

Die österreichischen Kernreaktoren und ihre bisherige Auswirkung auf Grund- und Oberflächengewässer

A. FRANTZ

Österreich verfügt derzeit nur über drei Reaktoren, die relativ leistungsschwach sind und vorwiegend der Forschung und Schulung dienen. Die Standorte dieser Reaktoren befinden sich alle im Osten des Bundesgebietes, und zwar in Wien, in Seibersdorf zirka 28 km südöstlich von Wien und in Graz (Abb. 1).

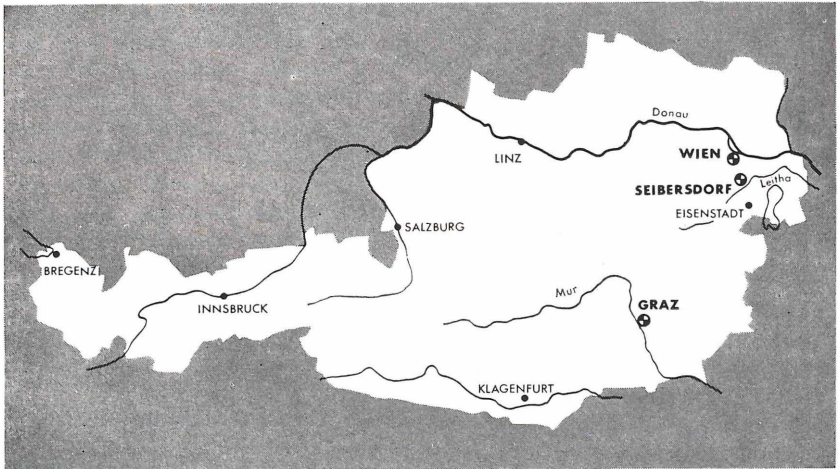


Abbildung 1
Die Standorte der österreichischen Reaktoren (1968)

Forschungsreaktor Seibersdorf

Der Forschungsreaktor der Österreichischen Studiengesellschaft für Atomenergie (SGAE) in Seibersdorf (Abb. 2), der unter dem Namen „ASTRA-Reaktor“ (Adopted Swimming-pool Tank Reactor Austria) geführt wird (7), weist unter den genannten drei Kernenergieanlagen die höchste thermische Leistung auf; sie beträgt 5 MW, eine Erweiterung auf 12 MW ist möglich.

Beim ASTRA-Reaktor handelt es sich um einen heterogenen Schwimmbadreaktor, dessen Leichtwasser gleichzeitig die Funktionen eines Moderators, Kühlmittels sowie einer Abschirmung erfüllt. Als Reflektor verwendet man Graphit. Die Brennstoffelemente bestehen zu mehr als 95% aus Uran-235 (13). Hinsichtlich des thermischen Neutronenflusses kann ein Maximum von $1,8 \cdot 10^{14}$ Neutronen/cm²sec erzielt werden.

Abwasserhältnisse

Kritisch wurde der Reaktor bereits im September 1960. Größere Mengen an Betriebsabwässern fielen jedoch erst ab 1964 an und ab Juli 1965, nach der vollen Inbetriebnahme des Reaktors, erreichten sie schließlich mengen- wie aktivitätsmäßig einigermaßen gleichbleibende Werte (5). Aus der Abwasserbilanz (1) geht hervor, daß während der Jahre 1963 bis 1968 rund folgende Mengen an radioaktiven Betriebsabwässern und Gesamtaktivitäten aus dem Reaktorzentrum Seibersdorf über die Aufbereitungsanlage in den Vorfluter Leitha-Mühlbach eingeleitet worden sind:

Im Jahre	1963	rund 17.000 m ³	mit	8 mCi *
	1964	41.500 m ³		75 mCi
	1965	41.800 m ³		45 mCi
	1966	41.100 m ³		193 mCi
	1967	36.600 m ³		307 mCi und
	1968	44.700 m ³		181 mCi

Dies zeigt, daß die in den Vorfluter eingebrachten Aktivitäten relativ gering waren und weit unterhalb der behördlich zugestandenen Grenzen lagen.

Nach dem Bescheid der Wasserrechtsbehörde wäre entsprechend der Summenformel der ICRP (10)

$$(Ra-226 + Ra-228) \ 1000 + \alpha\text{-Strahler} \ 15 + Sr-90 \ 25 + \\ + (Pb-210 + Po-210) \ 100 + \text{sonstige } \beta\text{-Strahler} \leq 50.000 \text{ pCi/l}$$

die Einleitung von Betriebsabwässern bis zu einer Aktivitätskonzentration von 50.000 pCi/l ($5 \cdot 10^{-2} \mu\text{Ci/l}$) erlaubt, wobei im Vorfluter Leitha-Mühlbach, dessen Bett den Hauptanteil des Leitha-Wassers führt und dessen Wasser-

* Anmerkung: 1 Curie = 1 Ci = 10^3 mCi = 10^6 μ Ci = 10^{12} pCi

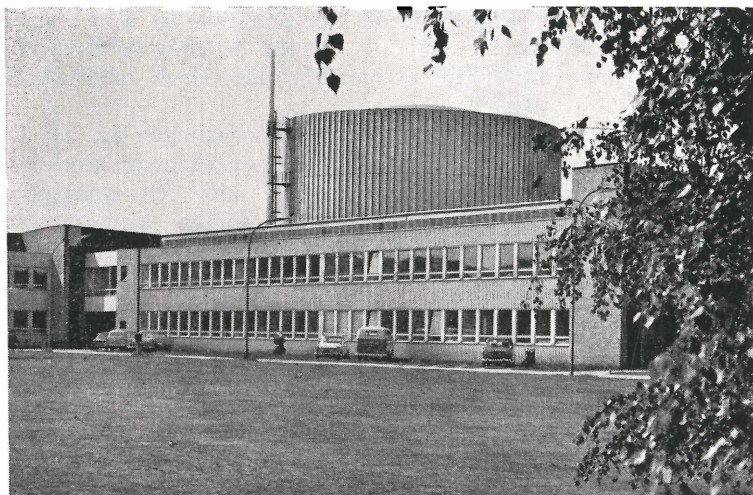


Abb. 2
Reaktorzentrum Seibersdorf

führung mittels Schleusen zu regulieren ist, eine mindestens 50 fache Verdünnung gewährleistet sein muß. Der Leitha-Mühlbach mündet zirka 3,5 km unterhalb der Abwassereinleitung nahe Wasenbruck in die Leitha. Die Gesamt-abwassermenge war bisher auf 8 l/s beschränkt, soll aber auf 16 l/s erhöht werden. Würde eine kontinuierliche Einleitung erfolgen und die Verdünnung durch Fäkalabwässer und andere inaktive Verdünnungswässer vernachlässigbar sein, dann könnten dementsprechend maximal 34 mCi/Tag in den Leitha-Mühlbach eingebracht werden. Bei einer durchschnittlichen Wasserführung der Leitha von etwa $10,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (6) tritt demnach in ihr eine rund 1300 fache Verdünnung und bei einer mittleren Niederwasserführung von $2,71 \text{ m}^3/\text{s}$ noch immer eine 340 fache Verdünnung der Reaktorabwässer ein.

Im Vergleich dazu ist beispielsweise beim Forschungsreaktor München-Garching (thermische Leistung = 1 MW) die Kühl- und Abwassermenge auf 30 l/s begrenzt. Die durch Kühlwasser verdünnten radioaktiven Abwässer dürfen mit einer Konzentration von maximal 100 pCi/l in die Isar eingeleitet werden. Bei einer durchschnittlichen Wasserführung der Isar von zirka $6 \text{ m}^3/\text{s}$ ergibt dies eine etwa 200 fache Verdünnung und eine maximal zulässige Belastung von 0,26 mCi/Tag. Für das deutsche Versuchsatomkraftwerk Kahl (thermische Leistung = 60 MW) dagegen darf die beseitigte Gesamtaktivität wegen der dortigen Trinkwasserversorgung aus dem Main 30 mCi/Jahr

(0,08 mCi/Tag) nicht übersteigen und die Konzentration der dem Main zugeführten Abwässer soll maximal 100 pCi/l betragen. Bei einer mittleren Wasserführung des Mains von 170 m³/s entspricht dies einer rund 145 fachen Verdünnung.

Auch für das deutsche Kernkraftwerk Gundremmingen an der Donau (thermische Leistung = 801 MW) darf die Aktivitätskonzentration des Abwassergemisches an der Einleitungsstelle 100 pCi/l nicht überschreiten, wobei die abgeleitete Gesamtaktivität auf maximal 40 mCi/Tag einzuschränken ist. Die mittlere Wasserführung der Donau bei Gundremmingen beläuft sich auf 147 m³/s, so daß in diesem Fall eine 11 fache Verdünnung eintritt (12). Alle deutschen Vorschriften basieren somit auf dem Standpunkt, daß an der Einleitungsstelle der Abwässer in den Vorfluter deren Aktivitätskonzentration unter 100 pCi/l liegen sollte (11).

Zur exakten Erfassung der tatsächlichen radioaktiven Belastung der Bevölkerung wäre als Grundlage für Kernenergieanlagen die Angabe der Aktivität pro Zeiteinheit (zum Beispiel Ci/Tag) vielleicht empfehlenswerter als die der Aktivitätskonzentration im Vorfluter.

Aktivitätsverlauf im Vorfluter einschließlich Wasserorganismen und Sediment

Wegen des verhältnismäßig schwachen Aktivitätsanfalles aus dem Reaktorzentrum Seibersdorf einerseits und der genügend starken Verdünnung der Betriebsabwässer im Vorfluter andererseits, blieben die durch den Reaktorbetrieb verursachten Aktivitätserhöhungen im Leitha-Mühlbach sehr gering. Jedenfalls waren sie im allgemeinen bedeutend kleiner als jene, die die atmosphärischen Kernwaffenversuche und der Fallout hervorgerufen hatten; dies läßt sich eindeutig nachweisen, wenn man die Meßergebnisse für Proben aus dem Leitha-Mühlbach von den Entnahmestellen oberhalb und unterhalb der Abwassereinleitung vergleicht. Die Meßstelle „oberhalb“ (zirka 50 m) ist repräsentativ für die Fallout-Aktivität allein, jene „unterhalb“ (zirka 1 km) für die Fallout-Aktivität und den Aktivitätsanfall aus dem Reaktor.

In Abb. 3 sind die Maximalwerte dieser Meßergebnisse für Wasser in pCi/l, für Seston (Plankton + Schwebestoffe), Bachflohkrebse (*Gammarus pulex*), Mineralschlamm und Faulschlamm in pCi/g Asche sowie die Zahl der atmosphärischen Kernwaffenversuche während der Untersuchungsperiode 1960 bis 1968 aufgetragen. Man kann daraus deutlich den ursächlichen Zusammenhang zwischen den Kernwaffentests bzw. der Fallout-Aktivität und der Aktivität im Wasser, den Wasserorganismen und Sedimenten erkennen. Die Beeinflussung durch den Reaktorbetrieb ist, wie aus Abb. 3 ersichtlich, demgegenüber zu vernachlässigen. Beispielsweise stieg die Aktivitätskonzentration im

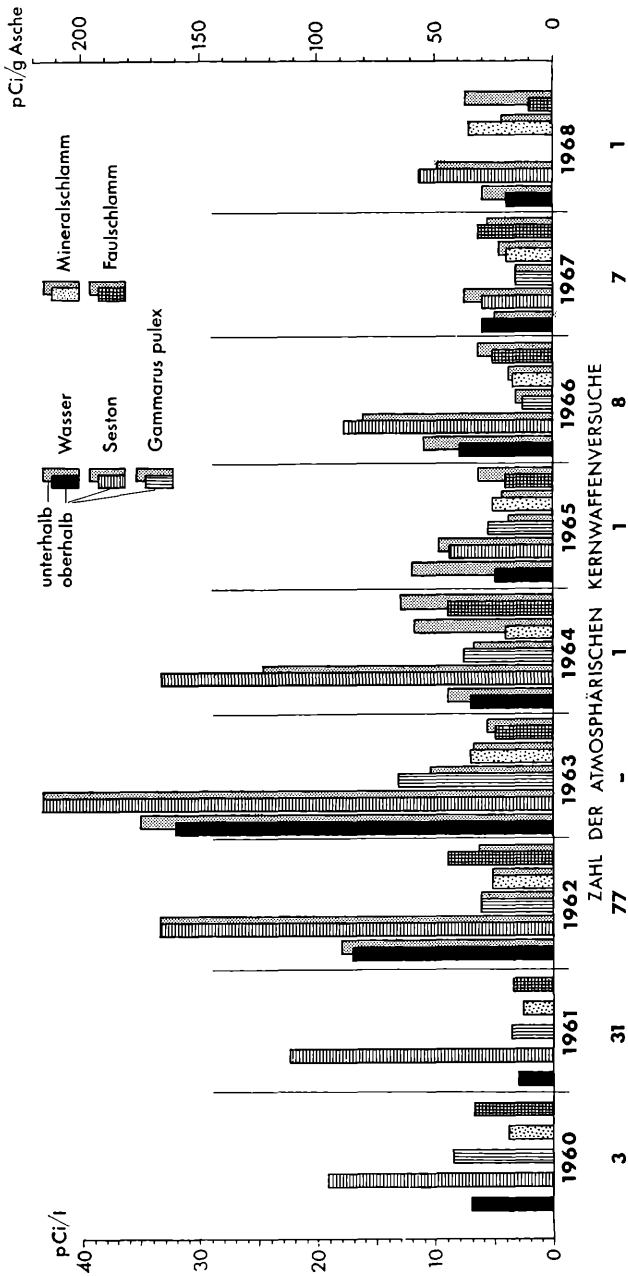


Abbildung 3

Maximalwerte der Aktivitätskonzentration im Wasser sowie der spezifischen ¹³⁷Cs-Aktivität in Wasserorganismen und Sedimenten des Leitha-Mühlbaches im Zusammenhang mit den atmosphärischen Kernwaffenversuchen während der Jahre 1960-1968

Wasser des Leitha-Mühlbaches „oberhalb“ durch die Nukleartests von 7 pCi/l im Jahre 1960 auf 32 pCi/l im Jahre 1963 an, um 1968 wieder auf 4 pCi/l abzusinken; unterhalb der Abwassereinmündung aus dem Reaktorzentrum betrug die entsprechenden Werte für 1963 35 pCi/l und für 1968 maximal 6 pCi/l. Ähnliche Verhältnisse waren an hydrobiologischem Material und an Sedimenten zu beobachten. So lagen etwa für Seston die durch den Fallout allein gekennzeichneten Werte 1960 bei maximal 96, 1963 bei 216, 1967 bei 30 und 1968 bei 57 pCi/g Asche. Unterhalb der Abwassereinleitung, wo die Überlagerung durch den Reaktorbetrieb hinzukam, ermittelte man von 1963 bis 1968 korrespondierende Aktivitäten von 216, 38 und 49 pCi/g Asche. Im Seston war demnach praktisch allein der Fallout für die Aktivitätserhöhung verantwortlich. Etwas deutlicher machte sich die Akkumulation von Radioisotopen aus dem Reaktorgebiet im Sediment bemerkbar. Besonders auffallend trat dies für die Jahre 1964, 1965, 1966 und 1968 in Erscheinung, wo man an Faulschlamm „oberhalb“ 45, 21, 26 und 10 pCi/g Asche, „unterhalb“ dagegen bis zu 65, 32, 32 und 37 pCi/g Asche verzeichnete.

Tabelle 1

Aktivitätskonzentration der Oberflächengewässer im Gefahrenbereich des Reaktorzentrums Seibersdorf während des Zeitabschnittes 1960 bis 1968

Legende: Entnahmestellen:

- o1 = Leitha bei D. Brodersdorf
- o2 = Leitha-Mühlbach bei Wasenbruck
- o3 = Mittergraben bei Wasenbruck
- o4 = Leitha-Werkskanal der Brucker Zuckerfabrik
- o5 = Leitha bei D. Haslau
- o6 = Reisenbach bei Reisenberg
- o7 = Fischa bei Fischamend

A = Mittelwert der Gesamt- β -Aktivität in pCi/l

A_{max} = Maximalwert der Gesamt- β -Aktivität in pCi/l

Jahr	o1		o2		o3		o4		o5		o6		o7	
	A	A_{max}	A	A_{max}	A	A_{max}	A	A_{max}	A	A_{max}	A	A_{max}	A	A_{max}
1960	5	7	4	4	4	6	5	7	6	6	< 3	< 3	3	3
1961	13	28	10	30	11	28	9	24	8	8	17	61	9	23
1962	9	30	9	21	6	18	8	25	17	22	7	21	7	20
1963	20	62	18	86	17	83	19	131	28	51	14	92	15	46
1964	11	34	8	26	12	36	12	52	11	30	6	30	8	26
1965	10	25	8	19	4	6	7	13	6	6	4	8	4	5
1966	< 3	3	3	4	< 3	3	6	7	4	7	3	5	5	6
1967	< 3	3	3	5	4	7	4	5	3	4	< 3	< 3	7	12
1968	4	6	4	5	< 3	3	5	6	4	4	< 3	3	< 3	< 3

Oberflächengewässer

Erwartungsgemäß wiesen die Wasserproben von allen anderen Entnahmestellen an Oberflächengewässern wie Leitha, Fischa, Reisenbach und Mittergraben, die in das Kontrollsystem um das Reaktorzentrum miteinbezogen wurden (5), ebenfalls keinerlei Verseuchung durch den Reaktor auf. Auch dort sind, wie man aus Tab. 1 entnehmen kann, die Aktivitätsanstiege praktisch ausschließlich durch den Fallout bewirkt worden.

Grundwasser

Das Grundwasser im Reaktorzentrum Seibersdorf und dessen Umgebung zeigte sowohl grundwasserstromaufwärts als auch grundwasserstromabwärts ähnlich wie die Oberflächengewässer ein leichtes Ansteigen der Aktivitätskonzentration ab 1962 bis 1964 und anschließend wieder eine allmähliche Aktivitätsabnahme. In Tabelle 2 sind die Jahresdurchschnittswerte und Maximal-

Tabelle 2

Aktivitätskonzentration des Grundwassers im Gefahrenbereich des Reaktorzentrums Seibersdorf während des Zeitabschnittes 1960 bis 1968

Legende: Entnahmestellen: G 1 = Bohrbrunnen in Reaktornähe
 G 2 = Bohrbrunnen im Reaktorzentrum, Verwaltungsgebäude
 G 3 = Brunnen in Wasenbruck
 G 4 = Versorgungsbrunnen der SGAE in der Herrschaftlichen Heide
 A = Mittelwert der Gesamt- β -Aktivität in pCi/l
 A_{max} = Maximalwert der Gesamt- β -Aktivität in pCi/l

Jahr	G 1		G 2		G 3		G 4	
	A	A _{max}	A	A _{max}	A	A _{max}	A	A _{max}
1960	3	3	—	—	3	3	3	3
1961	5	5	7	7	5	6	< 3	< 3
1962	< 3	< 3	7	7	4	17	4	22
1963	3	4	25	26	6	10	5	13
1964	5	8	14	45	5	21	5	20
1965	< 3	3	5	7	5	8	< 3	3
1966	3	5	9	12	< 3	< 3	8	13
1967	< 3	3	< 3	3	< 3	3	< 3	5
1968	< 3	< 3	5	7	3	4	5	5

werte für vier charakteristische Brunnen des Beobachtungsnetzes zusammengefaßt. Unter diesen vier Brunnen liefern der Bohrbrunnen in Reaktornähe G 1, der zur Versorgung mit Kühlwasser dient, wie auch der Brunnen einer Filztuchfabrik in Wasenbruck G 3 und der Versorgungsbrunnen des Reaktor-zentrums in der Herrschaftlichen Heide G 4 Grundwasser aus relativ tiefen Grundwasserschichten (8 bis 24 m); in diesem Grundwasser waren nur Jahresmittelwerte bis zu 8 pCi/l und ein Maximum von 21 pCi/l zu beobachten. Der Bohrbrunnen G 2 im Reaktorzentrum, nahe dem Verwaltungsgebäude und grundwasserstromabwärts vom Reaktor gelegen, wird aus einer oberflächennahen Grundwasserschicht (1 bis 3 m) gespeist; in diesem Grundwasser konnten Jahresdurchschnittswerte bis zu 25 pCi/l für 1963 und ein absolutes Maximum von 45 pCi/l für 1964 festgestellt werden. Diese Meßergebnisse lassen darauf schließen, daß infolge des geringen Rückhaltevermögens des Bodens und der ungünstigen hydrogeologischen Verhältnisse im Raume von Seibersdorf die Spaltprodukte der amerikanischen und sowjetischen Atomexplosionen von 1961/62 auch im Grundwasser durch einen leichten Anstieg des Aktivitätsspiegels nachzuweisen waren. Gegenüber den Oberflächengewässern blieben die Aktivitätserhöhungen aber gering und außerdem trat eine zeitliche Verzögerung ein, so daß man die Aktivitätsspitzen vorwiegend im Jahre 1964 registrierte. Der Einfluß seitens des Reaktorbetriebes war auch hier gegenüber den Auswirkungen der Kernwaffenversuche bedeutungslos.

Forschungsreaktor Wien

Zur Gruppe der TRIGA-Reaktoren (Training Research Isotope production, General Atomic) zählt der Reaktor der österreichischen Hochschulen in Wien/Prater (Abb. 4). General Atomic, die Herstellerfirma, hat damit eine Reaktormischtype entwickelt, die nicht auf große Leistung, wohl aber auf absolute Betriebssicherheit Anspruch erheben darf. Die Höchstdauerleistung liegt bei 100 kW, kann jedoch für Bruchteile von Sekunden bis zu einer Spitzenleistung von 250.000 kW ansteigen, wonach sich der Reaktor aber automatisch abschaltet. In seiner äußeren Form und Bauweise gleicht dieser Forschungsreaktor, der unter der Typenbezeichnung TRIGA Mark II-VIENNA bekannt ist (8), einem heterogenen Schwimmbadreaktor. Charakterisiert ist der TRIGA-Reaktor dagegen durch seine kombinierten, festen, homogenen Brennstoff-Moderator-Elemente, die aus Uran — angereichert mit 20% Uran-235 — und Zirkonhydrid bestehen (4) und in einem Behälter mit Leichtwasser versenkt sind. Das Leichtwasser dient ebenso wie die Wasserstoffatome des Zirkonhydrids als Moderator, erfüllt aber zusätzlich die Funktionen von Kühlmittel, Wärmeaustauscher und Strahlenabschirmung. Als Reflektor wird Graphit



Abbildung 4
Forschungsreaktor Wien

benützt. Das ganze Reaktorgebäude steht in einer wasserdichten Betonwanne, um den Schutz des Grundwassers gegen Kontaminierung zu gewährleisten. Der maximal erreichbare Neutronenfluß (thermisch) beträgt rund $4 \cdot 10^{12}$ Neutronen/cm²s.

Abwasserhältnisse

Bereits 1962 wurde der Reaktor in Wien kritisch, doch setzte die volle Inbetriebnahme und damit der Anfall von aktiven Betriebsabwässern erst im Sommer 1963, nach Fertigstellung der Abwasseraufbereitungsanlage, ein.

Sowohl die Menge als auch die Aktivität der während der Jahre 1963 bis 1968 in den Vorfluter Donaukanal eingeleiteten Betriebsabwässer war gering und in keinem Fall wurde der behördenmäßig festgelegte Wert erreicht oder überschritten.

Unter Zugrundelegung der von der ICRP vorgeschlagenen Summenformel hat die oberste Wasserrechtsbehörde für den Hochschulreaktor verfügt, daß aktive Betriebsabwässer nur nachts in den Donaukanal eingebracht werden sollen, wobei nach der Formel (10)

$$\text{Ra-226 } 1000 + \alpha\text{-Strahler } 15 + \text{Sr-90 } 100 + \text{Pb-210 } 100 + \text{übrige } \beta\text{-Strahler} \leq 1,4 \text{ mCi/Nacht}$$

die pro Nacht entleerte Aktivitätsmenge nicht größer als 1,4 mCi sein darf; dies entspricht einer maximalen Aktivitätskonzentration von 70.000 pCi/l in

den Abwassertanks. Überdies muß dieses Abwasser, durch die Konstruktion der Anlage bedingt, mit 18 m^3 inaktivem Kühlwasser/Stunde, in 8 Nachtstunden also mit 144 m^3 inaktivem Kühlwasser verdünnt werden, woraus sich für das abgeleitete Betriebswasser eine maximale Aktivitätskonzentration von 10.000 pCi/l ergibt.

Da während des Untersuchungszeitraumes 1960 bis 1968 der durchschnittliche Durchfluß im Donaukanal bei $114 \text{ m}^3/\text{s}$, der niederste Durchfluß bei $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (3) lag, war im Durchschnitt eine 20.000 fache Verdünnung, mindestens aber eine 350 fache Verdünnung gewährleistet.

Tatsächlich hat die Abwasserbilanz für den Hochschulreaktor in Wien gezeigt, daß an aktiven Abwässern während der Jahre

1963	rund 324 m^3	mit einer Aktivität von $0,511 \text{ mCi}$
1964	624 m^3	$3,557 \text{ mCi}$
1965	557 m^3	$0,592 \text{ mCi}$
1966	360 m^3	$0,761 \text{ mCi}$
1967	520 m^3	$1,461 \text{ mCi}$ und
1968	660 m^3	$3,324 \text{ mCi}$

in den Donaukanal entleert worden sind (2).

Insgesamt hat der Donaukanal demnach von 1963 bis 1968 durch den Hochschulreaktor Wien eine Belastung mit 3050 m^3 Betriebsabwasser – verbunden mit einer Gesamtaktivität von $10,2 \text{ mCi}$ – erfahren. Es wurden also in sechs Jahren vom Hochschulreaktor nur derart geringe Aktivitätsmengen in den Vorfluter abgelassen, die nach den ohnehin sehr vorsichtig gehaltenen, behördlich erlaubten Grenzwerten in etwas mehr als einer Woche hätten eingeleitet werden dürfen.

Aktivitätsverlauf im Vorfluter einschließlich Wasserorganismen und Sediment

In Übereinstimmung mit den relativ sehr geringen Aktivitätsmengen, die dem Donaukanal zugeführt und im Vorfluter überdies stark verdünnt wurden, waren Aktivitätserhöhungen durch den Reaktorbetrieb kaum wahrzunehmen; noch weit mehr als beim Reaktor Seibersdorf konnten sie gegenüber jenen Aktivitätserhöhungen, die die ausländischen Kernwaffenversuche verursachten, vernachlässigt werden.

Den Nachweis hierfür erbringt der Vergleich der Meßergebnisse für Proben, die einerseits zirka 100 m „oberhalb“ der Abwassereinmündung in den Donau-

kanal, andererseits gleichzeitig 100 m „unterhalb“ dieser Einleitung entnommen worden sind.

Die Ergebnisse dieser Aktivitätsmessungen findet man in Tab. 3 für Wasserproben und in Tab. 4 für einige Wasserorganismen und Sedimente zusammengestellt.

Im Falle der Wasserproben wurden jeweils die Jahresmittelwerte und Maximalwerte für beide Entnahmestellen, im Falle der Wasserorganismen aber die jährlichen Maximal- und Minimalwerte der Gesamt- β - sowie der Kaliumaktivität verglichen.

Aus Tab. 3 ersieht man zunächst, daß die höchste gemessene Aktivitätskonzentration von 58 ± 3 pCi/l im Dezember 1961 oberhalb der damals noch in Planung begriffenen Abwassereinleitung als Folge der im September 1961 von der UdSSR gestarteten atmosphärischen Atombombenversuchsreihe und nochmals im April 1968, ebenfalls „oberhalb“ der Abwassereinmündung aufgetreten ist. Als Auswirkung der rund 70 sowjetischen und 35 amerikanischen Kernwaffentests, die bis Dezember 1962 fortgeführt wurden, konnte man für 1962 und 1963 „oberhalb“ der Abwassereinmündung Jahresmaxima von 39 bzw. 48 pCi/l und „unterhalb“ von 39 bzw. 35 pCi/l beobachten. In den Jahren 1964 bis 1968, in denen nur vereinzelte, zumeist schwächere atmosphärische Kernexplosionen seitens Frankreichs und Chinas stattgefunden haben, lagen die Jahresmaxima im allgemeinen tiefer und stiegen „oberhalb“ für 1966 nur mehr auf 6 pCi/l und „unterhalb“ für 1965 wie 1968 auf 12 pCi/l an.

Noch charakteristischer für das radiologische Verhalten sind die Jahresmittelwerte; aus ihnen geht eindeutig hervor, daß die Aktivitätskonzentration des Donaukanalwassers „oberhalb“ und „unterhalb“ der Einleitung innerhalb der Fehlergrenzen für das gleiche Jahr die gleichen Meßwerte aufwies. Die maximalen Jahresmittel konnte man im Jahre 1963 mit 17 bzw. 16 pCi/l eruieren. Von 1964 bis 1968 sanken die entsprechenden Werte im Einklang mit dem im Dezember 1962 erfolgten Stopp der intensiven Kernwaffenversuchsreihen und den von 1964 bis 1968 nur mehr vereinzelt durchgeführten Atombombentests auf 3 bzw. 4 pCi/l im Jahre 1967 und auf 8 bzw. 4 pCi/l im Jahre 1968 ab. Damit ist aber der Gang mit den Kernexplosionen und dem damit verbundenen Fallout sowie die Herkunft der Aktivitätserhöhung nachgewiesen.

Abb. 5, wo der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration im Donaukanal unterhalb des Reaktors und des Hauptsammlers von Wien für die Zeitspanne 1960 bis 1968 im Zusammenhang mit den Atombombentests dargestellt ist, illustriert in ebenso deutlichem Maße die wesentliche Herkunft der radioaktiven Verunreinigung aus dem Fallout.

β-AKTIVITÄTSKONZENTRATION DES DONAUKANALS BEI WIEN UND DER MUR BEI LANDSCHA Jänner 1960 - Dezember 1968

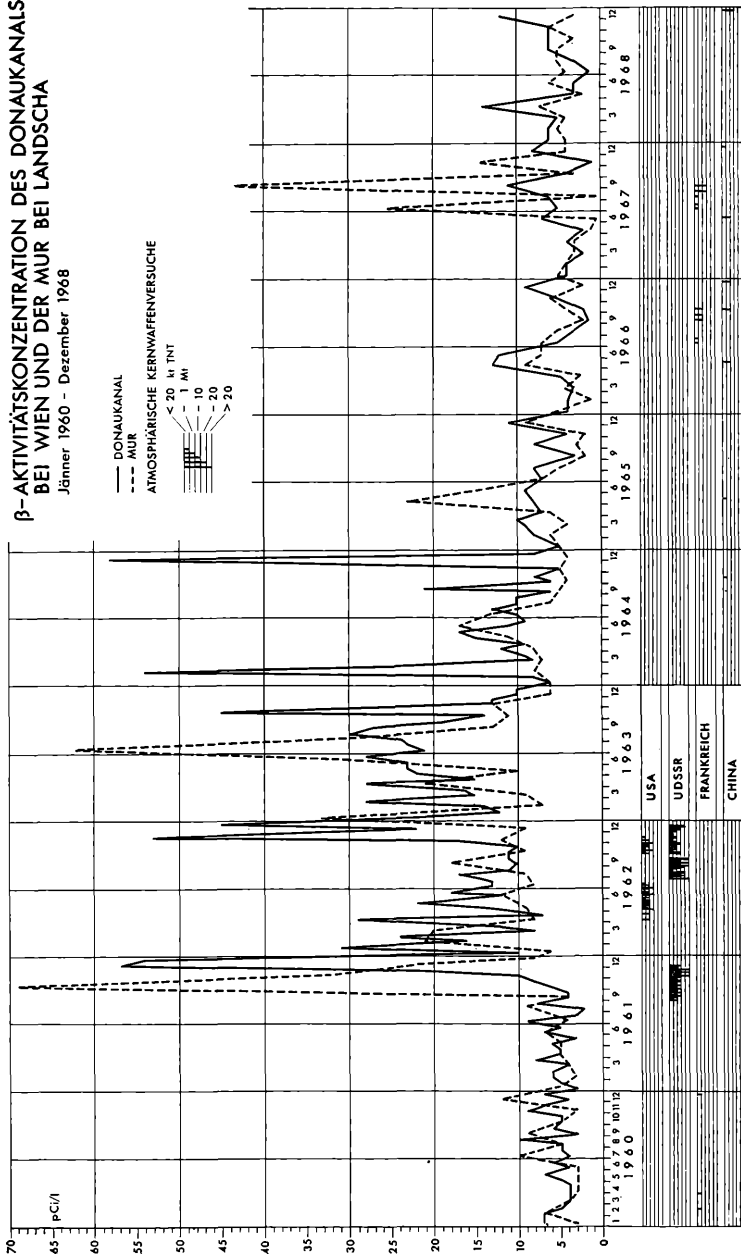


Abbildung 5

Tabelle 3

Aktivitätskonzentration im Donaukanalwasser bei Wien „oberhalb“ und „unterhalb“ der Einmündung des Reaktorabwasserkanals für den Zeitraum 1961 bis 1968

Legende: A = Jahresmittel der Gesamt- β -Aktivität in pCi/l
 A_{\max} = Maximalwert der Gesamt- β -Aktivität in pCi/l

Jahr	„oberhalb“		„unterhalb“	
	A	A_{\max}	A	A_{\max}
1961	8	58	—	—
1962	15	39	11	39
1963	17	48	16	35
1964	8	17	8	15
1965	8	41	6	12
1966	3	6	5	21
1967	3	9	4	18
1968	8	58	4	12

Auch die Untersuchungen an Wasserorganismen und Sedimenten haben, wie Tab. 4 bestätigt, ergeben, daß in ihnen mehr oder weniger starke Anreicherungen von Radioisotopen erfolgten. Hiefür war ebenfalls kaum der Reaktorbetrieb, sondern maßgeblich die Fallout-Aktivität der ausländischen Kernwaffenversuche, insbesondere der Testserie von 1961 bis 1962, verantwortlich.

Dies erhellt daraus, daß die Meßwerte des Probenmaterials „oberhalb“ und „unterhalb“ der Reaktorabwassereinleitung für gleiche Zeiträume innerhalb der Fehlergrenzen gleich waren und vor allem unterhalb der Einleitungsstelle keine höheren Werte zeigten.

Ferner war auch hier, ähnlich wie bei den Oberflächenwasserproben, eine recht deutlich ausgeprägte Übereinstimmung des Aktivitätsverlaufes mit den Kernwaffenversuchen erkennbar.

Am intensivsten wirkten sich die Kernwaffenversuche, wie dies auch im Leitha-Mühlbach bei Seibersdorf festzustellen war, im Seston aus. Aus Tab. 4 a kann man entnehmen, daß die spezifische β -Aktivität 1962 im Seston „oberhalb“ einen Maximalwert von 466 pCi/g Asche erreichte.

Die Jahresmaxima fielen im Laufe der Jahre 1963 bis 1968 von 156 auf 46 pCi/g Asche ab. „Unterhalb“ herrschten ähnliche Verhältnisse. Im Jahre 1962 verzeichnete man dort zwar nur einen Wert von 39 pCi/g Asche, doch

1963 erhöhte sich auch die Aktivität im Seston auf 268 pCi/g Asche, um bis 1968 allmählich auf 54 bzw. 30 pCi/g Asche abzusinken. Die Jahresminima wie sämtliche zeitlich entsprechenden Meßergebnisse für Seston wiesen „oberhalb“ und „unterhalb“ nur geringe Differenzen auf. Für ein und dieselbe Entnahmestelle waren dagegen innerhalb kurzer Zeitspannen beträchtliche Schwankungen in den Aktivitätswerten zu beobachten, was auf die spezifischen Eigenschaften des Planktons im Seston zurückzuführen ist. Plankton reichert offenbar bevorzugt kurzlebige Radioisotope an, diese werden rasch aufgenommen, aber auch rasch wieder abgegeben. Die Aufnahme erfolgt bei Plankton durch Absorption, Adsorption, Ionenaustausch und Nährstoffaufnahme und ist von der Jahreszeit stark abhängig.

Aus der Stellung der Wasserorganismen innerhalb der Nahrungskette, deren Anfang das niedrig organisierte Plankton bildet, läßt sich auch die Aktivität der übrigen untersuchten Wasserorganismen beurteilen. So wurden neben Plankton die Fadenbakterie *Sphaerotilus natans*, Wassermoose, Grünalgen, Algenaufwüchse, Bachflohkrebse (*Carinogammarus roeselii*), Egel (*Herpobdella*), das Fleisch und Gehäuse von Schnecken wie das Fleisch und Skelett von Fischen getestet.

Tabelle 4

Spezifische β -Aktivität von Wasserorganismen und Sedimenten aus dem Donaukanal für den Zeitraum 1961 bis 1968

Legende: A_{\max} = Maximalwert der spezifischen β -Aktivität in pCi/g Asche
 A_{\min} = Minimalwert der spezifischen β -Aktivität in pCi/g Asche
 K_{\max} = Maximalwert der Kaliumaktivität in pCi/g Asche
 K_{\min} = Minimalwert der Kaliumaktivität in pCi/g Asche

a) Seston

Jahr	„oberhalb“				„unterhalb“			
	A_{\max}	A_{\min}	K_{\max}	K_{\min}	A_{\max}	A_{\min}	K_{\max}	K_{\min}
1962	466	23	13,3	7,2	39	—	8,7	—
1963	156	133	15,2	10,5	268	185	15,6	12,2
1964	122	72	11,4	10,7	78	72	11,3	8,8
1965	62	—	11,8	—	27	—	6,2	—
1966	71	32	15,1	11,3	73	39	17,4	16,6
1967	46	27	16,7	12,3	30	15	9,9	6,1
1968	46	27	18,6	10,8	54	23	11,8	8,3

b) Egel

Jahr	„oberhalb“				„unterhalb“			
	A _{max}	A _{min}	K _{max}	K _{min}	A _{max}	A _{min}	K _{max}	K _{min}
1963	182	—	99,9	—	126	—	110,5	—
1964	126	64	45,5	8,9	110	63	73,4	46,2
1965	111	—	86,3	—	82	—	51,5	—
1966	95	77	95	75,4	98	84	95	94,9
1967	112	—	87,4	—	123	—	113,8	—

c) Mineralschlamm

Jahr	„oberhalb“				„unterhalb“			
	A _{max}	A _{min}	K _{max}	K _{min}	A _{max}	A _{min}	K _{max}	K _{min}
1962	39	13	12,5	3,9	11	—	5,4	—
1963	43	—	12,1	—	98	61	9,1	9,0
1964	27	26	10,1	4,1	16	—	5,9	—
1965	26	—	2,4	—	25	—	3,3	—
1966	21	17	4,9	4,2	23	18	6,1	4,5
1967	18	14	4,3	2,9	21	14	6,2	3,5
1968	41	22	5,4	3,6	25	11	6,3	2,7

Die Wassertiere reicherten Radioisotope durchwegs in geringerem Maße als Wasserpflanzen an. Eine etwas stärkere Akkumulation war nur in Egel (Herpobdella), wie aus Tab. 4 hervorgeht, wahrzunehmen. Das Maximum der spezifischen β -Aktivität trat für diese 1963 „oberhalb“ der Abwasser-einleitung mit 182 pCi/g Asche auf, „unterhalb“ wurden im gleichen Jahr 126 pCi/g Asche registriert. In den folgenden Jahren bis 1967 nahmen die β -Aktivitäten „unterhalb“ bis auf 63 pCi/g Asche im Jahre 1964 ab, doch 1967 wurden „oberhalb“ noch 112 pCi/g Asche und „unterhalb“ 123 pCi/g Asche ermittelt. Nach Abzug der natürlichen Kaliumaktivität von der Gesamt- β -Aktivität ergibt sich, daß für die Restaktivität kein Einfluß des Reaktors vorgelegen hat.

Allgemein wäre hervorzuheben, daß in allen untersuchten Wasserorganismen eine Anreicherung von Radioisotopen vor allem infolge der Atombombenversuche stattgefunden hat, die von den niedrigen zu den höheren Organismen bezüglich spezifischer β -Aktivität eine abnehmende Tendenz zeigte. In höher organisierten Wasserorganismen, zum Beispiel Fischen, waren zwar keine auffallend hohen Anreicherungen, dafür aber solche von langlebigen Isotopen nachzuweisen. Die Kaliumaktivität, das heißt die natürliche Aktivität im

Seston und in den Wasserpflanzen war relativ gering, unabhängig vom Fallout und lag zwischen 2,6 bis 19,9 pCi/g Asche, im Durchschnitt bei etwa 10 pCi/g Asche.

Im Muskel von Egel, Schnecken und Fischen war die natürliche Kaliumaktivität erwartungsgemäß höher.

Die Untersuchungen an Sedimenten beschränkten sich vorwiegend auf Mineralschlamm, da Faulschlamm im Donaukanal wegen der relativ starken Strömung nur vereinzelt angetroffen wurde. Für Mineralschlamm (Tab. 4 c) stellte man die höchste wie die niedrigste β -Aktivität „unterhalb“ der Einmündung des Reaktorabwasserkanals fest. Maxima von 98 pCi/g Asche für die Gesamtaktivität und von 89 pCi/g Asche für die Restaktivität konnte man im April 1963 beobachten; die Minima von 11 pCi/g Asche für die Gesamtaktivität bzw. von 6 pCi/g Asche für die Restaktivität verzeichnete man im Oktober 1962. Doch auch der „unterhalb“ ermittelte Spitzenwert von 98 pCi/g Asche für Mineralschlamm war allein dem Fallout zuzuschreiben, da die Aktivitätskonzentration der Betriebsabwässer, deren Ableitung erst im Februar 1963 einsetzte, vor Mai 1963 niemals den Wert von 5 pCi/l überschritten hatte. Es war auch hier ein zwar nur schwach angedeuteter, aber doch klar erkennbarer Gang der spezifischen β -Aktivität mit dem Fallout der Atombombenversuche zu bemerken.

Grundwasser

Zur Kontrolle des Grundwassers installierte man im Gelände des Hochschulreaktors Wien acht Brunnen, die symmetrisch um das Institutsgebäude angeordnet sind. Die Untersuchungsergebnisse wurden in Tab. 5 zusammengestellt. Wenn man nun das Verhalten des Grundwassers im Zeitabschnitt 1961 bis 1968 verfolgt, findet man, daß sich die Jahresmaxima der Gesamt- β -Aktivität zwischen 6 und 19 pCi/l, die Jahresmaxima der natürlichen Kaliumaktivität zwischen 5,0 und 13,3 pCi/l bewegten. Die Jahresmaxima der künstlichen Restaktivität schwankten zwischen 2 und 16 pCi/l. Die Jahresminima der Gesamt- β -Aktivität betragen maximal 3 pCi/l, die der Kaliumaktivität reichten von 1,1 bis 4,5 pCi/l und die Restaktivität war in diesen Fällen stets null. Berücksichtigt man ferner, daß die Jahresmaxima der Gesamt- und Restaktivität sowohl in den grundwasserstromaufwärts als auch in den grundwasserstromabwärts gelegenen Brunnen registriert wurden, das absolute Aktivitätsmaximum im Jahre 1964 auftrat und die Restaktivität für den Großteil der Grundwasserproben praktisch zu vernachlässigen war, dann ergibt sich, daß durch den Betrieb des Hochschulreaktors keine Beeinflussung des Grundwassers erfolgte. Hingegen läßt der Verlauf der Gesamt- und Rest-

aktivitäten eine wenn auch sehr stark abgeschwächte und gegenüber den Oberflächengewässern etwa um ein Jahr verzögerte Einwirkung der atmosphärischen Kernwaffenversuche erkennen.

Tabelle 5

Aktivitätskonzentration des Grundwassers im Gefährdungsbereich des Hochschulreaktors in Wien-Prater für den Zeitraum 1961 bis 1968

Legende: A_{\max} = Maximalwert der Gesamt- β -Aktivität in pCi/l
 A_{\min} = Minimalwert der Gesamt- β -Aktivität in pCi/l
 K_{\max} = Maximalwert der Kaliumaktivität in pCi/l
 K_{\min} = Minimalwert der Kaliumaktivität in pCi/l

Jahr	Zahl der Untersuchungen	A_{\max}	A_{\min}	K_{\max}	K_{\min}
1961	9	7	< 3	5,9	4,5
1962	9	6	3	5,0	3,8
1963	47	18	3	10,6	3,6
1964	35	19	3	5,0	1,1
1965	24	13	< 3	11,3	1,1
1966	16	11	3	9,1	3,6
1967	16	11	< 3	13,3	3,0
1968	8	12	< 3	8,1	3,1

Studienreaktor Graz

Der Studienreaktor in Graz, der auf dem Gelände der Technischen Hochschule, Steyrergasse 17, erbaut wurde und die internationale Bezeichnung SAR-Graz (Siemens-Argonaut-Reaktor) trägt (9), verfügt unter den österreichischen Reaktoren über die kleinste thermische Leistung. Bei Dauerbetrieb beläuft sich diese Leistung auf 1 kW, kann aber auf maximal 10 kW erhöht werden, falls der Reaktor nur zwei Stunden täglich arbeitet (14). Charakteristische Merkmale des Reaktors sind seine heterogene, thermische Bauweise, wobei der Kernbrennstoff aus U_3O_8 , angereichert mit 20% Uran-235, besteht, während als Moderator und Bremsmittel voll entsalztes leichtes Wasser und Graphit Verwendung finden. Die Brennstoff-Elemente haben die Form von Plattenbündeln, die gasdicht von einer Aluminiumhülle überzogen sind, so daß normalerweise keine Spaltprodukte in das umgebende Moderatorwasser gelangen können. Das Wasser wirkt gleichzeitig als Kühlmittel.

Da die Hauptaufgabe des Reaktors in der Schulung und Forschung, speziell in der Bearbeitung und Lösung von Problemen der Reaktorphysik, Reaktormeißtechnik sowie Steuerung schneller Reaktoren liegt, ist der vorgesehene mittlere thermische Neutronenfluß von 10^{10} n/cm²s völlig ausreichend.

Abwasserverhältnisse

Als Genehmigungsgrundlage für die Ableitung radioaktiver Abwässer in das städtische Kanalisationsnetz von Graz und weiterhin in die Mur diente auch hier die von der ICRP (10) empfohlene Summenformel in der gekürzten Schreibweise:

$$(Ra-226 + Pu + Po) \cdot 1000 + \alpha\text{-Strahler} \cdot 15 + Sr-90 \cdot 100 + Pb-210 \cdot 100 + \text{sonstige } \beta\text{-Strahler} \leq 10.000 \text{ pCi/l (max. } 100.000 \text{ pCi/l)}$$

Nach dieser Formel ist für das Überpumpen von Abwasser aus den Abklingbehältern, das nur während der Nachtstunden gestattet ist, im Normalfall eine Aktivitätskonzentration bis zu 10.000 pCi/l bzw. bei unvorhergesehenen Ereignissen bis zu 100.000 pCi/l zugelassen. Entsprechend der Größe der Abklingbehälter könnte demnach eine Ableitung von 0,013 mCi/Nacht (max. 0,13 mCi/Nacht) erfolgen. Gleichzeitig muß jedoch eine weitere Bedingung, nämlich die mindestens 100fache Verdünnung im städtischen Kanal, erfüllt werden, die nötigenfalls durch Zuleitung aus dem Grazer Wasserversorgungsnetz zu erreichen wäre.

Da, wie bereits erwähnt, die im Grazer Reaktor seit 1965 — dem Zeitpunkt des Kritischwerdens — durchgeführten Arbeiten fast ausschließlich physikalischer Natur waren und die Reaktorleistung überdies weit unterhalb des vorgesehenen Wertes von 1 kW gehalten wurde, fielen bisher nur vernachlässigbar kleine Mengen an Abwasser an; eine Entleerung in den Vorfluter erübrigte sich daher. Auch die Aktivitätskonzentrationen blieben stets weit unterhalb der erlaubten Grenzwerte.

Oberflächenwasser und Grundwasser

Infolge des geringen Aktivitätsanfalles vom Grazer Reaktor waren auch weder im Grundwasser noch im Oberflächenwasser Aktivitätserhöhungen durch den Reaktorbetrieb zu erwarten oder nachzuweisen. Dies geht aus Abb. 5 hervor, wo der Verlauf der Aktivitätskonzentration in der Mur, dem Vorfluter des Grazer Reaktors, weit unterhalb von Graz bei Landscha während der Jahre 1960 bis 1968 im Zusammenhang mit den atmosphärischen Kernwaffenversuchen aufgezeichnet und mit jenem im Donaukanal bei Wien verglichen wurde. Man ersieht aus dem Diagramm, daß — ähnlich wie im Donaukanal

bei Wien – die Aktivitätserhöhungen in der Mur auf den Fallout zurückzuführen waren und mangels jeder Ableitung von Betriebsabwässern aus dem Grazer Reaktor auch nur durch die Kernwaffenversuche verursacht sein konnten. Die höchste tatsächlich gemessene Aktivitätskonzentration von 69 pCi/l vermerkte man bereits im Oktober 1961, doch auch 1963 und 1967 waren noch höhere Aktivitätswerte von 62 bzw. 43 pCi/l zu verzeichnen. Errechnet man aber die Jahresmittelwerte, dann läßt sich augenfällig ein Ansteigen der Aktivität mit Einsetzen und Fortführung der Kernwaffenversuche von 5 auf 20 pCi/l im Jahre 1963 sowie anschließend ein allmähliches Absinken bis zu 5 pCi/l im Jahre 1969 im Einklang mit dem Stopp der intensiven Atom-bombentestserien wahrnehmen.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Österreich besitzt zur Zeit drei kleinere Reaktoren, deren Ziel im wesentlichen in der Forschung und Schulung liegt. Diese Reaktoren befinden sich in Seibersdorf, Wien sowie in Graz und wurden in den Jahren 1960, 1962 bzw. 1965 kritisch.

Die thermische Leistung des ASTRA-Reaktors in Seibersdorf beträgt 5 MW, die des TRIGA-MARK II-Reaktors in Wien 100 kW und jene des SAR-Reaktors in Graz nur 1 kW. Entsprechend der niederen Leistung blieben auch Menge und Gesamtaktivität der radioaktiven Betriebsabwässer relativ gering. Bis Dezember 1968 wurden vom Forschungsreaktor Seibersdorf insgesamt rund 223.000 m³ Betriebsabwasser mit einer Aktivität von 809 mCi in den Vorfluter Leitha-Mühlbach abgeleitet; aus dem Forschungsreaktor Wien brachte man etwa 3000 m³ Betriebsabwasser von 10,2 mCi Aktivität in den Vorfluter Donaukanal ein; im Studienreaktor Graz fielen nur so geringe aktive Betriebsabwassermengen an, daß bisher keine Entleerung der Abwassertanks nötig war und der Vorfluter Mur daher vom Reaktor keine Belastung erfuhr. Aber auch die Aktivitätserhöhungen, die die Reaktoren von Wien und Seibersdorf im Donaukanal und im Leitha-Mühlbach verursachten, waren vernachlässigbar klein.

Die bisherigen Untersuchungen und Meßergebnisse lassen erkennen, daß durch die Reaktoren in Seibersdorf, Wien und Graz außer einer leichten Aktivitätserhöhung im Flußsediment des Leitha-Mühlbaches weder eine nachweisbare radioaktive Verunreinigung des Grundwassers noch eine Kontamination des Oberflächengewässers speziell auch der Vorfluter einschließlich Wasserorganismen und Sedimente eingetreten ist. Die beobachteten Aktivitäts-

erhöhungen im Wasser, in den Wasserorganismen und Sedimenten waren hauptsächlich auf die Auswirkung der ausländischen atmosphärischen Kernwaffenversuche zurückzuführen, wobei der Aktivitätsverlauf eine eindeutige Beziehung bezüglich Zeitpunkt, Zahl und Stärke der Kernexplosionen aufwies.

Literatur

- Bundesanstalt für Wasserbiologie und Abwasserforschung (1968): Gutachten über die gütemäßige Beschaffenheit der Grundwässer, Oberflächengewässer, Abwässer und Zuckerrübenprodukte im Gefährdungsbereich des Forschungsreaktors der österreichischen Studiengesellschaft für Atomenergie in Seibersdorf, Zeitabschnitt 1963–1967, Wien.
2. Bundesanstalt für Wasserbiologie und Abwasserforschung (1968): Radiologisches Gutachten über die Gewässer und Abwässer im Gefährdungsbereich des Forschungsreaktors der österreichischen Hochschulen in Wien/Prater für 1961–1967, Wien.
 3. Bundesstrombauamt Wien (1969): Durchflußangaben für den Donaukanal, Wien.
 4. BJÖRNERUD, E. K., STERN, M. O. (1961): Neutronenverlangsamung im Zirkonhydrid und der prompte negative Temperaturkoeffizient des TRIGA, Elektrotechnik und Maschinenbau, Jg. 78, H. 19, 576–581, Springer-Verlag, Wien.
 5. FRANTZ, A. (1964): Die Radioaktivität der Oberflächengewässer und des Grundwassers in der Umgebung des Forschungsreaktors in Seibersdorf, NÖ., Wasser und Abwasser, Bd. 1964, Verlag Winkler & Co., Wien.
 6. Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (1963): Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 1962, 70. Band, S. 163, Wien.
 7. IAEA (1966): Directory of Nuclear Reactors, Vol. 6, pg. 9, Vienna.
 8. IAEA (1962): Directory of Nuclear Reactors, Vol. 2, pg. 241, Vienna.
 9. IAEA (1966): Directory of Nuclear Reactors, Vol. 6, pg. 113, Vienna.
 10. ICRP – Publ. 2 (1959): Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation, Pergamon Press, London.
- MÜLLER-NEUHAUS, G. (1965): Die Ableitung radioaktiver Abwässer in öffentliche Gewässer, Gas- und Wasserfach, Jg. 106, H. 38, 1035–1039.
- RUF, M. (1968): Die Kontamination der Fließgewässer durch radioaktive Substanzen mit besonderer Berücksichtigung der Flußstautufen, Die Wasserwirtschaft, Jg. 58, H. 1, Stuttgart.
13. SGAE (1960): Astra-Reaktor, Sicherheitsbericht, Wien.
 14. Verein zur Förderung der Anwendung der Kernenergie (1963): Sicherheitsbericht für den Siemens-Argonaut-Reaktor, Graz.

Anschrift des Verfassers: Laboratoriumsvorstand Dr. Anny FRANTZ, Leiterin der Abteilung Radiologie, Bundesanstalt für Wasserbiologie und Abwasserforschung, Schiffmühlenstraße 120, A-1223 Wien.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wasser und Abwasser](#)

Jahr/Year: 1968

Band/Volume: [1968](#)

Autor(en)/Author(s): Frantz Anny

Artikel/Article: [Die österreichischen Kernreaktoren und ihre bisherige Auswirkung auf Grund- und Oberflächengewässer 121-140](#)