im Grundwasser erstmals in Le Cellier (Lozère) angewandt. Hier wurden 1,1 Mio.t Aufbereitungsschlämme nach der Stilllegung des Bergwerks im Jahre 1987 zurück in die 105 m tiefe Tagebau-Grube gebracht. Die Grube liegt in Granit-Gestein. Die Schlämme wurden in neutralisierter Form und mit dem verhältnismäßig geringen Wassergehalt von 10 % eingelagert. Vor der Einlagerung wurden Boden und Wände der Grube mit einer Dränageschicht aus unbelastetem Abraum-Material ausgekleidet. Aus dem gleichen Material wurden auch immer wieder Dränageschichten zwischen dem eingelagerten Material eingefügt. Während der Einlagerung wurden vom tiefsten Punkt der Grube Sickerwässer abgepumpt, auf Dauer soll die Deponie jedoch sich selbst überlassen bleiben. Der Verlauf der Klüfte im Gestein um die Grube ist untersucht worden, um den möglichen Austritt von Sickerwässern überwachen zu können. Bisher sind außerhalb des Grubengeländes keine Grundwasserkontaminationen nachweisbar. Es ist jedoch fraglich, ob das auf Dauer so bleibt. Da

die auf den Schlämmen aufgebrachte Abdeckung nicht dicht ist, kann immer ein Teil der Niederschläge in die Deponie eindringen. Außerdem enthalten die Schlämme das Mineral Pyrit. Es ist also wegen des durch die Niederschläge eingebrachten Sauerstoffs mit fortgesetzter selbsttätiger Säureproduktion in den Schlämmen zu rechnen, die zur Aufhebung der durchgeführten Neutralisierung und zur Mobilisierung von Schadstoffen führt. Des weiteren ist die Funktionsfähigkeit der Dränageschicht auf Dauer fraglich; wenn sie sich im Laufe der Zeit mit feinkörnigem Material zusetzt, kann sie ihrer Aufgabe nicht mehr gerecht werden.

In Spanien wird derzeit eine Schlammdeponie bei Andújar (Andalusien) nach den US-Standards verwahrt, ohne daß diese Standards in Spanien gesetzlich vorgeschrieben wären [Santiago1994]. Dies ist die erste Anwendung der US-Standards in Europa. Zusätzlich wurden Standards für die Grundwasserqualität festgelegt. Die Schlammdeponie war von 1959 bis 1981 in Betrieb, hat ein Volumen von 1 Mio.m³ und bedeckt eine Fläche von 9,4 ha.

In Schweden wird zur Zeit die Langzeitverwahrung für die Schlammdeponie bei Ranstad durchgeführt. Sie hat bei einem Volumen von 1 Mio.m³ einen Inhalt von 1,5 Mio.t und bedeckt eine Fläche von 25 ha. Die Schlämme haben einen außerordentlich hohen Pyrit-Gehalt (FeS₂) von 15 %. Es wurde eine aus mehreren Schichten bestehende Abdeckung aufgebracht, die auch den Luftzutritt zu den Schlämmen verhindern soll. Damit möchte man die wegen des hohen Pyrit-Gehalts gegebene natürliche Säureproduktion in der Deponie und die dadurch bedingte Mobilisierung von Schadstoffen unterbinden. Die austretenden Sickerwässer werden derzeit noch aufgefangen und gereinigt. Seit dem Aufbringen der Abdeckung hat sich die Qualität der Sickerwässer schon verbessert, und man hofft, bald ohne Wasserreinigung und Wartungsmaßnahmen auszukommen. Die Gesamtkosten werden auf 25 Mio.US-Dollar geschätzt. [Sundblad1994], [Linder1993]

In-Situ-Laugung

Besonders problematisch ist die beabsichtigte Flutung des Laugungsbergwerks Königstein: Im Gestein sind noch 1,8 Mio.m³ der hochbelasteten Lösungsflüssigkeit vorhanden. Es gibt noch keine im Großmaßstab erprobten Methoden, wie diese wieder aus dem Gestein entfernt und eine fortgesetzte Lösung des Urans und anderer Schadstoffe unterbunden werden kann. Die Auswirkungen sind hier außerordentlich weitreichend, da durch die Urangewinnung ein Grundwasserleiter in Mitleidenschaft gezogen wurde, der für die Trinkwasserversorgung im Raum Dresden benötigt wird.

Wismut beabsichtigt, die noch nicht gelaugten, aber schon zur Laugung vorbereiteten Blöcke ebenfalls wie gewohnt zu laugen, um das im Erz enthaltene Uran zu "entsorgen". Vom Sächsischen Umweltministerium in Auftrag gegebene Gutachten ergaben jedoch, daß die Situation dadurch nur verschlimmert wird, da ein geochemisches Ungleichgewicht erzeugt wird und viele Schadstoffe mobilisiert werden. Daher wurde die Laugung dieser Blöcke untersagt. Gegen diese Entscheidung hat Wismut zunächst geklagt, die Klage später jedoch zurückgezogen.

Nun ist beabsichtigt, das Bergwerk Königstein, das ja ein Untertagebergwerk ist, das in bestimmten Abbaufeldern auf In-Situ-Laugung umgestellt wurde, bis zu einem bestimmten Pegelstand zu fluten, und auf diese Weise die Laugungszone zu durchspülen. Die Flutung soll so lange angehalten bleiben und die Flutungswässer aufgefangen und gereinigt werden, bis sie nur noch unbedenkliche Schadstoffkonzentrationen aufweisen. Es ist jedoch zu befürchten, daß dieser Vorgang Jahrhunderte dauern könnte, da die Laugungszone nun nicht mit Druck durchspült wird, wie das bei der Laugung geschah.

Bei der nordböhmischen In-Situ-Laugungsanlage von Stráz pod Ralskem stellt sich eine noch viel schwierigere Sanierungsaufgabe: Das Ziel, die Schadstoffbelastung in dem Grundwasserleiter, in dem sich die Laugungszone befindet, wieder auf die natürlichen Werte zurückzuführen, wurde als unrealistisch verworfen. Nun hat man sich zunächst das Ziel

gesetzt, alle Schadstoffe wenigstens auf das Hundertfache des Trinkwasser-Grenzwerts zu reduzieren. Modellierungen ergaben, daß aber selbst zum Erreichen dieses eingeschränkten Ziels 168 Jahre lang kontaminiertes Wasser abgepumpt (und zumindest in der ersten Zeit auch gereinigt) werden müßte.

Die Sanierung des ebenfalls beeinträchtigten über der Laugungszone gelegenen Grundwasserleiters, der für die Trinkwasserversorgung benutzt wird, hat dagegen den Trinkwasser-Standard zum Ziel. Da die Schadstoffkonzentrationen hier wesentlich geringer sind, ist das Erreichen des Ziels hier realistischer; die Sanierung ist derzeit auch schon mit einer provisorischen Wasser-Reinigung im Gange. Wenn jedoch keine angemessene Lösung für die Sanierung der Laugungszone gefunden wird, muß damit gerechnet werden, daß weiter hochkontaminierte Flüssigkeit in den zur Trinkwasser-Gewinnung benutzten Grundwasserleiter eindringt.

- In keinem europäischen Land gibt es bisher gesetzliche Regelungen für die anstehende Sanierung der Altlasten des Uranabbaus.
- Die Sanierungskosten für die Uranabbau-Altlasten sind pro Kilogramm erzeugten Urans erheblich höher als der derzeit auf dem Weltmarkt zu erzielende Uranpreis.
- Bei der Wismut werden verschiedene Sanierungsmaßnahmen durchgeführt; eine grundlegende Analyse der Probleme, die Abwägung von Alternativen und ein einheitliches Konzept fehlen jedoch.
- Im westlichen Ausland gibt es positive (Ranstad, Andújar) und fragwürdige (Le Cellier) Beispiele für Sanierungsvorhaben.
- Im östlichen Ausland beginnt man erst, sich mit den Problemen der Uranabbau-Altlasten zu befassen.

6. SANIERUNGSABWICKLUNG

Bevor mit den Arbeiten zur langfristigen Verwahrung der Bergwerke, Halden und Schlammdeponien begonnen werden kann, muß zunächst eine umfassende Erfassung der von ihnen bereits verursachten Umweltbelastungen und ihres zukünftigen Gefahrenpotentials durchgeführt werden.

Parallel dazu müssen die Sanierungsziele festgelegt werden. Da es hier um die körperliche Unversehrtheit der jetzigen Anwohner und zukünftiger Generationen geht, können die grundsätzlichen Anforderungen allein vom Gesetzgeber festgelegt werden, und nicht durch Verordnung oder gar durch einsame Beschlüsse demokratisch nicht legitimierter Kommissionen.

Anhand von gesetzlichen Vorgaben für die Sanierungsziele können dann erst Sanierungskonzepte erstellt werden. Diese müssen unter Beteiligung von Öffentlichkeit, betroffenen Gemeinden, unabhängigen Wissenschaftlern und Umweltorganisationen einer kritischen Abwägung unterzogen werden, bevor die Entscheidung zwischen verschiedenen Varianten getroffen werden und die Maßnahmen umgesetzt werden dürfen.

Während der ersten Untersuchungs- und Planungsphase sollten nur solche Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden, die zur sofortigen Gefahrenabwehr nötig sind, bzw. die langfristige Sanierung nicht behindern. Dazu zählen z.B. die möglichst vollständige Fassung und Reinigung aller Sickerwässer, oder die Erfassung und das Einsammeln von kontaminiertem Material außerhalb der Betriebsgelände.

Öffentlichkeitsbeteiligung

In Deutschland unterliegt die Sanierung der ostdeutschen Uranbergbau-Altlasten nicht dem Atomgesetz. Es gibt daher keine Erörterungstermine, wie sie von atomrechtlichen Verfahren her bekannt sind. Auch die anerkannten Umweltverbände werden anders als bei anderen umweltrelevanten Großprojekten nicht generell in die Planungen einbezogen; bisher wurden sie nur zu Stellungnahmen im Fall des Bergwerks Königstein eingeladen, da hier ein Landschaftsschutzgebiet betroffen ist.

Ein weiteres Problemfeld ist die Zugänglichkeit der über die Altlasten des Uranabbaus gesammelten Umweltdaten. Für die noch in Wismut-Hand befindlichen Standorte werden die Daten von der Wismut selber erhoben, für die Altstandorte vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Die Wismut veröffentlicht für ihren Bereich nur sehr allgemein gehaltene Übersichtsberichte, das BfS hat bisher überhaupt keine Ergebnisse veröffentlicht. In anderen Ländern, wie Polen und Rumänien, unterliegen alle Informationen im Zusammenhang mit dem Uranabbau immer noch der Geheimhaltung.

Sanierungsgesetz

In jedem betroffenen Land müssen die gesetzlichen Grundlagen für eine Sanierung geschaffen werden, da die bisherigen gesetzlichen Regelungen dafür in keinem europäischen Land ausreichen. Dies sollte möglichst in Absprache geschehen, um einheitliche Standards sicherzustellen.

Die Sanierungs-Grundsätze müssen in einem **Gesetz** festgelegt werden:

Sanierungsziele

- Festlegung des zu schützenden Personenkreises (Es genügt nicht, den gesunden Durchschnitts-Erwachsenen zugrunde zu legen, auch Kinder und Kranke sind zu berücksichtigen; weiterhin muß der Schutz zukünftiger Generationen gewährleistet sein),
- Festlegung der hinnehmbaren Zunahme des Erkrankungsrisikos aufgrund der Uranabbau-Altlasten,
- Festlegung des Zeitraums, für den die Verwahrung mindestens wirksam bleiben soll,
- Vorgabe, daß die Verwahrung für diesen Zeitraum ohne aktive Maßnahmen oder Eingriffe sichergestellt werden muß,
- Festlegung eines Zeitrahmens für die Durchführung der Arbeiten.

Entschädigungs-Ansprüche

- für Bergarbeiter, Anwohner, betroffene Gemeinden

Die Einzelheiten können dann in **Ausführungsbestimmungen** geregelt werden:

Standards für die systematische Erfassung der Altlasten

- Art und Umfang der zu erstellenden Kataster, der zu messenden Schadstoffe, der Beobachtungszeiträume, usw.
- qualitätssichernde Maßnahmen für die Erfassung

Regeln für die Einteilung der Altlasten nach Dringlichkeit

- Falls wegen Mittelknappheit die Sanierungsmaßnahmen zeitlich gestreckt werden müssen, ist eine klare Prioritätensetzung nötig.

Dosis-Grenzwerte

- Für die abgeleiteten Dosisgrenzwerte zugrunde zu legende Dosis-Wirkungs-Beziehungen,
- Aus dem zulässigen Erkrankungsrisiko abgeleitete Dosis-Grenzwerte,
- Rechenregeln für die Berechnung der Strahlendosis

Sanierungs-Standards

- Grenzwerte für die fortgesetzte Freisetzung von Schadstoffen (Radon-Ausgasung aus Oberflächen, Abgabe von Schadstoffen mit dem Abwasser, Staub-Abgaben, Gamma-Strahlung,...),
- Grenzwerte für Kontamination (Radon-Werte im Freien und in Häusern, Schadstoffkonzentrationen in Böden und Grundwasser, Oberflächen-Kontamination für uneingeschränkte Wiederverwertung von Schrott und Bauschutt...),
- Festlegung von Maßnahmen, die als geeignet erachtet werden, über den gesetzten Zeitrahmen hinweg die Schadstoffe einzuschließen,
- Festlegung zum angestrebten Stabilitätsgrad gegen seismische Einflüsse, Hochwasser und Erosion,
- Festlegung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung für die Durchführung der Sanierung,
- Festlegung von Maßnahmen zur evtl. nötigen Wartung,
- Festlegung von Maßnahmen zur Langzeitüberwachung und deren Finanzierung

Verwaltungs-Zuständigkeiten und Abläufe

- Festlegung der Zuständigkeiten von Bundes- und Landesbehörden für die Genehmigung der Sanierungsmaßnahmen,
- Festlegung der Genehmigungs-Verfahren,
- Festlegung des Rechtsweges

Öffentlichkeits-Beteiligung

- Ermöglichen freien Zugangs zu allen relevanten Informationen,
- Festlegung der Öffentlichkeitsbeteiligung während der Planungsphase, während der Genehmigungsverfahren (Anhörungen) und bei der Überwachung der Durchführung,
- Bereitstellung von Mitteln, damit betroffene Einzelpersonen, Gemeinden und Verbände Fachleute ihrer Wahl zu Rate ziehen können.

Finanzierung

Die Wismut erhält bisher jährlich 700 - 800 Mio.DM für ihre Sanierungsaufgaben aus dem Bundeshaushalt zugewiesen.

Bisher kommt die Wismut aber nur für die Sanierung der Flächen auf, die auch nach 1962 noch von ihr genutzt wurden. Für die Sanierung von Flächen, die bis 1962 an die Kommunen zurückgegeben wurden, sind die jeweiligen Kommunen zuständig. Diese verfügen aber nicht im Entferntesten über die für eine Sanierung nötigen Mittel. Von der Bundesregierung wurden sie an die Länder verwiesen, die im Rahmen des Umweltschutzsofortprogramms im Programm "Aufschwung Ost" Gelder erhalten haben. Von diesen Mitteln muß jedoch eine Vielzahl anderer Sanierungsaufgaben (z.B. von Chemiebetrieben) finanziert werden.

Daher müßten die Kommunen mit Wismut-Altflächen gesondert entschädigt werden. Diese Auffassung bestätigte auch ein Rechtsgutachten, das vom sächsischen Umweltministerium in Auftrag gegeben wurde: Der Bund und damit die Wismut müßte demnach auch für die Sanierung dieser Altflächen aufkommen. Zur Zeit sucht das Sächsische Umweltministerium eine Gemeinde, die in dieser Angelegenheit einen Musterprozeß gegen den Bund führen könnte.

In vielen Ländern Mittel/Osteuropas ist anders als bei der Wismut mangels finanzieller Mittel an eine Sanierung der Altlasten des Uranbergbaus vorerst nicht zu denken. In einigen Fällen, wie in Tschechien, werden aber schon Vorarbeiten zur Analyse der Probleme und der möglichen Handlungsalternativen durchgeführt. Die Europäische Union ist jetzt offensichtlich bereit, im Rahmen ihres PHARE-Hilfsprogramms für Mittel- und Osteuropa zu einer Lösung der Probleme in diesen Ländern beizutragen [NF 26.9.94]

- Bedingung für eine erfolgreiche Sanierung sind die Aufstellung einheitlicher Kriterien und Anforderungen in einem Gesetz.
- Eine Öffentlichkeitsbeteiligung findet bei der Ausarbeitung von Sanierungsvorhaben bisher praktisch nicht statt; sie ist aber unabdingbar für den Erfolg der Maßnahmen.
- In Deutschland fehlt eine Finanzierung für die Sanierung derjenigen Altlasten, die bis 1962 an die Gemeinden zurückgegeben wurden.
- Bei den östlichen Nachbarn fehlt das Geld für eine Sanierung.

7. LITERATUR

Die Liste enthält auch weiterführende Werke, auf die im Text nicht ausdrücklich verwiesen wird. Literaturstellen über die Geologie von Uranlagerstätten wurden aus Platzgründen nicht aufgenommen.

Allgemein

- [BIUran1991] Bürgerinitiative gegen Uranabbau im Südschwarzwald; Bürgerinitiative Oberrothenbach (Hg.): Tagung der Bürgerinitiativen gegen Uranabbau in Europa, Zwickau (Sachsen) 1.-3.8.1991, Tagungsband, Herrischried 1991, 108 S.
- [BIUran1992] Bürgerinitiative gegen Uranabbau im Südschwarzwald (Hg.): Sanierung von Altlasten des Uranabbaus, Materialsammlung, Herrischried 1992, 152 S.
- [Catchpole1993b] Catchpole, Glenn J.; Kuchelka, Rolf A.: Sanierung von Grundwasserleitern bei Urangruben mit In Situ-Laugung. In: *Erzmetall* 46(1993)11, p.644-651.
- [EPA1983a] U.S. Environmental Protection Agency: 40 CFR Part 192 Standards for Remedial Actions at Inactive Uranium Processing Sites. In: *Federal Register* Vol.48, No.3, Washington, D.C., January 5, 1983, p.590-604.
- [EPA1983b] U.S. Environmental Protection Agency: 40 CFR Part 192 Environmental Standards for Uranium and Thorium Mill Tailings at Licensed Commercial Processing Sites. In: *Federal Register* Vol.48, No.196, Washington D.C., October 7, 1983, p.45926-45947.
- [EPA1987] U.S. Environmental Protection Agency: 40 CFR Part 192 Standards for Remedial Actions at Inactive Uranium Processing Sites; Proposed Rule. In: *Federal Register* Vol.52, No.185, Washington D.C. September 24, 1987, p.36000-36008.
- [Nigbor1982] Nigbor, Michael T.; Engelmann, William H.; Tweeton, Daryl R.: Case History of a Pilot-Scale Acidic In Situ Uranium Leaching Experiment. United States Department of the Interior, Bureau of Mines Report of Investigations RI-8652, Washington D.C., 1982, 81 p.
- [Norman1993] Norman, R.E.: Uranium production in Eastern Europe and its environmental impact: A literature survey.. ORNL/TM-12240, Oak Ridge, Tennessee 1993, 28 p.
- [NRC1980] U.S. Nuclear Regulatory Commission: 10 CFR Part 40 Uranium Mill Tailings Regulations: Ground-Water Protection. In: *Federal Register* Vol.45, Washington D.C., October 3, 1980, p.65521.
- [OECD1988] Uranium Resources, Production and Demand, OECD Nuclear Energy Agency/International Atomic Energy Agency (Ed.), Paris 1988, 194 p.
- [OECD1990] Uranium Resources, Production and Demand 1989, OECD Nuclear Energy Agency/International Atomic Energy Agency (Ed.), Paris 1990, 358 p.
- [OECD1992] Uranium 1991 Resources, Production and Demand, OECD Nuclear Energy Agency/International Atomic Energy Agency (Ed.), Paris 1992, 255 p.
- [OECD1994] Uranium 1993 Resources, Production and Demand, OECD Nuclear Energy Agency/International Atomic Energy Agency (Ed.), Paris 1994, 311 p.
- [Schmidt1989] Schmidt, C.: Groundwater Restoration and Stabilization at the Ruth-IsL Test Site in Wyoming, USA. In: *In Situ Leaching of Uranium - Technical, Environmental and Economic Aspects*, Proceedings of a Technical Committee Meeting, IAEA-TECDOC-492, Wien 1989, p.97-126.
- [UI1994] Update of the Report from the Working Group on Eastern Europe, CIS and China, Issued January 1994, The Uranium Institute (Ed.), London 1994, 27 p.
- [UMTRCA1978] Uranium Mill Tailings Radiation Control Act, Public Law 95-604-Nov.8, 1978.

Deutschland

- > [OECD1992] S.130-145
- > [OECD1994] S.142-149
- [AKURA1993] Strahlenexposition und strahleninduzierte Berufskrankheiten am Beispiel Wismut (2. und erweiterte Ausgabe), Darlegung des Arbeitskreises Uranbergbau und radioaktive Altlasten (AKURA), Berlin, November 1993, 42 p.
- [Beleites1988] Beleites, Michael: Pechblende. Der Uranbergbau in der DDR und seine Folgen. Wittenberg 1988, 64 p.
- [Beleites1991] Beleites, Michael: Untergrund. Ein Konflikt mit der Stasi in der Uran-Provinz. Berlin 1991, 274 p.
- [Beleites1992] Beleites, Michael: Altlast Wismut. Ausnahmezustand, Umweltkatastrophe und das Sanierungsproblem im deutschen Uranbergbau. Frankfurt am Main, 1992, 174 p.
- [BMU1993] Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.): Strahlenschutzgrundsätze für die Verwahrung, Nutzung oder Freigabe von kontaminierten Materialien, Gebäuden, Flächen und Halden aus dem Uranerzbergbau. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 23, Stuttgart 1993, 198 p.
- [BMU1994] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Informationsmaterial zur Sanierung der Altlasten des Uranerzbergbaus, Stand: 15.04.1994. Bonn 1994, 91 p.
- [BT1992a] Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage der Abgeordneten Dr.Klaus-Dieter Feige, Werner Schulz (Berlin) und der Gruppe BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN "Auswirkungen aus dem Uranbergbau und Umgang mit den Altlasten der Wismut in Ostdeutschland" vom 27.Mai 1992, BT-Drs.12/2671; Deutscher Bundestag, Drucksache 12/3309, Bonn 24.9.1992
- [BT1992b] Antrag der Abgeordneten Dr.Klaus-Dieter Feige, Werner Schulz (Berlin) und der Gruppe BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN: Verantwortung für die Hinterlassenschaften aus fünf Jahrzehnten Uranabbau - Vorsorge für Jahrtausende, Deutscher Bundestag, Drucksache 12/3648, Bonn 6.11.1992
- [BT1993a] Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Christoph Matschie u.a. - Drucksache 12/4515: Umweltbelastungen und Gesundheitsrisiken in der Wismut-Region, Deutscher Bundestag, Drucksache 12/4780, Bonn 22.4.1993
- [BT1993b] Antwort des Staatssekretärs Clemens Stroetmann vom 23.2.1993 auf die Frage der Abgeordneten Siegrun Klemmer (SPD), Deutscher Bundestag, Drucksache 12/4344, Nr.116
- [BT1994] Antrag der Abgeordneten Siegrun Klemmer u.a.: Sanierung der radioaktiven Altlasten in den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Thüringen und Brandenburg, Deutscher Bundestag, Drucksache 12/8030, Bonn 21.6.1994
- [Czarwinski1991] Czarwinski, R.; Lehmann, R.: Die Strahlenexposition durch Radon und Radon-Folgeprodukte in Gebäuden der Bergbauggebiete in Sachsen und Thüringen und eine Analyse der Ursachen. In: Jacobs, H.; Bonka, H. (Hg.): *Strahlenschutz und Umwelt*, Band I, Jubiläumstagung, Aachen, 30. September - 3. Oktober 1991, Köln, p.313-323.
- [Diehl1991w] Uranabbau im Westen Deutschlands; in [BIUran1991] S.47-50
- [Hähne1993] Hähne, R.; Altmann, G.: Principles and Results of Twenty Years of Block-Leaching of Uranium Ores by Wismut GmbH, Germany. In: *Uranium In Situ Leaching*, IAEA-TECDOC-720, Wien, 1993, p.43-54
- [HaldenAnO1980] Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei der Verwendung darin abgelagerter Materialien vom 17. November 1980, Gesetzblatt der DDR Teil I, Nr.34, Ausgabetag: 17. Dezember 1980, S.347-350
- [Hanisch1994] Hanisch, Christiane; Lohse, Maritta; Müller, Ansgar; Zerling, Lutz: Spurenelemente in Flußschlämmen der Weißen Elster und ihrer Nebengewässer. In: *Spektrum der Wissenschaft*, Mai 1994, p.98-102
- [Heinemann1992] Heinemann, L. et al.: Gesundheitsrisiken durch Strahlenexposition in den Südbirken der ehemaligen DDR. BMU-1992-354, 1992, 144 p.
- [Heinrich1992] Heinrich, J. et al.: Lungenkrebsrisiko durch Radon in Wohnräumen - eine Fall-Kontroll-Studie in Thüringen und Sachsen. In: *Forum Städte-Hygiene* 43(1992) März/April p. 95-97
- [Jacobi1992] Jacobi, W. et al.: Verursachungs-Wahrscheinlichkeit von Lungenkrebs durch die berufliche Strahlenexposition von Uran-Bergarbeitern der WISMUT AG. Gutachterliche Stellungnahme im Auftrage der Berufsgenossenschaften. Köln, 1992, 58 p.
- [Karlsch1993] Karlsch, Rainer: "Ein Staat im Staate". Der Uranbergbau der Wismut AG in Sachsen und Thüringen. In: *Aus Politik und Zeitgeschichte*, Beilage zur Wochenzeitung Das Parlament, Nr. B 49-50/93, 3. Dezember 1993, p.14-23
- [Keller1991] Keller, G.; Schütz, M.: Untersuchungen in "High Radon Areas" in Deutschland. In: Jacobs, H.; Bonka, H. (Hg.): *Strahlenschutz und Umwelt*, Band I, Jubiläumstagung, Aachen, 30. September - 3. Oktober 1991, Köln, p.324-329.

- [Küppers1991] Küppers,Christian: Vergleich der Strahlenschutzgrenzwerte nach der Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz (DDR-Recht) mit der Strahlenschutzverordnung der BRD, Darmstadt 1991, 15 p.
- [Küppers1994] Küppers,Christian; Schmidt,Gerhard: Strahlenschutzaspekte bei Altlasten des Uranbergbaus in Thüringen und Sachsen, Öko-Institut, Werkstattreihe Nr.86, Darmstadt, 1994, 82 p.
- [Paul1991] Paul, Reimar: Das Wismut-Erbe. Geschichte und Folgen des Uranbergbaus in Thüringen und Sachsen. Göttingen 1991, 191 p.
- [Pfueller1994] Pfueller,B: Die Hinterlassenschaften der Wismut in Sachsen und Thüringen, in: Blick durch Wirtschaft und Umwelt, Sonderausgabe Oktober 1994, Vol.4, p.6-11.
- [Schmidt1994] Schmidt,Gerhard; Küppers,Christian: Stellungnahme zu den Meßergebnissen des Bundesamtes für Strahlenschutz aus Proben im Raum Ronneburg (Stand: 15.11.1994), Öko-Institut, Darmstadt, 1994, 36 p.
- [SSK1993t] Strahlenschutzkriterien für die Nutzung von möglicherweise durch den Uranbergbau beeinflussten Wässern als Trinkwasser - Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Bundesanzeiger Nr.94 vom 22.Mai 1993, p.4680.
- [SSK1994r] Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden. Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 124.Sitzung der Strahlenschutzkommission am 21./22. April 1994
- [Stein1993] Stein,Renate; Krompraß,Reiner; Dagen,Elenor; Hüttig,Wilfried; Bothe,Matthias: Untersuchungen zum Gehalt natürlicher radioaktiver Stoffe in ausgewählten Pflanzen als Voraussetzung für die Bewertung der radiologischen Situation im ostthüringischen Raum. In: Die Altlasten des Uranerzbergbaus und der Uranerzaufbereitung, Veröffentlichungen des Naturkundemuseums Gera, Naturwissenschaftliche Reihe, Heft 20/1993, Gera 1993, p.85-97.
- [StrlSchV1989] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV), 30.6.1989, Bundesgesetzblatt I, S.1321
- [VOAS1984] Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11.Oktober 1984, Gesetzblatt der DDR Teil 1, Nr. 30 vom 21.November 1984, S.341-348
- [VOASDB1984] Durchführungsbestimmung zur Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11.Oktober 1984, Gesetzblatt der DDR Teil 1, Nr.30, Ausgabebag 21.November 1984, S.348-372
- [Wismut1990] SDAG Wismut (Hg.): Seilfahrt - Auf den Spuren des Sächsischen Uranbergbaus, Haltern, 1990, 152 p.
- [Wismut1992a] Sanierungskonzept Sanierungsbetrieb Aue, Stand vom September 1992, Wismut GmbH, Chemnitz 1992, 128 p.
- [Wismut1992c] Sanierungskonzept Sanierungsbetrieb Seelingstädt, Standort Crossen, Stand vom September 1992, Wismut GmbH, Chemnitz 1992, 148 p.
- [Wismut1992g] Sanierungskonzept Sanierungsbetrieb Königstein, Standort Dresden-Gittersee, Stand vom September 1992, Wismut GmbH, Chemnitz 1992, 73 p.
- [Wismut1992k] Sanierungskonzept Sanierungsbetrieb Königstein, Standort Königstein, Stand vom September 1992, Wismut GmbH, Chemnitz 1992, 123 p.
- [Wismut1992r] Sanierungskonzept Sanierungsbetrieb Ronneburg, Stand vom September 1992, Wismut GmbH, Chemnitz 1992
- [Wismut1992s] Sanierungskonzept Sanierungsbetrieb Seelingstädt, Standort Seelingstädt, Stand vom September 1992, Wismut GmbH, Chemnitz 1992
- [Wismut1993s] Ergebnisse der Umweltüberwachung und Sanierungstätigkeit 1992, Sanierungsbetriebe Freistaat Sachsen, Wismut GmbH, Chemnitz 1993
- [Wismut1993t] Ergebnisse der Umweltüberwachung und Sanierungstätigkeit 1992, Sanierungsbetriebe Land Thüringen, Wismut GmbH, Chemnitz 1993
- [Wismut1994a] Ergebnisse der Umweltüberwachung und Sanierungstätigkeit 1993, Sanierungsbetrieb Aue, Wismut GmbH, Chemnitz 1994
- [Wismut1994c] Ergebnisse der Umweltüberwachung und Sanierungstätigkeit 1993, Sanierungsbetrieb Seelingstädt, Betriebsteil Crossen, Wismut GmbH, Chemnitz 1994
- [Wismut1994k] Ergebnisse der Umweltüberwachung und Sanierungstätigkeit 1993, Sanierungsbetrieb Königstein, Wismut GmbH, Chemnitz 1994
- [Wismut1994r] Ergebnisse der Umweltüberwachung und Sanierungstätigkeit 1993, Sanierungsbetrieb Ronneburg, Wismut GmbH, Chemnitz 1994
- [Wismut1994s] Ergebnisse der Umweltüberwachung und Sanierungstätigkeit 1993, Sanierungsbetrieb Seelingstädt, Betriebsteil Seelingstädt, Wismut GmbH, Chemnitz 1994

Tschechien, Slowakei

- > [OECD1994] S.118-131, 223-225
- > [UI1994] S.2
- [Andel1991] Andel,Petr: The Influence of the Uranium Industry on the Environment of the Stráž p.Ralskem-Hamr Region. MEGA - Institute of Research and Development (Ed.), Stráž pod Ralskem 1991, 23 p.
- [Andel1993] Andel,Petr; Pribán,Václav: Environmental restoration of uranium mines and mills in the Czech Republic. Paper presented at the Budapest Workshop, Sept.93. IAEA (Ed.), Wien 1993, 23 p.
- [Andel1994] Andel,Petr; Pribán,Václav: Planning for environmental restoration of contaminated sites of the uranium industry in the Czech Republic. Paper presented at the Piestany Workshop, Apr.94. IAEA (Ed.), Wien 1994, 27 p.
- [Benes1993] Benes,V: In Situ Leaching of Uranium in North Bohemia. In: IAEA (Ed.), Uranium in situ leaching. Proceedings of a Technical Committee Meeting held in Vienna, 5-8 October 1992, IAEA-TECDOC-720, Wien 1993, p.55-63
- [Bossew1990] Bossew,Peter: Radio-Ecological Investigations in the Surroundings of MAPE uranium Ore Processing Plant Near České Budejovice in Southern Bohemia (CSFR). Österreichisches Ökologieinstitut (Ed.), OEI-GAM-24, Wien 1990, 51 p.
- [Bossew1991] Bossew,Peter: Umweltbelastungen durch die Uranerzaufbereitungsanlage MAPE bei Budweis. In: [BIUran1991] p.55-57
- [Chmelevsky1994] Chmelevsky,D; Barclay,D; Kellerer,A M; Tomasek,L; Kunz,E; Placek,V: Probability of causation for lung cancer after exposure to radon progeny: A comparison of models and data. In: Health Physics 67 (1994) 1, p.15-23
- [Fiedler1993] Fiedler,J; Slezák,J: Experience With the Coexistence of Classical Deep Mining And In-Situ Leaching of Uranium in Northern Bohemia. In: IAEA (Ed.), Uranium in situ leaching. Proceedings of a Technical Committee Meeting held in Vienna, 5-8 October 1992, IAEA-TECDOC-720, Wien 1993, p.115-128
- [Hudecek1993] Hudecek,V; Kühn,Petr; Lusk,K: Die Absetzanlage der Uranerz-Aufbereitungsanlage der DIAMO in Stráž pod Ralskem, Tschechische Republik. DIAMO - státní podnik (Hg.), Stráž pod Ralskem 1993, 22 p.
- [Kühn1993] Kühn,Petr: Environmental Aspects of the Operation and Sanation of the ISL Uranium Mining at Stráž pod Ralskem, Czechoslovakia. In: IAEA (Ed.), Uranium in situ leaching. Proceedings of a Technical Committee Meeting held in Vienna, 5-8 October 1992, IAEA-TECDOC-720, Wien 1993, p.181-190
- [Moldan1991] Moldan,Bedrich et al.: Environment of the Czech Republic, Ministry of the Environment of the Czech Republic, Brno 1991, 315 p.
- [Sevc1988] Sevc,Josef; Kunz,Emil; Tomásek,Ladislav; Placek,Václav; Horáček,Jirf: Cancer in man after exposure to Rn daughters. In: Health Physics 54 (1988) 1, p.27-46
- [Sevc1993] Sevc,J; Tomásek,L; Kunz,E; Placek,V; Chmelevsky,D; Barclay,D; Kellerer,A M: A survey of the Czechoslovak follow-up of lung cancer mortality in uranium miners. In: Health Physics 64 (1993) 4, p.355-369
- [Stráský1991] Stráský,Dalibor: Die Uranerzaufbereitungsanlage MAPE (CSFR). In: [BIUran1991] p.53-54
- [Tomásek1993] Tomásek,Ladislav; Darby,Sarah C; Swerdlow,Anthony J; Placek,Václav; Kunz,Emil: Radon exposure and cancers other than lung cancer among uranium miners in West Bohemia. In: The Lancet 341 (1993) April 10, p.919-923
- [Tomásek1994] Tomásek,L; Darby,S C; Fearn,T; Swerdlow,A J; Placek,V; Kunz,E: Patterns of lung cancer mortality among uranium miners in West Bohemia with varying rates of exposure to radon and its progeny. In: Radiation Research 137 (1994), p.251-261
- [USTDA1993] Preliminary Remedial Action Plan for Groundwater Remediation: Stráž pod Ralskem Site, Northern Bohemia, Czech Republic.. U.S. Trade and Development Agency (Ed.), Washington, D.C. 1993, 95 p.

Polen

- [Chruscilewski1994] Chruscilewski,Wojciech: An Environmental Study of Inactive Uranium Mines in Poland. Paper prepared for the Budapest'94 Symposium. Lodz 1994, 5 p.
- [Mazurski1991] Mazurski,Krzysztof R: Das Problem des Uranbergbaus in Polen. In: [BIUran1991] p.58-59

Ungarn

- > [OECD1994] S.153-156
- > [UI1994] S.3

Rumänien

- > [OECD1994] S.207-213
- > [UI1994] S.5
- [Ghilea1994] Ghilea,S; Coroianu,A; Fekete,F: Environmental radioactive contamination caused by uranium ore mining in Romania. In: European Commission (Ed.), Proceedings International Symposium Remediation and Restoration of Radioactive-contaminated Sites in Europe, Antwerp, 11-15 October 1993, Vol.I, Radiation Protection - 74, Luxembourg 1994, p.143-151

- [Râmboiu1993] Râmboiu, S: Indoor radon-222 daughters concentration in the vicinity of an uranium mine. In: Fachverband für Strahlenschutz e.V. (Hg.), Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkungen. Band I. 25. Jahrestagung Binz auf Rügen, 28.-30. September 1993, FS-93-67-T; ISBN 3-8249-0169-2, Köln 1993, p.140-144
- [RSRP1993] Man modified natural radioactivity and risks for the health of the population - Abstracts, Baile Felix (Bihor), Romania, 29 September - 1 October 1993. [in Rumanian and English]. Romanian Society for Radiological Protection (Ed.), Bucharest, Romania 1993, 100 p.

Bulgarien

- > [OECD1994] S.93-98
—> [UI1994] S.1

- [Dimtchev1991] Dimtchev, Todor: Radioaktive Belastung in der Umgebung der Stadt Sofia - im Gebiet der Dürfer Yana, Gorni Bogrov und Dolni Bogrov - als Folge der Anreicherung von Rückständen, die bei der Aufbereitung von Uranerz in der chemischen Fabrik in der Stadt Boukhovo entstehen. In: [BIUran1991] S.66-74
- [Kerbelov1991] Kerbelov, L.; Dayski, K.; Ranguelov, R: Anwendung der Aero-Gamma-Spektrometrie in der Republik Bulgarien zur Überwachung der Umweltkontamination durch die uranerzverarbeitende Industrie. In: [BIUran1991] S.75-77
- [Kuzmanov1993] Kuzmanov, L.; Simov, S D.; Valkov, T.; Vasilev, D: In-Situ Leaching of Uranium in Bulgaria: Geological, Technological and Ecological Considerations. In: IAEA (Ed.), Uranium in situ leaching. Proceedings of a Technical Committee Meeting held in Vienna, 5-8 October 1992, IAEA-TECDOC-720, Wien 1993, p.65-73
- [Pressyanov1991] Pressyanov, D S: Skin dose for workers in uranium milling. In: Radiation Protection Dosimetry 38 (1991) 4, p.315-318
- [Simov1992] Simov, S D.; Bojkov, I B: Case histories and new areas for uranium exploration in Bulgaria. In: IAEA (Ed.), New developments in uranium exploration, resources, production and demand. Proceedings of a Technical Committee Meeting, Vienna, 26-29 August 1991, IAEA-TECDOC-650, Wien 1992, p.81-88
- [Tabakov1993] Tabakov, B: Complete Mining of Uranium Deposits in Bulgaria by In-Situ Leaching Mining Systems Used After Conventional Mining. In: IAEA (Ed.), Uranium in situ leaching. Proceedings of a Technical Committee Meeting held in Vienna, 5-8 October 1992, IAEA-TECDOC-720, Wien 1993, p.105-114
- [Vapirev1994] Vapirev, E I.; Dimitrov, M.; Minev, L.; Boshkova, T.; Pressyanov, D S.; Guelev, M G: Radioactive sites in Bulgaria contaminated with radium and uranium. In: European Commission (Ed.), Proceedings International Symposium Remediation and Restoration of Radioactive-contaminated Sites in Europe, Antwerp, 11-15 October 1993, Vol.II, Radiation Protection - 74, Luxembourg 1994, p.929-954

Ukraine

- > [OECD1994] S.251-257
—> [UI1994] S.6

Rußland

- > [OECD1994] S.213-223

- [Karamushka1993] Karamushka, V P.; Ostroborodov, V V: Rehabilitation of contaminated territories while liquidating enterprises of uranium mining industry of the CIS. In: The American Society of Mechanical Engineers (Ed.), Environmental Remediation and Environmental Management Issues, Proceedings of the 1993 International Conference on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation, Prague, Czech Republic, September 5-11, 1993, Vol.3, New York 1993, p.523-526
- [Laverov1992] Laverov, N P.; Velichkin, V I.; Vetrov, V I.; Krotkov, V V.; Lapin, A L.; Naumov, S S.; Pelminev, M D.; Shumilin, M V: Uranium resources of the Union of Soviet Socialist Republics. In: IAEA (Ed.), New developments in uranium exploration, resources, production and demand. Proceedings of a Technical Committee Meeting, Vienna, 26-29 August 1991, IAEA-TECDOC-650, Wien 1992, p.172-187
- [Skorovarov1989] Skorovarov, J I.; Sadykov, R H.; Nosov, V D: In situ leaching of uranium in the USSR. In: IAEA (Ed.), In Situ Leaching of Uranium: Technical, Environmental and Economic Aspects. Proceedings of a Technical Committee Meeting organized by the IAEA and held in Vienna, 3-6 November 1987, IAEA-TECDOC-492, Wien 1989, p.143-152
- [Skorovarov1993] Skorovarov, J I.; Fazlullin, M I: Underground Leaching of Uranium in the Commonwealth of Independent States. In: IAEA (Ed.), Uranium in situ leaching. Proceedings of a Technical Committee Meeting held in Vienna, 5-8 October 1992, IAEA-TECDOC-720, Wien 1993, p.75-80
- [Soroka1993] Soroka, J.; Molchanov, A: Die langfristige Migration natürlicher Radionuklide in der Abdeckung von Absetzanlagen der Uranerzaufbereitung. In: Fachverband für Strahlenschutz e.V. (Hg.), Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkungen. Band I. 25. Jahrestagung Binz auf Rügen, 28.-30. September 1993, FS-93-67-T; ISBN 3-8249-0169-2, Köln 1993, p.37-41

Frankreich

- > [OECD1994] S.137-142

- [Barbaroux1985] Barbaroux, Lucien: La Radioactivité gamma Naturelle et ses Modifications par L'Activité Minière Uranifère en Bretagne Méridionale et Vendée, France. In: Environmental Pollution Series B - Chemical and Physical 9 (1985) 1, p.41-69
- [Belbéoch1993] Belbéoch, Roger: Les risques de cancer chez les mineurs d'uranium français. Analyse des dernières publications des experts du CEA. In: Gazette Nucléaire (1993) 129/130, p.10-15
- [Bernhard1991] Bernhard, S.; Kraemer, G.; Zettwoog, P: La radioprotection dans les mines et usines de minerai d'uranium françaises. In: Radioprotection 26 (1991) 2, p.329-349
- [Bugarel1991] Bugarel, Jean-Louis: Uranabbau und Widerstand in Frankreich. In: [BIUran1991] S.51-52
- [Bugarel1992] Bugarel, Jean-Louis: 45 000 000 tonnes de déchets radioactifs - Les dépôts de résidus de traitement d'uranium en France. In: Info Uranium, Rodez (1992) 55, p.1-36
- [Chameaud1986] Chameaud, Jean: Le risque radioactif et sa prévention dans les mines d'uranium de Cogéma. In: Industrie minière - Mines et Carrières 68 (1986) Mai, p.295-300
- [COGEMA1991] Dossier d'information. Sites miniers COGEMA et stockages de résidus et stériles, Novembre 1991. Cogéma (Ed.), 1991, 98 p.
- [CRII-RAD1994] Etudes radioécologiques sur la division minière de la Crouzille. Site SIMO de Bessines, Sites de Montmassacrot, Bellezane et Puy-de-l'Age. Synthèse. CRII-RAD (Ed.), Valence 1994, 15 p.
- [Descamps1988] Descamps, B.; Foulquier, L.: Natural radioactivity in the principal constituents of French river ecosystems. In: Radiation Protection Dosimetry 24 (1988) 1/4, p.143-147
- [Desgraupes1991] Desgraupes, Pierre; Barthelemy, François; Jammot, Henri; Meyniel, Gaston; de Torquat, Christian: Rapport à Monsieur le Ministre de l'Environnement, Monsieur le Ministre délégué à l'Industrie et au Commerce Extérieur, Monsieur le Ministre délégué à la Santé. Commission d'Examen des Dépôts de Matières radioactives (Ed.), 1991
- [Donnadieu1992] Donnadieu, Jean-Pierre; Pfiffelmann, Jean-Paul: Réaménagement des sites miniers de la Compagnie Française de Mokta en Lozère Filiale du Groupe Cogéma. Cogéma (Ed.), Vélizy-Villacoublay 1992, 17 p.
- [Pradel1984] Pradel, J.; Zettwoog, P: Hier et maintenant: la radioprotection dans les mines d'uranium / Yesterday and today: health physics in uranium mines [in French and English]. In: Revue Générale Nucléaire (1984) 1, p.38-57
- [Quarch1993] Quarch, H.; Kuhlmann, J.; Daroussin, J L.; Poyser, R W: International Developments in Uranium Mining and Mill Site Remediation. In: The American Society of Mechanical Engineers (Ed.), Environmental Remediation and Environmental Management Issues, Proceedings of the 1993 International Conference on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation, Prague, Czech Republic, September 5-11, 1993, Vol.3, New York 1993, p.461-471
- [Tirmarche1993] Tirmarche, M.; Raphalen, A.; Allin, F.; Chameaud, J.; Bredon, P: Mortality of a cohort of French uranium miners exposed to relatively low radon concentrations. In: Br. J. Cancer 67 (1993), p.1090-1097

Spanien

- > [OECD1994] S.238-241

- [Caldwell1990] Caldwell, Jack A.; Santiago, Juan L.: Advances in Uranium Mill Tailings Closure: USA and Spanish Practice. In: International Society for Environmental Protection (Ed.), Proceedings of the 1990 ENVIROTECH Symposium, Vienna, Austria, September 20-25, 1990, Wien 1990, p.255-264
- [Carboneras1993] Carboneras, P.; Sanchez, M: Design criteria applicable to the environmental restoration of sites affected by uranium mining activities in the past. In: The American Society of Mechanical Engineers (Ed.), Environmental Remediation and Environmental Management Issues, Proceedings of the 1993 International Conference on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation, Prague, Czech Republic, September 5-11, 1993, Vol.3, New York 1993, p.343-347
- [Fuente1993] de la Fuente Martín, Pablo; Juan, Antonio Jiménez; Santiago, Juan Luis: Geotechnical Design of a stabilized Uranium Mill Tailings Pile in Spain (FUA). In: Felsbau 11 (1993) 3, p.141-147
- [Santiago1993] Santiago, J L.; Sanchez, M: Decommissioning and waste disposal methods for an uranium mill facility in Spain. In: The American Society of Mechanical Engineers (Ed.), Environmental Remediation and Environmental Management Issues, Proceedings of the 1993 International Conference on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation, Prague, Czech Republic, September 5-11, 1993, Vol.3, New York 1993, p.193-197
- [Santiago1994] Santiago, J L: Remediation of inactive uranium mining and milling sites in Spain. In: European Commission (Ed.), Proceedings International Symposium Remediation and Restoration of Radioactive-contaminated Sites in Europe, Antwerp, 11-15 October 1993, Vol.II, Radiation Protection - 74, Luxembourg 1994, p.541-561
- [Santos1992] Santos, Antonio; Martinez, José M.; Santiago, Juan Luis: Determination of geotechnical properties of uranium tailings. In: Amer Soc Civil Engineers (Ed.), Proceedings Con-

ference on Stability and Performance of Slopes and Embankments - II, 1992, Vol.31, New York 1992, p. 175-191

Portugal

—> [OECD1994] S.202-206

Slowenien

—> [OECD1994] S.225-229

[Peter1994] Peter, Josef: Umwelteinflüsse eines Uranbergwerks, Radon-Monitoring. Abschlußbericht zu den Radon-Messungen in der Gegend um das Uranbergwerk "Zirovski vrh" in Slowenien. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hg.), München 1994, 80 S.

Estland

[Ehdwall1993] Ehdwall, Hans; Sundblad, Björn; Nosov, Vladimir; Putnik, Henno; Mustonen, Raimo; Salonen, Laina; Illus, Erkki; Qvale, Henning: Studies on the Waste Depository of the Sillamäe Plant. State of the art report from the project group. Swedish Radiation Protection Institute (Ed.), SSI-rapport 93-06, Stockholm 1993, 10 p.

[Putnik1994] Putnik, H; Ehdwall, H; Mustonen, R; Qvale, H; Nosov, V; Salonen, L; Sundblad, B: The uranium waste depository at Sillamäe in Estonia. In: European Commission (Ed.), Proceedings International Symposium Remediation and Restoration of Radioactive-contaminated Sites in Europe, Antwerp, 11-15 October 1993, Vol.I, Radiation Protection - 74, Luxembourg 1994, p.131-141

Schweden

—> [OECD1994] S.241-243

[Linder1993] Linder, P; Sundblad, B: Remediation of the Closed-Down Uranium Mine in Sweden. In: The American Society of Mechanical Engineers (Ed.), Environmental Remediation and Environmental Management Issues, Proceedings of the 1993 International Conference on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation, Prague, Czech Republic, September 5-11, 1993, Vol.3, New York 1993, p.489-499

[Sundblad1994] Sundblad, B; Stiglund, Y: The Restoration of the Uranium Mine of Ranstad, Sweden. Environmental impact, predictions and monitoring. In: European Commission (Ed.), Proceedings International Symposium Remediation and Restoration of Radioactive-contaminated Sites in Europe, Antwerp, 11-15 October 1993, Vol.II, Radiation Protection - 74, Luxembourg 1994, p.563-578

Großbritannien

—> [OECD1990] S.287-293

[Davies1984] Davies, Peter Maxwell: The Yellow Cake Revue, London 1984

Zeitschriften

NF - Nuclear Fuel, New York

8. ORTSVERZEICHNIS

Andújar..... 49
Aue..... 7,21,24
Avram Iancu..... 12,17
Baden-Baden..... 8
Baita-Bihor..... 12
Bellezane..... 29,37
Bessines..... 29,36,39
Botusana..... 12
Bukhovo..... 12,30
Canonsburg..... 43
Casper..... 45
Church Rock..... 35
Crossen..... 8,24,29,38
Crucea..... 12
Culmitzsch..... 7,30,31,35
Dneprodzerzinsk..... 13
Dobrei Süd..... 12
Dolní Rozínka..... 10,31
Dresden..... 21
Dresden-Gittersee..... 7,8,31,38
Durango..... 43
Dänkritz..... 31
Eleshnitz..... 12
Ellweiler..... 8,30,31,48
Feldioara..... 12
Freital..... 7,8,21,31
Gernsbach..... 8
Grand Junction..... 43
Grants..... 35
Großschloppen..... 8
Hamr I..... 21,28
Hamr na Jezere..... 10
Helmsdorf..... 29,30,31,35,37,38,48
Hnilčík..... 11
Ingul'skii..... 13
Johanngeorgenstadt..... 7
Jáchymov..... 9
Kalnica..... 11
Key Lake..... 35
Kowáry..... 11
Königstein..... 7,8,25,26,27,49,51

l'Ecarpière..... 31,39
Lavaugrasse..... 31
Le Bosc..... 20,21,24,28,31
Le Brugeaud..... 31
Le Cellier..... 25,31,48
Lichtenberg..... 7,47
Margnac..... 39
Menzenschwand..... 8
Murán..... 11
Mydlovary..... 10,31
Mährring..... 8,25
Nine Mile Lake..... 45
Novoveská Huta..... 11
Oberrothenbach..... 30,35
Oberschlema..... 31
Okrouhlá Radoun..... 10
Onezsk..... 13
Poppenreuth..... 8
Příbram..... 10,31
Pécs..... 11,25,26,37,39
Ranstad..... 15,49
Ronneburg..... 7,22,25,26,38,39,47,48
Rozná..... 10
Saelices el Chico..... 15
Salt Lake City..... 43
Schlema..... 7,20,21,23,24
Schlema-Borbachtal..... 31
Schneeberg..... 21
Seelingstädt..... 8
Selec..... 11
Sillamäe..... 12,15,34,37
St. Priest-la-Prugne..... 31
Stavropol..... 13
Streltsovsk..... 13
Stráz pod Ralskem..... 10,26,27,31,37,49
Trünzig..... 31,35,38
Urgeiriça..... 15
Vatutinskii..... 13
Zadní Chodov..... 10
Zheltiye Vody..... 13
Zirovski Vrh..... 15,20



Argumente 1/95

Bundesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz

Prinz-Albert-Str. 43

53113 Bonn

Tel. 0228 / 21 40 32

Fax 0228 / 21 40 33

Beitrags- und Spendenregelung

1. Der Jahresbeitrag für Mitgliedsgruppen richtet sich nach der Zahl der Mitglieder. Er beträgt mindestens DM 120,-- pro Jahr.
2. Fördernde Mitglieder spenden DM 120,-- pro Jahr.
(Arbeitslose, Hausfrauen, Studenten, Schüler, Zivil- und Wehrdienstleistende DM 60,-- pro Jahr).

In diesen Beiträgen sind folgende Leistungen enthalten:

- regelmäßige Informationen über die Arbeit des BBU
- Informationen aus der Umweltschutzbewegung
- Einladungen zu Konferenzen und Seminaren
- Mitgliedsgruppen erhalten überdies den monatlich erscheinenden „BBU-Info-Dienst“

Konto für die Überweisung von Mitgliedsbeiträgen:

Sparkasse Bonn (BLZ 380 500 00) Kto.-Nr. 1900 1965

Spenden sind steuerlich absetzbar.

Konto für die Überweisung von Spenden und Fördermitgliedsbeiträgen: Sparkasse Bonn (BLZ 380 500 00) Kto.-Nr. 1900 2666

Bei Spenden bis DM 100,-- wird keine separate Spendenbescheinigung erteilt. Hier genügt der Zahlungsbeleg, er wird von den Finanzämtern als Spendenbescheinigung anerkannt.

Beitrittserklärung

- ☐ Unsere Gruppe möchte Mitglied im BBU werden. Bitte senden Sie uns die entsprechenden Unterlagen zu.
- ☐ Ich möchte den BBU als förderndes Mitglied unterstützen und spende
 - ☐ vierteljährlich DM
 - ☐ halbjährlich DM
 - ☐ jährlich DM
- ☐ Bitte senden Sie mir vorgedruckte Überweisungsvordrucke
- ☐ Ich richte einen Dauerauftrag ein



Datum

Unterschrift