

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg
<b>Herausgeber:</b>	Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles
<b>Band:</b>	73 (1984)
<b>Heft:</b>	1-2
<b>Artikel:</b>	Radioaktive Abfälle : etwas Besonderes?
<b>Autor:</b>	Rometsch, R.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-308635">https://doi.org/10.5169/seals-308635</a>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 29.01.2026

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

## Radioaktive Abfälle – etwas Besonderes ?

von R. ROMETSCH,  
Nagra, 5401 Baden, Parkstr. 23

Damit mehr als 6 Millionen Leute in unserem kleinen Land mit der zur lieben Gewohnheit gewordenen Qualität zusammenleben können, braucht es vielerlei technische Hilfsmittel. Die meisten sind uns so selbstverständlich geworden, daß wir sie kaum mehr bemerken. Fast alle sind aber mit der Erzeugung von Abfällen verbunden. Pro Einwohner und Jahr sind es heute z. B. 1000 kg Klärschlamm aus den Abwasserreinigungsanlagen, 500 kg Abfälle aus den Haushalten, 500 kg Metalle, Gummi und Altöl hauptsächlich von unseren Autos, 500 kg Verschiedenes aus der Industrie und 200 kg Nebenprodukte aus der Produktion unserer chemischen Werke. Seit wir zwei Fünftel<sup>1</sup> der Elektrizität aus Atomkernkraftwerken beziehen, kommen noch die radioaktiven Abfälle dazu; nämlich – ebenfalls pro Kopf und Jahr für die ganze Schweiz – 1 kg schwach- und mittelaktive und 5 g hochaktive, beide einschließlich der inaktiven Verfestigungsmittel wie Zement oder Glas gerechnet. Bei diesem Mengenverhältnis müssen die radioaktiven Abfälle schon etwas Besonderes sein, daß man so viel davon redet.

Bevor ich Ihnen die Gründe für die Besonderheit auseinandersetze, will ich Ihnen noch zeigen, wieviel radioaktive Abfälle sich in den nächsten 60 Jahren in unserem Land ansammeln könnten. Wenn wir Bau und Betrieb von Atomkernkraftwerken entsprechend unserem Strombedarf ausbauen, weil wir keine noch umweltfreundlichere Energieerzeugungsart zur Verfügung haben, dann könnte sich die Gesamtleistung dieser Werke in 30 bis 40 Jahren verdreifachen und die Produktion radioaktiver Abfälle ebenfalls. Das ergäbe dann bis etwa 2030 170 000 m<sup>3</sup> schwach- und mittelaktive und 1200 m<sup>3</sup> hochaktive Abfälle. Diese Mengen sind Gegenstand meiner Betrachtungen.

Der Löwenanteil der radioaktiven Abfälle stammt also aus den Atomkernkraftwerken. Daraus ergibt sich die erste Besonderheit; denn deswegen sind diese Abfälle mit den gleichen psychologisch-politischen Problemen belastet, die Sie ja genügend aus der Diskussion um die Atomkernkraftwerke kennen. Und aus dem gleichen Grund ist auch die gesetzliche Regelung betreffend die radioaktiven Abfälle anders als bei allen anderen Abfällen. Bei uns sind sie der Bundesgesetzgebung unterstellt, weil wir schon 1957 in die Verfassung geschrieben haben, die Gesetzgebung über die friedliche Verwendung der Atomkernkraftwerke sei Sache des Bundes. 1979 haben wir das Atomenergiegesetz noch verschärft und unter anderem als Bedingung für den weiteren Ausbau der Nutzung der Atomkernenergie eingeführt, daß die «dauernde und sichere Entsorgung undendlagerung» (Endlagerung ist das Schlüsselwort) der radioaktiven Abfälle gewährleistet sein muß. In dem neuen Gesetz sind zwar keine Fristen genannt, aber der Bundesrat hat den bestehenden Kernkraftwerken die Auflage gemacht, daß sie bis zum 31. Dezember 1985 den Beweis der Machbarkeit der Endlagerung erbracht haben müssen, damit ihre Betriebsbewilligung über dieses Datum hinaus verlängert werden kann.

<sup>1</sup> Stand Ende 1984.

Die Sonderbehandlung der radioaktiven Abfälle hängt natürlich auch mit ihren besonderen Eigenschaften zusammen. Radioaktiv heißt strahlenaktiv; die Abfälle enthalten Stoffe, die von selber zerfallen und dabei Strahlen aussenden. Diese Strahlen können gesundheitsschädliche Wirkung haben, wenn man sich nicht davor schützt. Ihre Strahlung macht diese Stoffe giftig, so wie andere Abfallstoffe aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften giftig sein können.

Alle Materie, auch Lebewesen wie Sie und ich, bestehen aus Atomen. 460 vor Christus ist Demokrit durch Nachdenken zum Schluß gekommen, daß die Materie nicht beliebig aufgeteilt werden könne; der Teilbarkeit sei eine Grenze gesetzt, wenn man sie bis zu sehr kleinen, bestimmten Teilchen getrieben habe. Diese gedanklich erfaßten Teilchen hat er «Atome» genannt, das ist das griechische Wort für «Unteilbare».

Wir haben die Bezeichnung beibehalten. Am Ende des letzten Jahrhunderts glaubten wir die Atome experimentell bestätigt zu haben. Wir stellten z. B. fest, daß sich in einem Glas Wasser eine riesige Anzahl – eine Zahl mit 24 Nullen – kleinster Teilchen befindet, von denen jedes aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom zusammengesetzt ist. Anfangs dieses Jahrhunderts hat man dann herausgefunden, daß auch die Atome zusammengesetzt sind. Sie bestehen aus Schale und Kern und sind durchaus weiter zerlegbar. Später stellte man auch die Zusammensetzung der Atomkerne aus verschiedenen Elementarteilchen fest. Dazu kam noch die Erkenntnis, daß gewisse Atomkerne von selbst zerfallen und dabei z. B. Kernteilchen als Strahlen aussenden.

Heute unterscheiden wir 104 Atomarten aufgrund verschiedener Schalen – das sind die verschiedenen chemischen Elemente wie Eisen, Gold, Sauerstoff, Schwefel, Uran, usw. – und über 2000 verschiedene Atomkerne, d. h. von jedem Element etwa 20 sog. Isotopen, das sind Atomarten mit gleichen Schalen und deshalb gleichen chemischen Eigenschaften, aber mit Kernen von unterschiedlichem Gewicht.

Von diesen 2000 sind allerdings nur 279 stabil, alle anderen sind dem radioaktiven Zerfall unterworfen. Drei verschiedene Arten von Strahlung werden dabei ausgesandt, die mehr oder weniger durchdringend sind. Die verschiedenen Kerne zerfallen auch verschieden schnell. Die einen brauchen Bruchteile von Sekunden bis die Hälfte zerfallen, die anderen Jahre, sogar bis zu Milliarden von Jahren. Die Zeit bis die Hälfte zerfallen ist, nennt man Halbwertszeit. Je schneller der Zerfall, je kürzer die Halbwertszeit, je intensiver die Strahlung, desto eher sind die radioaktiven Stoffe in gewöhnliche, inaktive Stoffe umgewandelt. Nur die Stoffe, die länger aktiv bleiben (HWZ mehr als  $\frac{1}{2}$  Jahr), können natürlich in den Abfällen vorkommen; es sind im ganzen 72. Die kurzlebigen sind schon nicht mehr aktiv, wenn sie zu Abfällen werden, weil man sie nicht mehr brauchen kann. Aber die ganz langlebigen, wie das Uran mit seiner in die Milliarden von Jahren gehenden Halbwertszeit, das sich bei der Entstehung des Sonnensystems gebildet hat, sind immer noch da. So war es auch mit dreißig anderen natürlichen, radioaktiven Elementen, die immer auf der Erde waren und immer ihre Strahlung an die Umgebung abgegeben haben und die immer noch da sind und immer noch strahlen.

Die natürlichen radioaktiven Stoffe können selbstverständlich auch aufgrund ihrer Strahlung eine schädliche Wirkung auf Lebewesen ausüben. Sie sind die Ursache einer ständigen Strahlenbelastung von uns allen. Die Strahlenbelastung wird noch durch

Strahlung aus dem Weltall verstärkt. Sie beträgt gesamthaft in der Schweiz im Mittel etwa 250 mrem (Strahlungseinheiten) pro Jahr und Person und setzt sich aus verschiedenen Teilen zusammen. Wie die Strahlenkarte zeigt, schwankt die Strahlung von Landesteil zu Landesteil recht stark. Wieder einmal sind die Basler bevorzugt und die Tessiner benachteiligt. Aber die ganze Menschheit hat sich in einem Strahlenfeld entwickelt.

Unsere Behörden haben die natürliche Strahlung als Maß genommen, um daraus Richtlinien für die verlangte Sicherheit von Endlagern abzuleiten. Danach müssen Endlager so gebaut sein, daß nach ihrem Verschluß auf Überwachungs- und Sicherheitsmaßnahmen verzichtet werden kann und die Sicherheit trotzdem erhalten bleibt. Und diese Sicherheit muß auch im schlimmsten Störfall so groß sein, daß allenfalls entweichende radioaktive Stoffe zu keiner Zeit Bestrahlungen von mehr als 10 mrem pro Person und pro Jahr verursachen können, d. h. sie dürfen nie  $\frac{1}{25}$  der natürlichen, ständig wirkenden Bestrahlung übertreffen. So streng sind unsere Vorschriften.

Unser Gesetz sagt also, daß unsere radioaktiven Abfälle in Endlager gebracht werden müssen, und die behördlichen Richtlinien sagen genau, wie sicher für alle Zeiten diese Endlager sein müssen. Zudem muß noch bis Ende 1985 bewiesen werden, daß die Endlagerung machbar ist, so verlangt es der Bundesrat.

Wer muß das tun? Auch das sagt das Gesetz: der Verursacher, der Erzeuger der Abfälle. Und zwar muß der Verursacher bei uns nicht nur dafür zahlen, wie in den meisten anderen Ländern, sondern er muß es auch selber tun. Unsere Bundesbehörden kontrollieren die Projekte, bewilligen und kontrollieren die Ausführung.

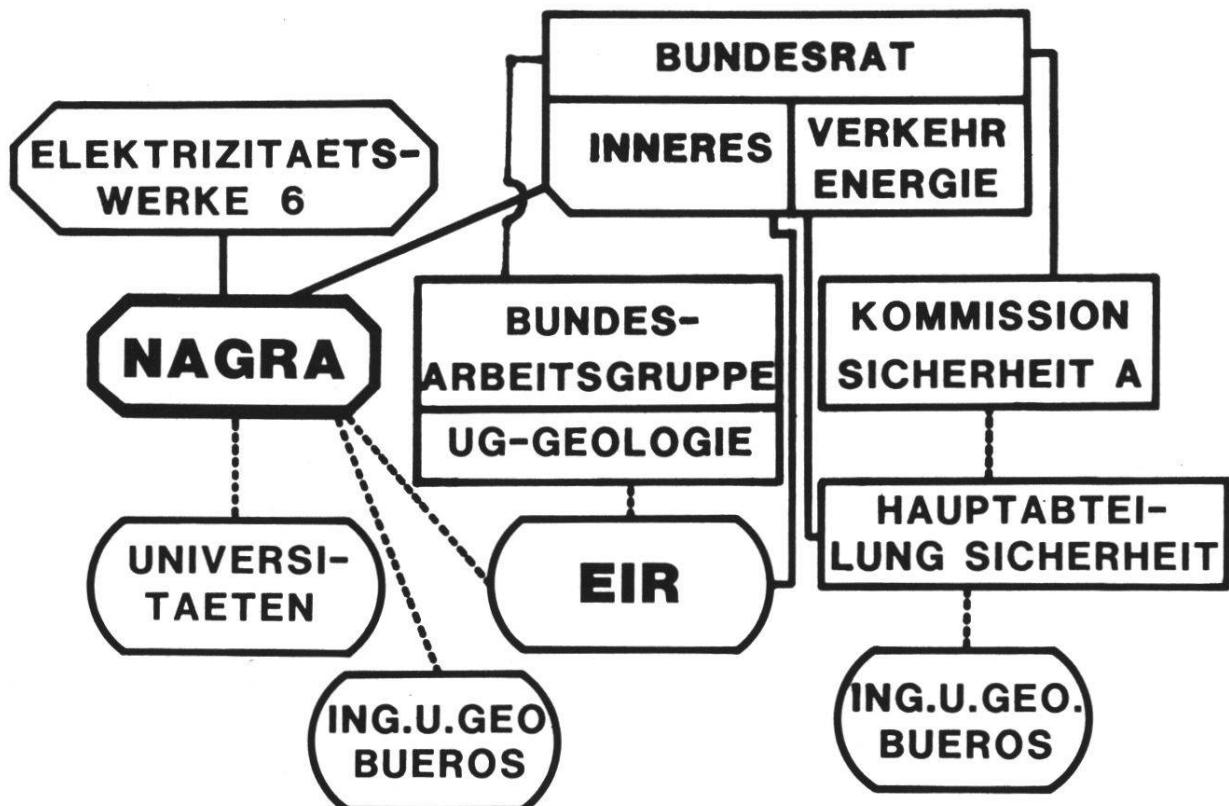


Abb. 1: Die Nagra und die mit ihr zusammenarbeitenden Institutionen.

Alle Verursacher haben sich schon 1972 in einer Selbsthilfe-Genossenschaft, der Nagra, zusammengeschlossen. Nagra heisst Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle. Es ergab sich ganz selbstverständlich, daß die Nagra auch mit der Erfüllung der seit 1979 gültigen Endlager-Forderung betraut wurde.

Die Genossenschafter der Nagra sind sechs Elektrizitätsgesellschaften, die Kernkraftwerke betreiben oder die Absicht haben, solche zu betreiben, und, als siebter im Bund, das Eidgenössische Departement des Innern, weil es gesetzlich für die radioaktiven Abfälle aus Forschung, Industrie und Medizin verantwortlich ist (Abb. 1). Kontroll- und Bewilligungsfunktionen werden über das Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement ausgeübt, so daß auch auf Bundesseite eine Trennung von Interessierten und von Kontrollierenden gewährleistet ist. Der Bundesrat als oberste Kontrollinstanz hat sich die Unterstützung verschiedener Gremien organisiert.

Dazu gehören die Kommission für die Sicherheit der Atomanlagen (KSA), eine Arbeitsgruppe mit Vertretern aus verschiedenen Ämtern (AGNEB), eine Untergruppe Geologie, in der die Spitzen der erdwissenschaftlichen Gesellschaften, Kommissionen und Universitätsinstitute mitarbeiten, und natürlich die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), in der gegen 50 vollamtlich vom Bund angestellte Spezialisten tätig sind. Sowohl die HSK als auch die Nagra, die ebenfalls nur etwas über 40 Angestellte hat, sind auf die Mitarbeit von privaten Ingenieur- und Geologenbüros angewiesen. Es ist dafür gesorgt, daß dies nicht immer dieselben sein können. Die Nagra vergibt außerdem Aufträge an das Eidgenössische Institut für Reaktorforschung (EIR), an Universitätsinstitute und an Spezialfirmen. Zur Zeit sind gegen 400 Personen mit Nagra-Arbeiten beschäftigt.

## NAGRA – FINANZEN

	VERWALTUNG 3-4 MIO FR	PROJEKTE 50-100 MIO FR
<b>EIDGENOSSENSCHAFT</b>	<b>1/7</b>	<b>2,9 %</b>
<b>NOK, 2 BEZNAU</b>	<b>1/7</b>	<b>24,2 %</b>
<b>BKW, MUEHLEBERG</b>	<b>1/7</b>	<b>10,7 %</b>
<b>GOESGEN-DAENIKEN</b>	<b>1/7</b>	<b>30,0 %</b>
<b>LEIBSTADT</b>	<b>1/7</b>	<b>32,2 %</b>
<b>KAISERAUGST</b>	<b>1/7</b>	<b>-</b>
<b>EOS, VERBOIS</b>	<b>1/7</b>	<b>-</b>

Tab. 1: Nagra-Finanzen.

Die Finanzierung dieser Arbeiten erfolgt direkt durch die Genossenschafter (Tab. 1). Für die laufenden Kosten von 3–4 Mio Franken pro Jahr zahlt jeder Genossenschafter gleich viel, während für die Projektkosten ein Verteilungsschlüssel nach Abfallproduktion zwischen den Mitgliedern der Genossenschaft abgemacht wurde. Zwei Genossenschafter haben noch keine Bewilligung zur Erzeugung von radioaktiven Abfällen und zahlen deshalb noch keine Beiträge zu den Projektkosten. Sobald sie eine entsprechende Baubewilligung erhalten, muß das nachgeholt werden.

Jedenfalls besteht eine gute finanzielle Basis für eine solide Arbeit. Das gehört auch zu den Besonderheiten der radioaktiven Abfälle. Weil nur wenig Abfälle bei der Produktion von sehr viel Kilowattstunden anfallen – mindestens 3 Millionen mal weniger als für die entsprechende Elektrizitätsproduktion durch ein Kohlekraftwerk – kann man es sich leisten, den angemessenen Aufwand für die Beseitigung der Abfälle zu betreiben.

Aus dieser Überlegung, den gesetzlichen Endlager-Forderungen und den bundesrätlichen Auflagen, sind die drei Nagra-Arbeitsprogramme herausgewachsen (Tab. 2). Das wichtigste betrifft die hochaktiven Abfälle. In den nächsten 60 Jahren werden sich davon 1200 m<sup>3</sup> ansammeln. Sie enthalten 99% aller Radioaktivität, die in dieser Zeit verarbeitet wird. Das entsprechende Endlager muß im Jahr 2020 bereit sein. Frühestens dann werden diese Abfälle aus unseren Kernkraftwerken in einer endlagerfähigen Form bereit sein.

Beim zweiten Nagra-Arbeitsprogramm geht es um die schwach- und mittelradioaktiven Abfälle. Alles zusammengerechnet, einschließlich aller Abfälle aus der Stilllegung der Kernkraftwerke und der Radioisotopenanwendung, sind es 170 000 m<sup>3</sup>. Sie sollten ab 1995 ins Endlager gebracht werden können.

## **DREI NAGRA-PROGRAMME**

### **1 ENDLAGER HOCHAKTIV**

**EINLAGERUNG AB 2020**

**1'200 m<sup>3</sup>, 99 % AKTIVITAET**

### **2 ENDLAGER SCHWACH- UND MITTELAKTIV**

**EINLAGERUNG AB 1995**

**170'000 m<sup>3</sup>, 1 % AKTIVITAET**

### **3 GEWAEHR BIETENDES PROJEKT**

**MACHBARKEITSBEWEIS ERBRACHT 31.12.1985**

Tab. 2: Die drei Nagra-Programme.

Das dritte Nagra-Programm dreht sich um das Gewähr bietende Projekt, mit dem bis zum 31. Dezember 1985 nachgewiesen sein soll, daß Endlagerung in der Schweiz möglich ist.

Zu allen drei Nagra-Programmen möchte ich Ihnen den Stand der Arbeiten erläutern.

Zum wichtigsten, über die hochaktiven Abfälle zuerst ein paar Angaben über ihren Werdegang. Sie entstehen in den Kernbrennstoffen, im Innern von beidseitig verschweißten Hüllrohren, in denen die Wärme erzeugende Uranspaltung vor sich geht. Diese Abfälle sind also bei ihrer Entstehung schon eingeschlossen und bleiben es bis zu ihrer Verarbeitung und Endlagerung. Das ist auch eine Besonderheit der radioaktiven Abfälle. Im verschlossenen Kernbrennstoff, der durch seine Nutzung stark radioaktiv geworden ist, werden die Abfallstoffe in die chemische Wiederaufarbeitung geschickt. Das muß in einem Abschirmbehälter geschehen, in dem sie ins Ausland befördert werden. Eine Wiederaufarbeitungsfabrik, mit der schweizerische Elektrizitätswerke Verträge abgeschlossen haben, steht z.B. in Frankreich. Darin werden die Kernbrennstoffe aufgelöst und in drei Ströme getrennt: 96% unverbrauchtes Uran, 1% neu gebildetes, als Energiequelle verwendbares Plutonium und 3% stark radioaktive Abfälle. Diese fallen als salpetersaure Lösung an, welche in die Verglasungsfabrik gebracht und dort eingedampft wird. Der Rückstand wird mit 9 Teilen Glas verschmolzen und in Stahlzylinder abgefüllt. Wenn das nun radioaktive Glas erstarrt ist, schweißt man einen Deckel auf das Gefäß, und das Ganze kommt in ein Zwischenlager zur weiteren Abkühlung während einiger Jahre. Bereit zum Versand zurück in die Schweiz sehen die Zylinder zwar harmlos aus, müssen aber wegen ihrer immer noch sehr starken Radioaktivität in den gleichen Abschirmbehältern transportiert werden wie die abgebrannten Brennelemente aus dem Kernkraftwerk in die Wiederaufarbeitungsfabrik.

Die hochaktiven Glaszyliner in den verschweißten Stahlbehältern, und zwar gegen 1200 m<sup>3</sup> angesammelt aus 8 Kernkraftwerken während je 40 Jahren Betriebszeit, sind die Abfälle, die wir ab 2020 in ein Endlager in der Schweiz einbringen müssen. Wir stellen uns heute vor, das im tiefen Untergrund, 1000 bis 1500 m tief, vorzugsweise im kristallinen Grundgebirge unter dem nördlichen Mittelland zu tun. Ein solches Endlager könnte aus einer Serie paralleler Lagertunnels bestehen, in deren Mitte sich die Stahlzylinder mit einer zusätzlichen Metallumhüllung befinden. Darum herum ist eine etwa 2 m dicke Schicht von tonigem Füllmaterial (Bentonit) eingebracht, das bei eventuellem Wasserzutritt durch einen neu entstandenen Riss aufquillt, wodurch das Lagergut abgedichtet wird.

Die Tiefbohrungen im Raum zwischen Solothurn und Schaffhausen nördlich der Linie Solothurn-Zürich gelten der Frage, wo ein kompakter Gesteinsblock mit möglichst geringer Wasserzirkulation zu finden ist. In der Bohrung Böttstein, die Anfang letzten Jahres fertiggestellt wurde, sind 1200 m einer Granitschicht durchbohrt worden, die zwischen 970 und 1320 m eine genügend geringe Wasserzirkulation aufweist. Die Bohrung Weiach zeigte eine ebensolche Gneisschicht, aber erst zwischen 2040 m und 2480 m. Für ein bergmännisch zu errichtendes Endlager ist das zu tief; die Felstemperatur ist dort schon über 100°C. Die darüber liegenden, z.T. Kohle führenden Schichten sind jedoch ebenfalls von so geringer Wasserführung, daß die Errichtung eines Endlagers darin in Frage kommen könnte. Dasselbe gilt für die Bohrung

Riniken, bei der das kristalline Grundgebirge bei 1800 m noch nicht erreicht wurde. Bei der im Februar 1984 begonnenen Bohrung Kaisten und der ebenfalls noch 1984 auszuführenden Bohrung Leuggern sollte nach den neuesten seismischen Messungen in der für das Endlager ausgesuchten Tiefe und Temperatur (ca. 50–60°C) Granit oder Gneis anzutreffen sein.

Die zwölf bisher vom Bundesrat bewilligten Tiefbohrungen dienen dazu, einen Überblick über die Beschaffenheit des Grundgebirges zu gewinnen. An einer oder zwei enger umgrenzten Stellen sollen dann in einer zweiten Phase mehrere, näher beieinander liegende Bohrungen abgeteuft werden. Daraus läßt sich dann ableiten, wo ein Schacht und ein tiefliegender Tunnel mit Felslabor die endgültige Bestätigung für die Eignung einer Felsmasse zur Errichtung eines Endlagers bringen sollte. Aufgrund all dieser Arbeiten sollte es dann möglich sein, etwa 1995 ein Rahmenbewilligungsgesuch einzureichen, so daß anfangs des nächsten Jahrhunderts mit dem Bau des Endlagers für hochaktive Abfälle begonnen werden könnte. Vom Technischen her sind somit alle Voraussetzungen gegeben, ein solches spätestens im Jahre 2020 betriebsbereit zu haben.

Zum zweitwichtigsten Programm der Nagra, dem zur Endlagerung der schwach- und mittelaktiven Abfälle, will ich Ihnen wiederum zuerst die Herkunft dieser Abfälle beschreiben. Sie stammen aus vier verschiedenen Quellen: dem Betrieb der Kernkraftwerke (Filtermaterial, kontaminierte oder aktivierte Maschinenteile, usw.), dem Betrieb der Wiederaufarbeitungsanlage, dem Abbruch der Kernkraftwerke und aus den Sammelaktionen des Bundesamtes für Gesundheitswesen betreffend Radioisotopenanwendung in der Forschung, der Industrie und den Spitätern. Alle vier Anteile zusammen machen weniger als 1% der gesamthaft verarbeiteten Radioaktivität aus jedoch ist die in 60 Jahren angesammelte Menge recht gross, nämlich 170 000 m<sup>3</sup>, weil diese Abfälle mit einem großen Überschuss von Zement oder Bitumen verfestigt werden. Zusammensetzung und Verdünnung mit inaktivem Material machen eine weniger extrem gesicherte Endlagerung möglich.

Fast alle diese Abfälle werden in standardisierten 200-1-Fässern mit Zement verfestigt, wie im KKW Mühleberg oder im KKW Gösgen. So ein Faß ist rund 600 kg schwer und enthält nur wenige Gramm radioaktive Substanz im Innern fein verteilt. Aus dem Abbruch der Kernkraftwerke werden sich später auch Stücke ergeben, die zusammen mit dem Zement bis zu 50 t schwer sein können. Wohin mit all diesem Material? Wie könnte ein Endlager dafür aussehen?

In Frankreich, Großbritannien und den USA z.B. benutzt man oberflächennahe, zementierte Gräben. In der Schweiz sucht man sich in den Bergen liegende geologische Formationen aus, in die man horizontal angelegte Endlager einbauen kann.

Auch für diese Art Endlager suchen wir wieder Gesteine, die von Natur aus entweder trocken sind, wie etwa Salzlager, oder, falls sie Wasser enthalten, dieses zurückhalten, wie etwa die Tongesteine. Vor vier Jahren hat die Nagra die geologischen Kenntnisse der Schweiz durchgearbeitet und etwa hundert Formationen als mögliche Wirtsgesteine für solche Endlager erkannt. In einem ersten Auswahlverfahren zusammen mit geologischen Beratern sind die 20 günstigsten festgestellt worden. Ein Bericht darüber wurde anfangs 1982 veröffentlicht. Vertiefte Studien, Umfragen in den Gemeindekanzleien und Vorprojekte haben weitere Auswahlkriterien hervorgebracht. Danach ergaben sich 3 Standorte erster Priorität, für die am 22. Dezember

1983 Sondiergesuche beim Bundesrat eingereicht wurden, sowie 5 Reservestandorte. Die restlichen 12 wurden zurückgestellt. Der Bericht über diese engere Auswahl wurde anfangs 1984 veröffentlicht.

Die vorgeschlagenen Sondierstandorte sind einmal der Piz Pian Grand zwischen Misox und Calancatal; es ist ein Berg aus Gneis mit eingelagertem Glimmerschiefer, der möglicherweise für die beim Bau eines Stollens festgestellte Trockenheit verantwortlich ist. Dann der Oberbauensteinstock am Urnersee, durch den der Seelisbergtunnel führt. Darin gibt es eine große Mergelmasse, von der man beim Bau des Autobahntunnels festgestellt hat, daß das Wasser sich darin praktisch nicht bewegt. Der dritte im Bunde ist der Bois de la Glaivaz im Waadtland, ein Hügel der mutmaßlich ganz aus Anhydrit, das ist wasserfreier Gips, also von Natur aus trocken, besteht. Diese Ansicht der Geologen stützt sich allerdings nicht auf Erfahrungen aus dem Stollenbau wie bei den anderen zwei Standorten. Hier müssen die Sondierungen zuerst das Vorhandensein einer genügend großen, kompakten Formation nachweisen.

Wenn das Bewilligungsverfahren normal abläuft, dann können die Sondierungen in 1 bis 2 Jahren beginnen und werden etwa 3 bis 4 Jahre in Anspruch nehmen. Das heißt, um 1989 herum könnten wir dann entscheiden, für welchen der drei Standorte wir den Bau eines Endlagers vorschlagen wollen und ein entsprechendes Rahmenbewilligungsgesuch einreichen. Der Ablauf dieses Bewilligungsverfahrens wird dann darüber entscheiden, ob Mitte der 90er Jahre, wie wir möchten, oder erst um 2000 herum, was auch noch möglich wäre, das Endlager den Betrieb aufnehmen könnte.

Das dritte Hauptprogramm der Nagra schließlich betrifft das «Gewähr bietende» Projekt. Es geht darum, den vom Bundesrat verlangten Beweis der Machbarkeit von Endlagern in der Schweiz bis zum 31. Dezember 1985 erbracht zu haben. Natürlich geht es nicht um die technische Machbarkeit. Solche Untertagebauten wurden schon oft errichtet, dazu sind bewährte Methoden vorhanden. Aber die Richtlinien der Bundesbehörden besagen ja, daß die seit 1979 gesetzlich verlangte Endlagerung ohne Wartung und Überwachung für alle Zeiten sicher sein muß. Diesen Beweis zu führen ist nicht so einfach, auch wenn man seit dreißig Jahren problemlos überwachte Lagerung von radioaktiven Abfällen durchgeführt hat. Hier geht es darum, Beweise für die Sicherheit der Lagerung für weit in der Zukunft liegende Zeiten zu erbringen.

Es gibt verschiedene Arten, solche Beweise zu führen, aber natürlich keine direkten durch abschließende Experimente. Vielmehr muß man das Verhalten der Endlager an möglichst genauen Modellen studieren und vorausberechnen, oder durch Vergleiche mit dem, was in der Vergangenheit passiert ist, voraussagen. An beiden Beweisführungen wird in der Nagra intensiv gearbeitet. Die Entwicklung von Modellen und ihre vollständige Durchrechnung verlangen vielschichtige wissenschaftliche Arbeiten. Eine kurze Übersicht im Rahmen dieses Vortrags kann der komplexen Materie kaum gerecht werden. Aber einen Vergleich mit naturgeschichtlicher Erfahrung, die zweite Art der Beweisführung, möchte ich Ihnen zum Abschluß erläutern.

Die hochaktiven, verglasten Abfälle enthalten immer Gemische bekannter Zusammensetzung aus kurz- und langlebigen radioaktiven Substanzen (Abb. 2). Auf diesem Diagramm ist der zeitliche Verlauf des Zerfalls der einzelnen radioaktiven Stoffe im Gemisch sowie (dick ausgezogene Kurve) des gesamten Abfallgemisches dargestellt. Und zwar ist hier direkt die Strahlengiftigkeit (Radiotoxizität) als Maß genommen, ausgedrückt durch die Anzahl  $m^3$  Wasser, die man brauchen würde, um einen Abfall-

## WASSER ZUR VERDÜNNUNG ZU TRINKWASSER

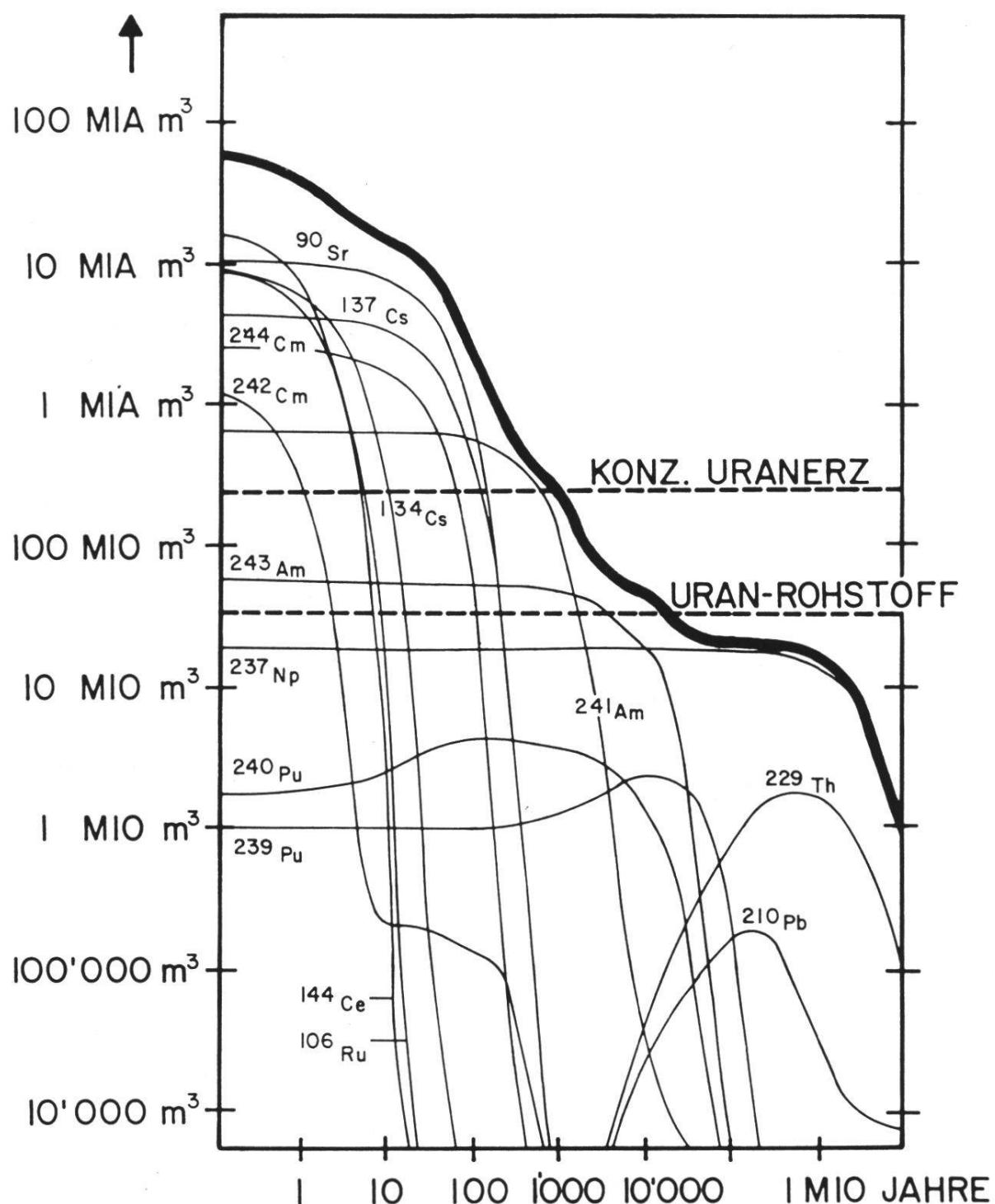


Abb. 2: Die Strahlengiftigkeit des hochaktiven Abfalls ausgedrückt in der Menge des zur Verdünnung bis zur Schadlosigkeit notwendigen Wassers.

zylinder aufzulösen und die Lösung so stark zu verdünnen, daß sie schadlos als Trinkwasser verwendet werden könnte. Sie sehen, man kommt dabei anfänglich, d.h. für einen frischen, hochaktiven Abfallzylinder, auf m<sup>3</sup>-Zahlen, die in die Milliarden gehen; nach 1000 Jahren sind es noch etwa 200 Millionen m<sup>3</sup> Wasser, die man brauchen würde, um einen Abfallzylinder zu Trinkwasser zu verdünnen. Auf was es ankommt, ist der Vergleich mit einem natürlichen, hochprozentigen Uranerz, wie es an verschiedenen Orten in der Natur vorkommt. Für die gleiche Menge solchen Erzes wie die Granitmenge, die man ausbrechen würde, um den Abfallzylinder im entstehenden Loch mit Verfüllmaterial darum herum zu lagern, würde man auch 200 Millionen m<sup>3</sup> brauchen, um sie auf Trinkwasserqualität zu verdünnen. Die Kurve der Strahlengiftigkeit von hochprozentigem Uranerz schneidet diejenige für den Abfallzylinder bei 1000 Jahren. Verfolgt man das Abklingen der Strahlengiftigkeit noch weiter, so sieht man, daß nach 20 000 Jahren ein Wert erreicht ist, der den Uranerzmengen entspricht, welche man zur Erzeugung des Abfallzylinders (und einer riesigen Zahl von kWh) aus dem Boden nehmen mußte.

Nach dem Vergleich der Strahlengiftigkeit wäre somit alles wieder beim alten. Chemisch gesehen stimmt das nicht, da man dann statt Uran hauptsächlich Neptunium in der Erde gelagert hat. Neptunium klingt allerdings etwa 1000mal schneller ab als Uran. Diese Kurve zeigt denn auch, daß nach noch viel längerer Zeit durch die Gewinnung der Atomkernenergie die Radioaktivität der Erdkruste effektiv etwas verringert wird. Das wichtigste an diesem Vergleich ist etwas anderes: Die Uranerzlager – es hat solche auch in der Schweiz – sind in der Natur so im Gestein verpackt, daß ihre Radioaktivität die Entwicklung der Lebewesen nicht gestört hat. Mit dem Bau von Endlagern wollen wir die Natur nachahmen; sie hat uns in einem Langzeitexperiment die Endlager-Prinzipien vorgemacht.

Selbstverständlich wird das Projekt Gewähr, an dem wir arbeiten, nicht nur solche plausible Vergleiche enthalten, sondern eben auch genaue Berechnungen. Es kann sein, daß wir am Ende dieses Jahres noch nicht alle geologischen Daten, die wir zur Berechnung brauchen, mit genügender Vollständigkeit ausgemessen haben werden. Ich bin jedoch davon überzeugt, daß wir einen grundsätzlichen Sicherheitsbeweis werden erbringen können. Der Bundesrat wird dann mit Hilfe seiner Experten zu entscheiden haben, ob damit Gewähr geboten ist, oder ob und in welcher Frist noch zusätzliche Untersuchungsergebnisse zu erarbeiten sind.

Wenn der verlangte Nachweis erbracht sein wird, dann ist die erarbeitete Abfalltechnologie für viel mehr als die relativ kleine Menge radioaktiver Abfälle von großer Bedeutung. Daß wir genügend Mittel für unsere Arbeiten von den Verantwortlichen für die radioaktiven Abfälle erhalten können – eben weil die Produktion von vielen wertvollen kWh dahinter steht –, betrachte ich als Glückssfall. Jedenfalls erfüllt uns bei der Nagra, trotz aller Anfechtungen, unsere Arbeit mit Genugtuung, denn wir wissen, daß wir einen sinnvollen Beitrag zur Lösung verschiedenster Zivilisationsprobleme zu leisten im Stande sind.