

Zeitschrift: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz

Band: - (1992)

Rubrik: Industrien und Spitäler

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: 14.02.2026

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

5. INDUSTRIEN UND SPITÄLER

5.1. VERARBEITUNG RADIOAKTIVER STOFFE IN INDUSTRIEBETRIEBEN UND ABGABEN AN DIE UMWELT

Th. Lauffenburger, Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Abteilung Arbeitssicherheit, Sektion Physik, Fluhmattstr. 1, 6002 LUZERN

Die SUVA betreut als Aufsichtsbehörde folgende Betriebe, die mit offenen radioaktiven Stoffen arbeiten:

Produktionsbetriebe (Total 5 Betriebe)

Radioaktiven Stoffe werden benötigt für die Produktion von:

- Leuchtfarbe (H-3, C-14, Pm-147)
- Tritiumgaslichtquellen (H-3)
- Ionisationsrauchmelder (Am-241)
- Ueberspannungsableiter (H-3, Pm-147)
- Neutronengeneratoren (H-3)

Leuchtfarbenbetriebe (Total 16 Betriebe)

Die Tritiumleuchtfarbe wird manuell oder maschinell auf Zeigern und Zifferblättern von Uhren oder Instrumenten aufgetragen.

Forschungsbetriebe (Total 61 Betriebe)

Es sind dies Unternehmungen der chemischen Industrie, die unter anderem Stoffwechseluntersuchungen mit radioaktiv markierten Stoffen durchführen.

Medizinisch analytische Laboratorien (Total 66 Betriebe)

Für Hormonbestimmungen werden sogenannte Radioimmunoassay Kits (Ria-Kits) mit I-125 und gelegentlich mit Co-57 Markierungen eingesetzt.

Einkauf radioaktiver Stoffe 1992 (1991):

Produktionsbetriebe	H-3	17	(13.)	PBq
	C-14	3.9	(0.74)	TBq
	Pm-147	0.13	(42)	TBq
	Am-241	22	(29)	GBq
Leuchtfarbenbetriebe	H-3	1.3	(0.97)	PBq
Forschungsbetriebe	H-3	6.1	(10.4)	TBq
	C-14	590	(330)	GBq
	P-32	110	(110)	GBq
	S-35	62	(60)	GBq
	Ca-45	1.8	(1.5)	GBq
	Cr-51	32	(36)	GBq
	I-125	170	(176)	GBq
Analytische Laboratorien	H-3	38		MBq
	Co-57	140	(150)	MBq
	I-125	4.5	(5.0)	GBq

Auch 1992 hat die in den Leuchtfarbenbetrieben verarbeitete Tritiumleuchtfarbe im Vergleich zum Vorjahr um ca. 30% zugenommen.

Im Berichtsjahr 1992 haben alle Betriebe, auch die in der Tabelle 1 aufgeführten Produktionsbetriebe, die Abgabelimiten eingehalten.

MBq	=	Mega-Becquerel	=	10^6	Bq
GBq	=	Giga-Becquerel	=	10^9	Bq
TBq	=	Tera-Becquerel	=	10^{12}	Bq
PBq	=	Peta-Becquerel	=	10^{15}	Bq

Tabelle 1

Jahresabgaben in GBq/Jahr aus Betrieben

Jahr	MB Microtec AG Niederwangen / BE			Radium-Chemie AG Teufen / AR			Cerberus AG Volketswil / ZH		
	Abwasser Tritium	Abluft Tritium		Abwasser Tritium	Abluft Tritium		Abwasser Tritium	Am-241	Abluft Tritium
		Total	davon HTO		Total	davon HTO			
1979	74	<111'000	< 1'500	19.0	--	--	--		--
1980	31	--	--	13.0	--	--	--		--
1981	15	--	--	10.4	--	--	--		--
1982	11	140'000	10'600	11.3	9'600	7'000	--		--
1983	15	123'000	20'700	11.8	8'700	7'400	--		--
1984	19	207'000	18'700	17.8	11'800	10'300	68.5	$<0.6 \cdot 10^{-3}$	700
1985	9	241'000	30'000	11.8	11'000	9'600	9.0	$<0.6 \cdot 10^{-3}$	1'400
1986	14	166'000	26'500	14.4	10'700	9'400	7.8	$<0.9 \cdot 10^{-3}$	400
1987	8	78'000	32'000	13.0	14'000	12'400	4.3	$<0.9 \cdot 10^{-3}$	500
1988	16	116'000	28'000	15.4	16'200	15'000	9.6	$<3.8 \cdot 10^{-3}$	1'400
1989	12	83'000	26'500	15.6	13'700	11'800	6.2	$<5.6 \cdot 10^{-3}$	1'200
1990	11	103'000	24'100	14.7	14'200	12'300	8.8	$<3.9 \cdot 10^{-3}$	600
1991	11	96'000	21'300	12.4	14'000	12'100	2.4	$<4.6 \cdot 10^{-3}$	300
1992	12	73'000	21'100	14.3	14'300	12'400	16.5	$4.0 \cdot 10^{-3}$	210

Abgabelimi- ten in GBq pro Woche		HT	HTO		HT	HTO			
	0.7 ¹⁾²⁾	37'000 ¹⁾	3'700 ¹⁾	1.9 ¹⁾³⁾	3'700 ¹⁾	1'850 ¹⁾	3.7 ⁴⁾	0.0037 ⁴⁾	200 ⁴⁾
pro Jahr	(≈ 36)	370'000 ¹⁾	37'000 ¹⁾	(≈ 100)	37'000 ¹⁾	18'500 ¹⁾	(≈ 190)	(≈ 0.20)	3'700 ⁴⁾

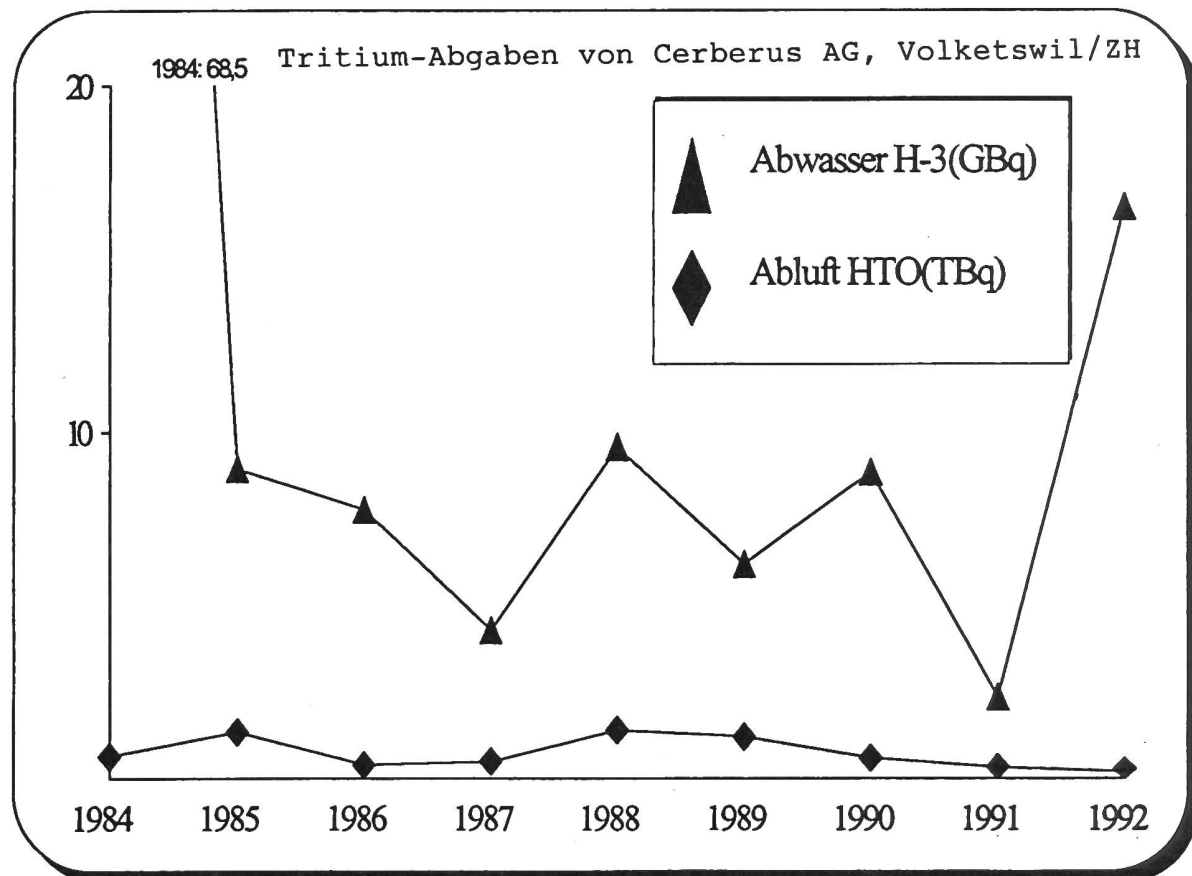
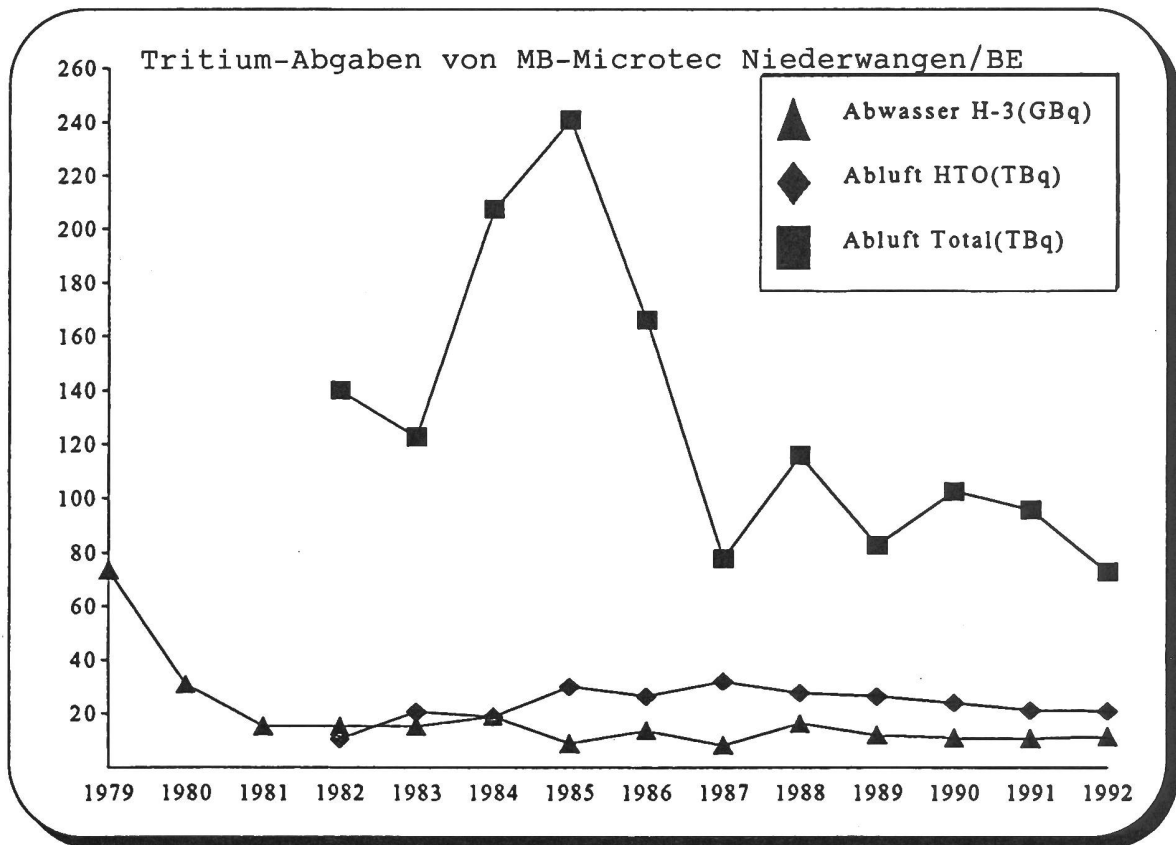
-- = keine Abgabe

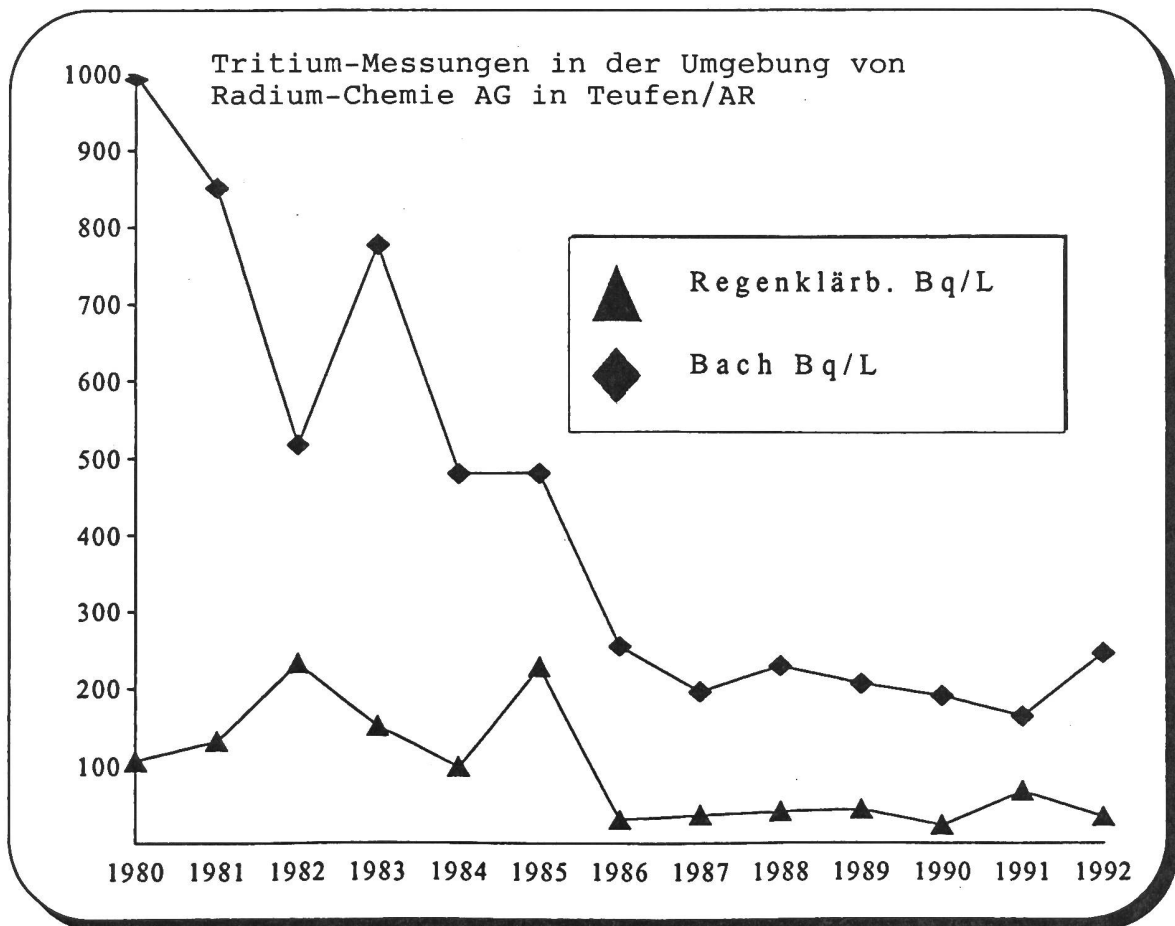
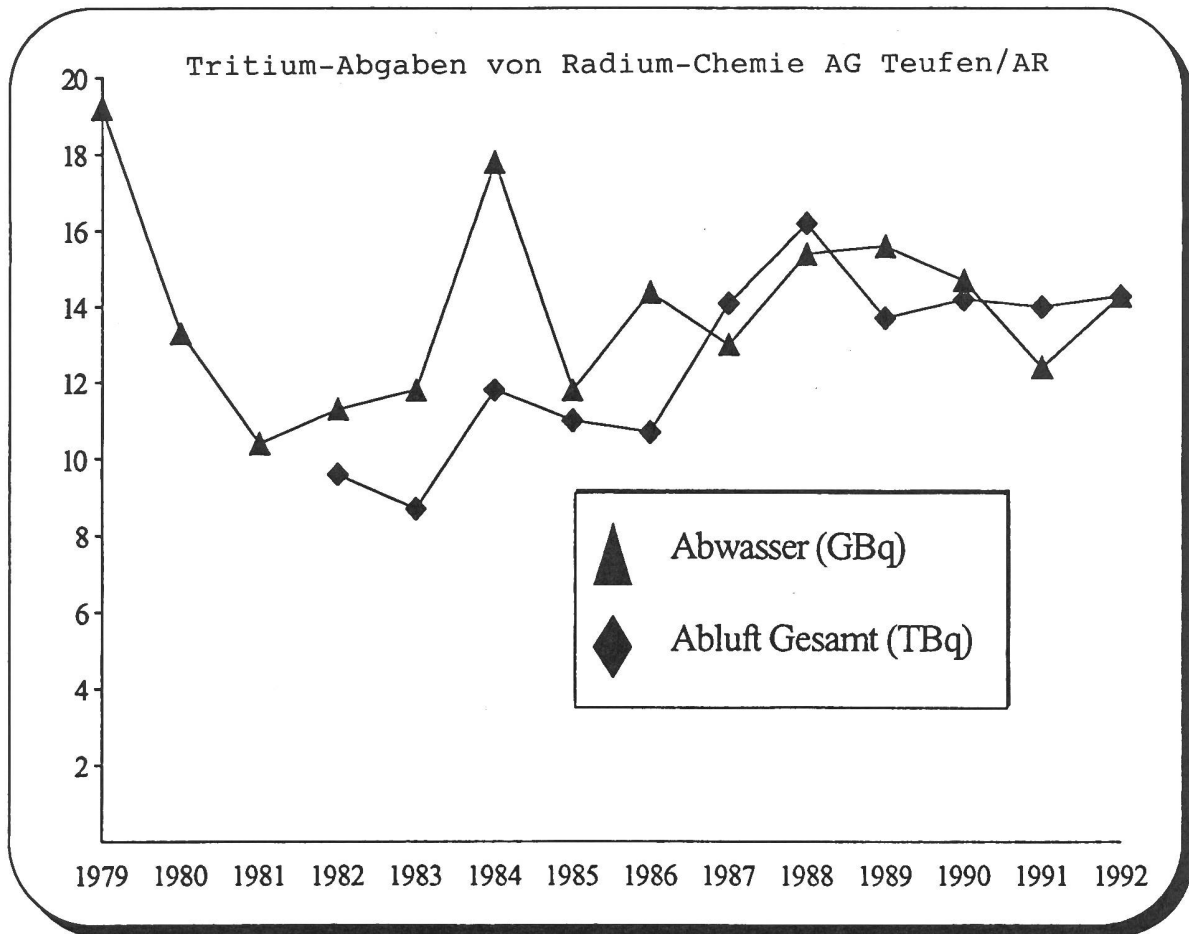
1) Gültig seit 1984

3) Wochenlimite für C-14 = 0.4 GBq

2) Wochenlimite für C-14 = 0.15 GBq

4) Gültig seit 1988





5.2. ABGABE VON RADIONUKLIDEN AUS SPITÄLERN AN DAS ABWASSER

E. Elmer ¹⁾, P. Haag ¹⁾ und H. Völkle ²⁾, Abteilung Strahlenschutz, BAG

¹⁾ Sektion Betriebskontrollen, 3001 BERN

²⁾ Sektion Überwachung der Radioaktivität, Chemin du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Zusammenfassung

Erstmals sind in diesem Bericht Zahlen über die Radioaktivitätsabgaben (Jod-131) aus Spitälern über das Abwasser enthalten. Sie ermöglichen eine bessere Interpretation der Jod-Messungen im Ausfluss von städtischen Abwasserreinigungsanlagen.

5.2.1. Anwendung von Radionukliden am Menschen

In der Nuklearmedizin werden für Diagnostik und Therapie radioaktive Stoffe in offener Form am Menschen appliziert, die zum Teil im Körper zerfallen, zum Teil über Urin und Stuhl wieder ausgeschieden werden. In der Regel handelt es sich um Radionuklide mit sehr kurzen Halbwertszeiten im Bereich von Minuten bis einigen Tagen, wobei Jod-131 mit einer physikalischen Halbwertszeit von 8 Tagen das strahlenschutztechnisch dominierende Nuklid ist. In den in der Tabelle aufgeführten Spitälern wurden 1992 insgesamt rund 1400 GBq (38 Ci) Jod-131 an Patienten appliziert (davon 25% in Zürich und 31% in Bern) davon etwa 108 GBq (2.9 Ci) ambulant.

In Spitälern, wo insbesondere Jod-131 zur stationären Behandlung von Patienten mit Schilddrüsenerkrankungen verwendet wird, verlangt die Aufsichtsbehörde eine kontrollierte Abgabe der Abwässer aus den Therapie-Patientenzimmern über eine Abwasser-Abklinganlage. Das Jod-131 wird in der Regel oral verabreicht und zum grossen Teil wieder ausgeschieden. Während bei niedrigen Aktivitäten die Behandlung meist ambulant erfolgt ist der Patient bei Aktivitätsmengen über 0.19 GBq (5 mCi) während mindestens 48 Stunden in speziellen Patientenzimmern zu stationieren. Die Exkrete der Patienten gelangen über separat eingerichtete Toiletten in die Abklinganlage und werden dort solange zurückgehalten, bis deren Aktivität weitgehend abgeklungen ist. Die Aufsichtsbehörde hat für jedes Spital individuell im Bewilligungsverfahren eine maximale wöchentliche Abgaberate festgelegt. Die Entnahme von Abwasserproben vor einer Entleerung in die öffentliche Kanalisation ermöglichen die Erstellung einer Abwasser-Abgabebilanz.

5.2.2. Überwachung der Kläranlagen auf Jod-131

In diesem Bericht werden erstmals für die mit Abkling- und Kontrollanlagen ausgerüsteten Spitäler die entsprechenden Abgabebilanzen an das Abwasser veröffentlicht. Damit wird ein Vergleich mit den wöchentlichen Jod-131-Messungen am Ausfluss der betreffenden städtischen Kläranlagen möglich. Solche Messungen werden seit einigen Jahren für die Städte Zürich, Bern, Basel und Lausanne durchgeführt und ergeben, mit Ausnahme von Bern, meist

Jod-131-Werte unter der Nachweisgrenze (vergl. Kap. 5.3.). Daraus lässt sich, unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit schliessen, dass die von den betreffenden Spitälern gemeldeten Jod-131-Abgabebilanzen, mit Ausnahme von Bern, korrekt sind und die bewilligten Abgaberaten nicht überschritten sind.

5.2.3. Kläranlage Bern

Lediglich für Bern ergeben sich Diskrepanzen zwischen der Jod-131-Bilanz anhand der Messungen im städtischen Abwasser und den deklarierten Jod-Abgaben aus der Nuklearmedizinischen Abteilung des Inselspitals. Während die Messungen am Ausfluss der Kläranlage für 1991 und 1992 einen Jahresabfluss von zwischen 50 und 100 GBq ergeben, beträgt die Abgabe über die Abwasserkontrollanlage gemäss Meldung des Inselspitals nur 6 bzw. 5 GBq für die beiden genannten Jahre. Die Abgabelimite beträgt gemäss Genehmigung: 0.37 GBq/Woche. Andere Betriebe auf dem Platz Bern mit Jod-Abgaben sind nicht bekannt.

An ambulant behandelten Patienten, die nach der Jod-Therapie bzw. -Diagnose nach Hause entlassen werden, wurde 1991 bzw. 1992 im Inselspital 21 bzw. 28 GBq appliziert. Auch wenn diese Personen alle im Einzugsgebiet der ARA Bern wohnen würden, und diese Jod-Mengen ausschliesslich in das städtische Abwasser gelangen würden, wäre damit die Diskrepanz noch nicht erklärt. Zur Klärung der Situation sind weitere Untersuchungen und Kontrollmessungen im Gang.

Aus den Spitälern 1992 über Abwasserkontrollanlagen an die Kanalisation abgegebene Jod-131-Mengen in GBq

Spital	Stadt-Spital Triemli	Univer- sitäts- Spital	Limattal- Spital	Hôpital de	CHUV	Kant.Spital Münster- lingen	Hospedale San Giovanni	Kantons- Spital
Ort	Zürich	Zürich	Zürich	Sion/VS	Lausanne	Thurgau	Bellinzon	St. Gallen
Januar	0.367	0.0540	0.000	0.0003	0.0000	?	0.000	?
Februar	0.250	0.0000	0.000	0.0000	0.0024	?	0.000	?
März	0.496	0.0389	0.000	0.0172	0.0000	?	0.006	?
April	0.341	0.0000	0.000	0.0000	0.0046	?	0.000	?
Mai	0.224	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	?	0.000	?
Juni	0.484	0.0252	0.000	0.0003	0.0118	?	0.009	?
Juli	0.240	0.2734	0.000	0.0000	0.0000	?	0.004	?
August	0.242	0.0451	0.000	0.0240	0.0041	?	0.370	?
September	0.484	0.1084	0.000	0.0000	0.0037	?	0.000	?
Oktober	0.245	0.0329	0.000	0.0090	0.0259	?	0.000	?
November	0.388	0.0352	0.000	0.0000	0.0000	?	0.000	?
Dezember	0.258	0.0070	0.000	0.0090	0.0000	?	0.005	?
Total 1992	3.919	0.6201	0.000	0.0598	0.00525	0.000	0.394	0.000

Spital	Kantons- Spital	Bürger- Spital	Kantons- Spital	Hôpital Cantonal	Insel- Spital	Kantons- Spital	Kantons- Spital
Ort	Schaffhausen	Solothurn	Chur	Genève	Bern	Basel	Baden
Januar	?	0.000	?	0.000	0.000	0.185	0.0052
Februar	?	0.000	?	0.228	0.259	0.185	0.0072
März	?	0.000	?	0.216	0.233	0.093	0.0000
April	?	0.000	?	0.122	0.833	0.278	0.0000
Mai	?	0.000	?	0.089	0.252	0.555	0.0000
Juni	?	0.000	?	0.194	0.451	0.429	0.0000
Juli	?	0.000	?	0.189	0.525	0.511	0.0048
August	?	0.000	?	0.000	0.944	0.333	0.0000
September	?	0.000	?	0.028	0.603	0.307	0.0000
Oktober	?	0.000	?	0.411	0.629	0.241	0.0000
November	?	0.000	?	0.105	0.481	1.754	0.0005
Dezember	?	0.000	?	3.700	0.118	0.303	0.0020
Total 1992	?	0.000	<0.75	5.282	5.328	5.173	0.0197

? = keine Angabe zur Zeit der Drucklegung

5.3. UMGEBUNG VON INDUSTRIEBETRIEBEN; KLÄRANLAGEN UND DEPONIEN

H.Surbeck Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUER)
Bundesamt für Gesundheitswesen, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

5.4.1 Zusammenfassung

1992 wurden wie in früheren Jahren erhebliche Mengen Tritium durch die mb-microtec in Niederwangen in die Luft abgelassen, allerdings im Rahmen der bewilligten Grenzwerte. Dies zeigt sich deutlich sowohl in den Niederschlägen als auch in der Luftfeuchte in der Umgebung des Betriebes.

In den geklärten Abwässern der ARA Bern, Basel und Lausanne waren nur Spuren von Tritium feststellbar. ^{131}I konnte im Ausfluss der ARA Bern häufig nachgewiesen werden.

Als guter, allerdings nur qualitativer Indikator für erhöhte Aktivität im Abwasser hat sich Klärschlamm erwiesen. ^{131}I konnte in mehreren Proben aus der ganzen Schweiz wie in früheren Jahren problemlos gemessen werden.

5.4.2 Messprogramm

In den Zuständigkeitsbereich unserer Gruppe fallen die Umgebung eines Tritiumverarbeiters in Niederwangen bei Bern, die Kläranlagen von Basel, Bern und Lausanne (nur Tritium) und auf Anfrage der Kantone die Deponien.

5.4.3 Methodik

Niederschläge

An vier Standorten in der Umgebung der mb-microtec in Niederwangen werden zweiwöchentlich Niederschlagsproben erhoben und auf Tritium analysiert.

Luftfeuchte

An einem der Standorte in Hauptwindrichtung zur mb-microtec in Niederwangen wird Luft durch zwei mit Wasser gefüllte Waschflaschen geleitet und jeweils nach zwei Wochen die Tritiumkonzentration im Wasser der beiden Waschflaschen gemessen. Damit kann die Tritiumkonzentration in der Luftfeuchte bestimmt werden.

Abwasser

Wochensammelproben des geklärten Abwassers aus den ARA Basel und Bern werden gamma-spektrometrisch analysiert. Jeweils für eine Monatsmischprobe wird zusätzlich die Tri-

tiumkonzentration bestimmt (ARA Basel, Bern und Lausanne). (ARA Zürich: siehe Kap. 3.4; ARA Lausanne: Messung durch EPFL/IER Lausanne).

Wasser Allgemein

Im Wasser aus Grund- und Sickerwasserbohrungen in Deponien und deren Umgebung werden auf Anfrage der Kantone Tritium und bei starker Verschmutzung auch Gammastrahler bestimmt.

5.4.4 Resultate

Umgebung von Industriebetrieben

a) Niederwangen, Tritium im Regen

Der Regensammler-Standort ist relativ zur Hauptquelle, der mb-microtec angegeben. Statistischer Fehler der Aktivität : ca. $\pm 3\%$.

Regensammler-standort	Mit dem Regen 1992 abgelagerte Tritium- aktivität [kBq/m ²]	Tritiumaktivität in den Regenproben [Bq/Liter]		
		Mittel	Minimum	Maximum
300 m SE	120	114	30	246
200 m SW	125	119	29	274
320 m NE	492	527	126	1041
180 m NNE	203	202	86	412

Gemäss Strahlenschutzverordnung beträgt die Limite für Tritium in öffentlich zugänglichen Gewässern 12'000 Bq/Liter ($C_w/300$). Der zeitliche Verlauf für die Mess-Stelle 320 m NE ist in Fig. 1 zu sehen.

b) Niederwangen, Tritium in der Luftfeuchtigkeit

Am Probenahmeort 320 m NE der mb-microtec wird zusätzlich die Tritiumkonzentrationen in der Luftfeuchtigkeit gemessen (zweiwöchige Sammelprobe). Statistischer Fehler der Einzelmessungen ca. 20%. Der zeitliche Verlauf ist in Fig. 2 zu sehen.

	Bq/m ³	% von $C_a/300$
Minimum	3	0.3
Maximum	27	2.3
Mittelwert	11	0.9

$C_a/300$: Limite nach Strahlenschutzverordnung für die Tritiumkonzentration in der Luft in der Umgebung von Betrieben an öffentlich zugänglichen Stellen.

Tritiumkonzentration im Regen 320 m NE mb-microtec

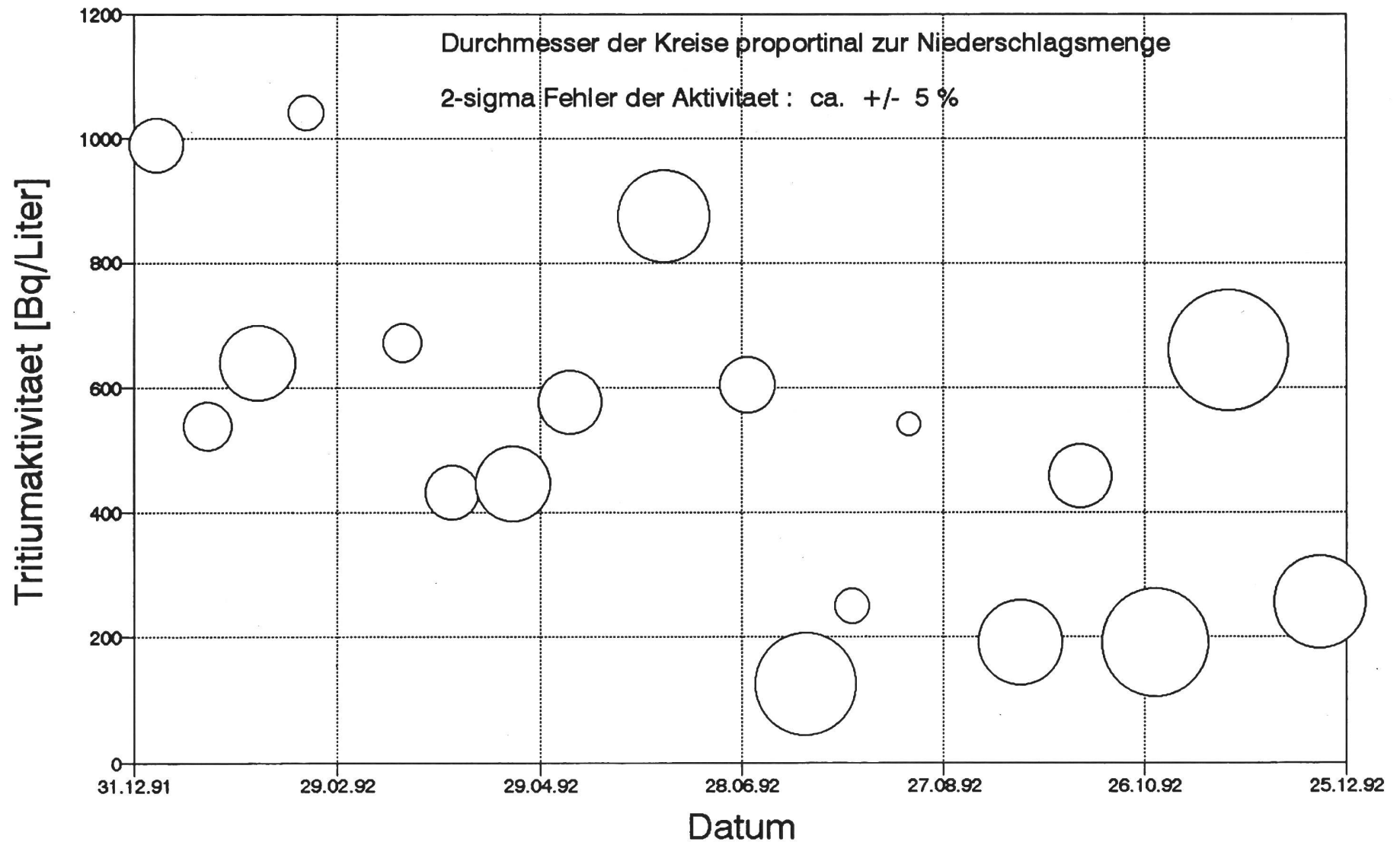


Fig. 1

Tritiumkonzentration in der Luft 320 m NE mb-microtec

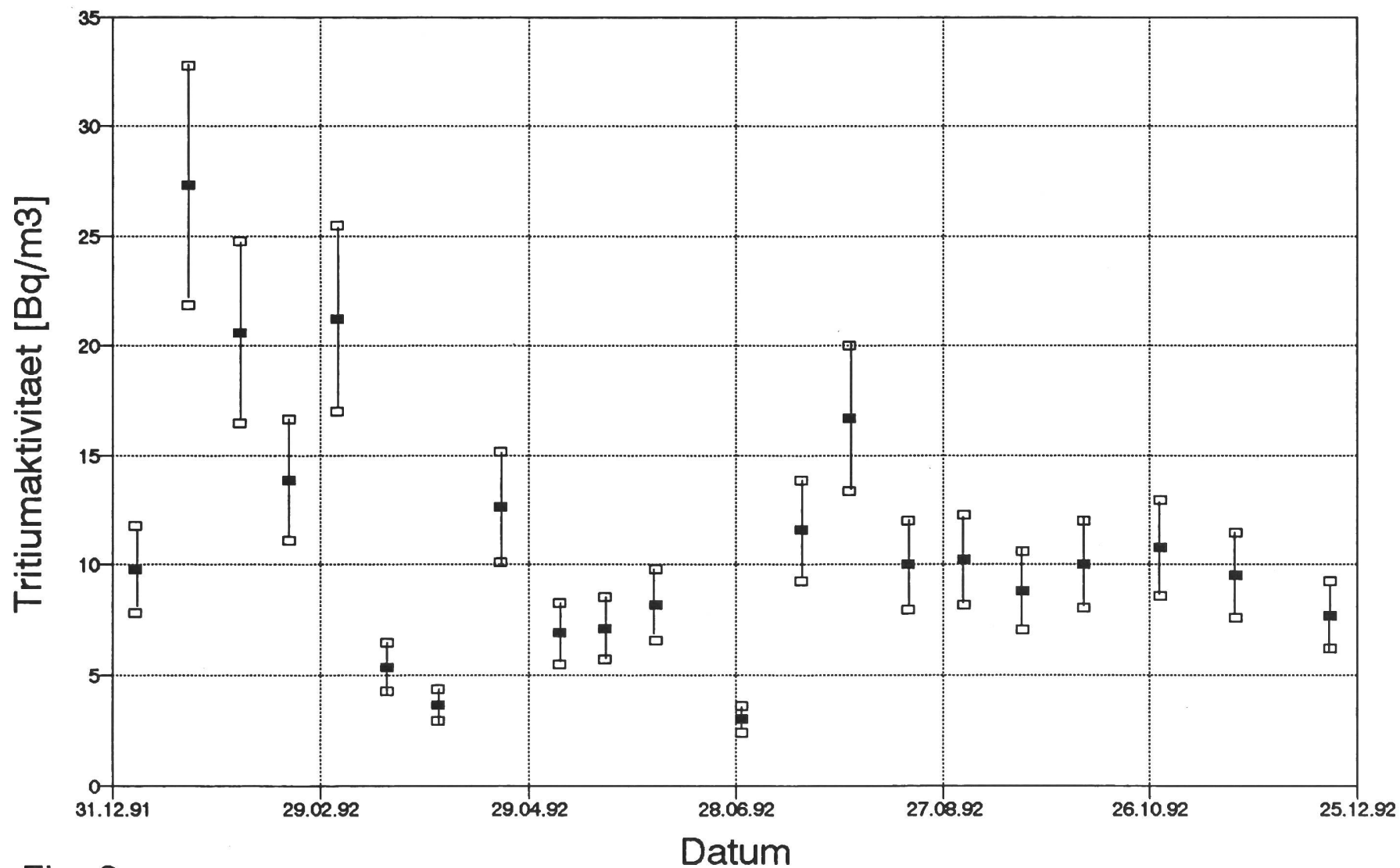


Fig. 2

Kläranlagen, Kehrichtverbrennungsanlagen

a) Klärschlamm

Alle Werte in Bq/kg frisch.

Ort	Bezugsdatum	^{40}K	^{137}Cs	^{134}Cs	^{131}I
Lugano	8.4.92	9±5	9.4±0.7	1.0±0.2	1.9±0.4
Bern	4.5.92	9±2	0.6±0.2	< 0.2	3.4±0.2
Bern	18.5.92	7±4	0.5±0.3	< 0.4	3.3±0.4
Muensterlingen	6.4.92	19±4	7.6±0.5	0.7±0.2	1.9±0.4
Morges	9.4.92	< 15	< 1	< 0.5	1.8±0.4

b) Abwasser der Kläranlagen

Mit der Ueberwachung der Kläranlagen-Abwässer ist mindestens zum Teil eine Ueberwachung der Abgaben der Spitäler möglich. ^{131}I kann aber ausser direkt aus den Spitälern auch über den Urin der ambulant behandelten Patienten ins Abwasser gelangen.

Im Abwasser der ARA Bern ist häufig ^{131}I nachweisbar (Fig.3). Typische Werte sind 1 bis 2 Bq/Liter in den Wochensammelproben, entsprechend ca. 10^9 Bq (~30mCi) pro Woche. Der höchste 1992 gemessene Wert betrug (11 ± 1) Bq ^{131}I /Liter. Die Limite für öffentlich zugängliche Gewässer gemäss Strahlenschutzverordnung beträgt für ^{131}I 7.4 Bq/Liter. Die zuständige Bewilligungsbehörde wurde darüber informiert.

Im Abwasser der ARA Basel konnte 1992 nur selten ^{131}I nachgewiesen werden (Fig.4). Die grossen Unterschiede in den Nachweisgrenzen in Fig.4 stammen daher, dass nicht immer mit dem gleichen Detektor und nicht immer gleich lang gemessen werden konnte. Bei der kurzen Halbwertszeit des ^{131}I (8 Tage) fällt auch die Zeit zwischen Probenahme und Messung ins Gewicht.

Die Proben aus der Kläranlage Zürich, gemessen durch die EAWAG, ergaben für Tritium durchwegs <10 Bq/l, für Caesium-137 Spuren bis 0.5 Bq/l und für Jod-131 durchwegs weniger als 0.2 Bq/l (vgl. Kap. 3.6.)

Die Wochensammelproben aus der Kläranlage Lausanne werden von ETHL/IRA gemessen. Sie ergaben für die Nuklide Cs-134, Cs-137 und J-131 durchwegs Aktivitätswerte unter 0.08 Bq/l.

Für die Tritiumkonzentrationen ergaben sich 1992 (Monatssammelproben):

ARA	Mittel	Minimum	Maximum
		[Bq ^3H /Liter]	
Basel	14	4	32
Bern	15	8	28
Lausanne	12	8	26

Statistischer Fehler ca. ± 20 %.

I-131 im Abwasser ARA Bern

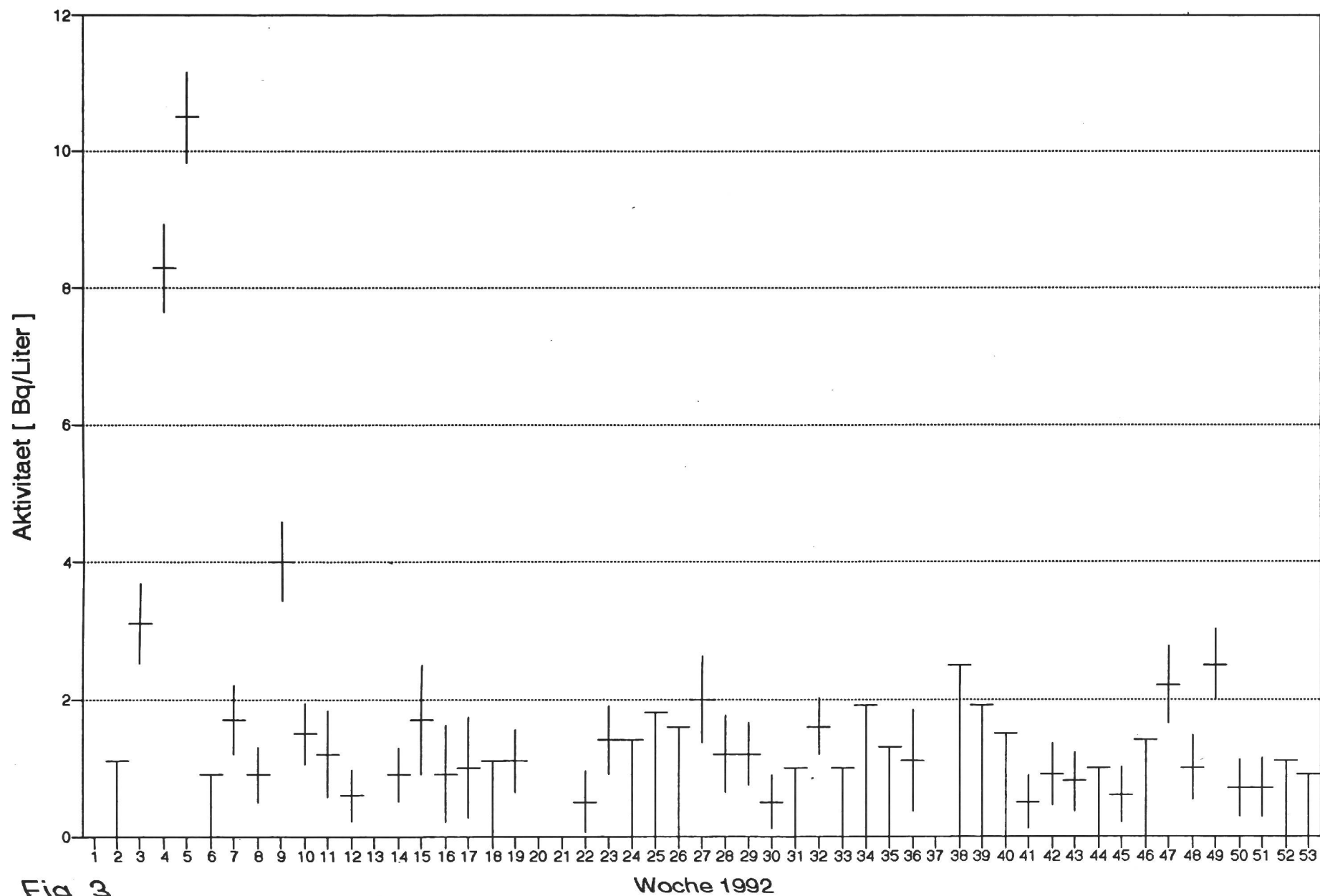


Fig 3

I-131 im Abwasser ARA Basel

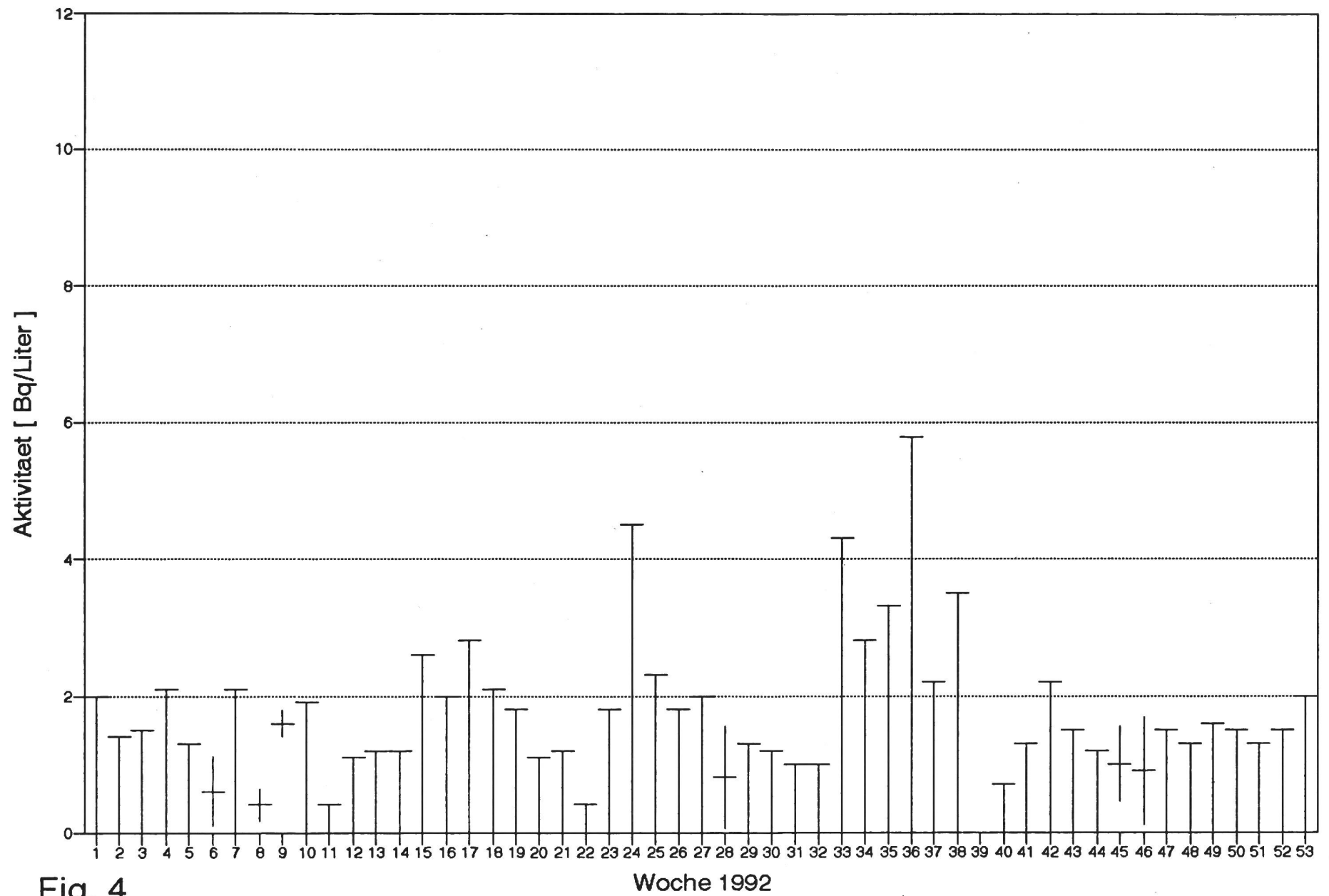


Fig. 4

Deponien

Auf Anfrage der Kantone Genf und Aargau wurden Sickerwasserproben aus mehreren Deponien auf Tritium und Gammastrahler untersucht. Erhöhte Werte (bis 1500 Bq/Liter) wurden nur im Sickerwasser der Deponien, aber nicht in Trinkwasserfassungen, gefunden. Gammastrahlern konnten nicht festgestellt werden (Nachweisgrenze für ^{137}Cs : ca. 2 Bq/Liter) (siehe auch Kap. 3.4).

5.4. TRITIUM-MESSUNGEN IN DER UMGEBUNG VON INDUSTRIEBETRIEBEN

H. Völkle Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUER)
Bundesamt für Gesundheitswesen, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Zusammenfassung

In der Region La Chaux-de-Fonds werden seit Jahren Tritium-Messungen in Abwässern, Niederschlägen und Oberflächengewässern durchgeführt. Tritium wird in dieser Gegend in der Uhrenindustrie für Leuchtfarben verarbeitet und gelangt über Abluft und Abwässer in die Umwelt. Obwohl keine Emissionswerte der einzelnen Betriebe vorliegen, kann aus den Messungen in der Kläranlage bzw. im Doubs bei St- Ursanne ein Tritium-Abfluss von rund 20-40 bzw. 20-100 TBq/Jahr bilanziert werden. Aufgrund der Trinkwassermessungen und anderer Überlegungen kann gefolgert werden, dass die Strahlendosen der Bevölkerung durch dieses Tritium unter den entsprechenden Strahlenschutzrichtwerten sind.

In der Umgebung von MB-Microtec AG in Niederwangen werden regelmässig Tritium-Messungen in Niederschlägen und Luftfeuchte durchgeführt. Sie zeigten bisher keine unzulässigen Immissionswerte. Urinmessungen bei Anwohnern ergaben Tritium-Dosen weit unter dem zulässigen Richtwert der SSVO von 0.5 mSv/Jahr. Messungen im Ausfluss der ARA-Bern und in der Aare unterhalb des Wohlensees ermöglichen es, den Netto-Tritium-Abfluss aus der Region Bern zu 10 bis 40 TBq/Jahr abzuschätzen, in Übereinstimmung mit den HTO-Abgaben des Betriebes über Abwasser und Abluft.

Die Verwendung von Tritium und dessen radiologische Bedeutung

Bis Mitte der 60er-Jahre verarbeitete die Uhrenindustrie Radium-226 für Leuchtfarbe zur Herstellung von Uhren mit Leuchtzifferblättern. In der Folge wurde versuchsweise Sr-90 und Pm-147 eingesetzt, Tritium (H-3) erwies sich jedoch als das geeignetste Radionuklid und es wird, vor allem seit den 70er-Jahren, hierfür in grossen Mengen verwendet. Hergestellt wird die Leuchtfarbe primär in einem Betrieb in der Ostschweiz, verarbeitet wird sie in den Setzateliers im Jura, vor allem in der Region La Chaux-de-Fonds.

Tritium als radioaktives Isotop des Wasserstoff zerfällt mit einer Halbwertszeit von 12.3 Jahren über einen negativen β -Zerfall in He-3. Die maximale bzw. mittlere Energie der emittierten Elektronen beträgt 18 bzw. 5.5 keV. Infolge der schwachen Zerfallsenergie beträgt die Reichweite der Elektronen im Gewebe nur wenige μm ; die externe Strahlenexposition ist daher gegenüber der internen nach Aufnahme über Atemluft als Wasserdampf, Trinkwasser, Nahrung oder Hautkontakt vernachlässigbar. In seiner oxydierten Form als HTO nimmt Tritium am Wasserhaushalt des Körpers teil und ist rund Zehntausend mal wirksamer als das HT-Gas. In der Schweiz gelten gemäss der Strahlenschutzverordnung vom Juni 1976 für Atemluft und Trinkwasser im öffentlich zugänglichen Bereich die folgenden Richtwerte: Luft: 250 kBq/m³ (HT) bzw. 1.2 kBq/m³ (HTO); Wasser: 12.3 kBq/L (HTO). Diese Werte führen bei Dauerexposition zu je 0.5 mSv/Jahr.

Fig.1:Tritium: Region La Chaux-de-Fonds

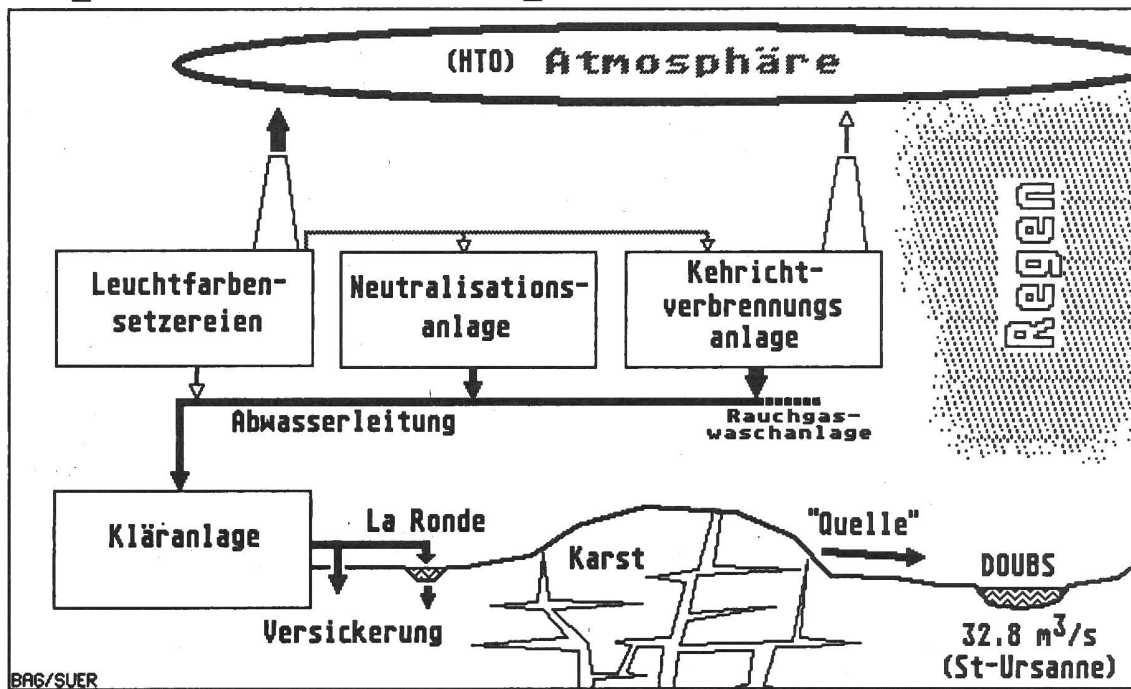
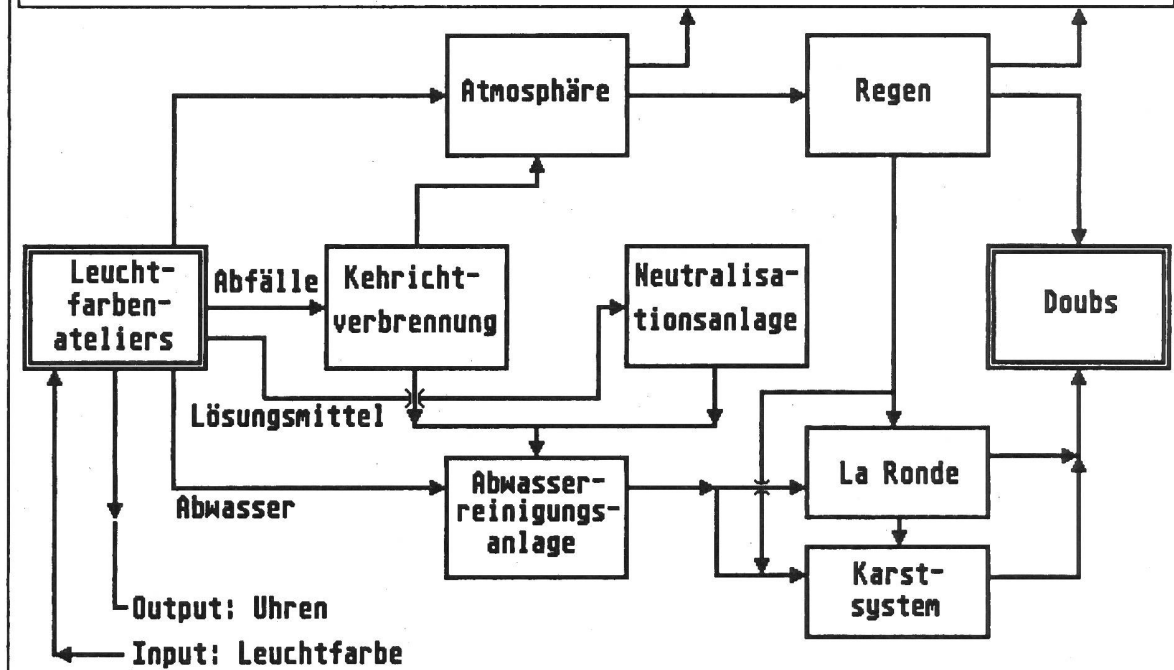


Fig.2: Tritium-Fliessschema La Chaux-de-Fonds



Eine Übersicht über die Haupt-Tritium-Emittenten der Schweiz, soweit eine Bilanz vorliegt, findet sich in der folgenden Tabelle.

Übersicht über die Tritium-Abgaben (HTO) aus Kernanlagen und Betrieben in der Schweiz (1992) in GBq/Jahr

(Angaben der HSK bzw. der SUVA)

Abgabepfade	KKM	KKB	KKG	KKL	PSI	MB-Microtec Niederwangen (BE)	Radium-Chemie Teufen (AR)	Cerberus Volketswil (ZH)	La Chaux-de-Fonds (1)
Abwasser	200 (4)	7200 (4)	12'000 (4)	950 (5)	210 (4)	12 (4)	14 (6)	17 (7)	ca. 40'000 (3)
Abluft	- ? - (8)	- ? - (8)	ca.400 (2)	- ? - (8)	900	21'000	12'000	210	- ? -

- (1) Leuchtfarbenbetriebe und Abgaben der Kehrlichtverbrennungsanlage
- (2) Schätzwert aus 12 Stichprobenmessungen von 1992 durch das KKG
- (3) Schätzwert aus den T-Messungen am Ausfluss der ARA La Chaux-de-Fonds; Abfluss in den Doubs
- (4) Abfluss in die Aare, nachher in den Rhein
- (5) Abfluss in den Rhein
- (6) Abfluss in die Sitter, dann in die Thur und nachher in den Rhein
- (7) Abfluss in die Glatt, nachher in den Rhein
- (8) Aufgrund der Reaktorleistung kann die Gesamtritiumabgabe über die Abluft aus den Schweizer KKW zu rund 2000 GBq/Jahr abgeschätzt werden.

5.4.1. Region von La Chaux-de-Fonds

1. Die Tritium-Verarbeitung in La Chaux-de-Fonds (Fig. 1 und 2)

In den 7 Setzateliers im Jura (davon 3 in La Chaux-de-Fonds) wird Tritium in Form von Leuchtfarbe verarbeitet (1991 gemäss SUVA-Angaben 460 TBq) und gelangt über die Abluft als Wasserdampf (HTO) in die Umwelt während die Abgaben über das Abwasser gemäss Angaben der SUVA (Aufsichtsbehörde) eher gering sind.

Tritiumhaltige Lösungsmittel und andere Flüssigkeiten werden in einer Neutralisationsanlage (STEN) aufbereitet und die Abwässer in die städtische Kläranlage (ARA) geleitet. Andere, vor allem feste tritiumhaltige Abfälle aus der Region, werden in der Kehrlichtverbrennungsanlage (CRIDOR) verbrannt. Schlacke und Rückstände werden auf der Deponie *La Sombaille* beseitigt. Das Tritium aus den Abgasen (Wasserdampf) von CRIDOR wird von der Rauchgaswaschanlage (1984 erneuert) teilweise zurückbehalten und in die ARA geleitet. Kontinuierliche Messungen zwischen November 1983 und März 1985 ergaben eine Jahresabgabe von CRIDOR-STEN von rund 14 TBq, praktisch gleichviel wie der gemessene Gesamtabfluss der ARA. Dies bestätigen Stichproben aus dem Hauptzufluss der ARA, die für den Tritium-Anteil aus dem Abwasser der Stadt weniger als 1 Prozent gegenüber CRIDOR-STEN ergaben.

Gesamthaft dominieren nach Angaben der SUVA bei den Abgaben über die Abluft jene als HTO-Wasserdampf aus den Setzateliers, während beim Abwasser die Rauchgaswaschanlage der Kehrlichtverbrennungsanlage den grössten Beitrag liefert. Quantitative Angaben für die

Tritium-Abgaben aus den Setzateliers liegen jedoch nicht vor. Die Abgaben von HT-Gas dürften gering sein.

2. Ausbreitung in der Umwelt (Fig. 1 und 2)

Über die Abluft freigesetzter HTO-Wasserdampf wird vom Regen zum grösseren Teil ausgewaschen, bzw. tauscht Tritium mit den Niederschlägen aus. Diese fliessen letztlich über die Oberflächengewässer, hier den Doubs, ab, wobei ein unbekannter Anteil im Karstsystem des Jura versickert und möglicherweise über längere Zeit zurückbehalten wird. Die Abgaben in das Abwasser gelangen über die ARA in die Ronde, die bei *Biaufond* in den Doubs mündet; davor versickert die Ronde teilweise, ihr Wasser gelangt in das Karstsystem und tritt am Doubs in Form von "Quellen" wieder an die Oberfläche. Die in der Hydrogeologie beliebte Altersbestimmung mit Tritium ist daher im Neuenburger Jura mit grosser Vorsicht zu benutzen.

Insgesamt fliesst der grössere Teil der Tritium-Abgaben aus der Region von La Chaux-de-Fonds früher oder später über den Doubs ab, entweder über die Niederschläge oder über das Abwasser aus der ARA, wobei allerdings die zeitliche Verzögerung im Karstsystem unbekannt ist. Die beiden Ausbreitungspfade Luft (Niederschläge) und Abwasser werden im Folgenden getrennt behandelt.

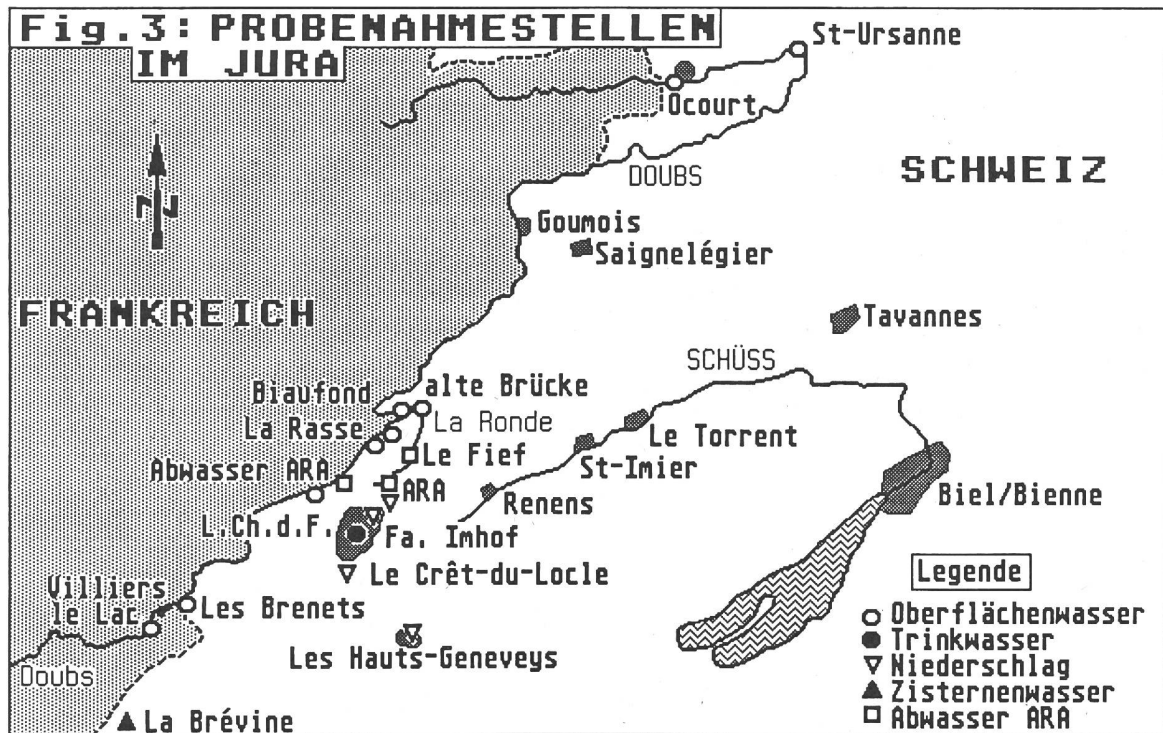
3. Tritium-Messungen in der Region La Chaux-de-Fonds (Fig. 3 und 4)

Im Rahmen des Überwachungsprogrammes des BAG (früher KUER-Programm) führen die SUVA (Sektion Physik), die EAWAG (Abt. Umweltphysik), die Universität Bern (Physikalisches Institut, Abt. Klima- und Umweltphysik) und das BAG (Sektion Überwachung der Radioaktivität, SUER) seit 1974 Tritium-Messungen im Raume La Chaux-de-Fonds durch: anfänglich nur Niederschläge, später auch Oberflächengewässer, Quellen und das Abwasser der Kläranlage. Ziel war die Klärung der komplexen Freisetzungs-, Ausbreitungs- und Versickerungsvorgänge von Tritium. Im Verlauf der 80er-Jahre erwiesen sich die Verhältnisse einigermaßen stationär und das Programm wurde reduziert. Die vorliegenden Messungen sind in den Figuren zusammengestellt, bei Stichproben als Einzelwerte, bei Sammelproben als Minimum, Maximum und Jahresmittelwert. Insgesamt sind jedoch die zur Verfügung stehenden Daten unvollständig; sie lassen daher nur Vermutungen und keine präzisen Schlüsse zu.

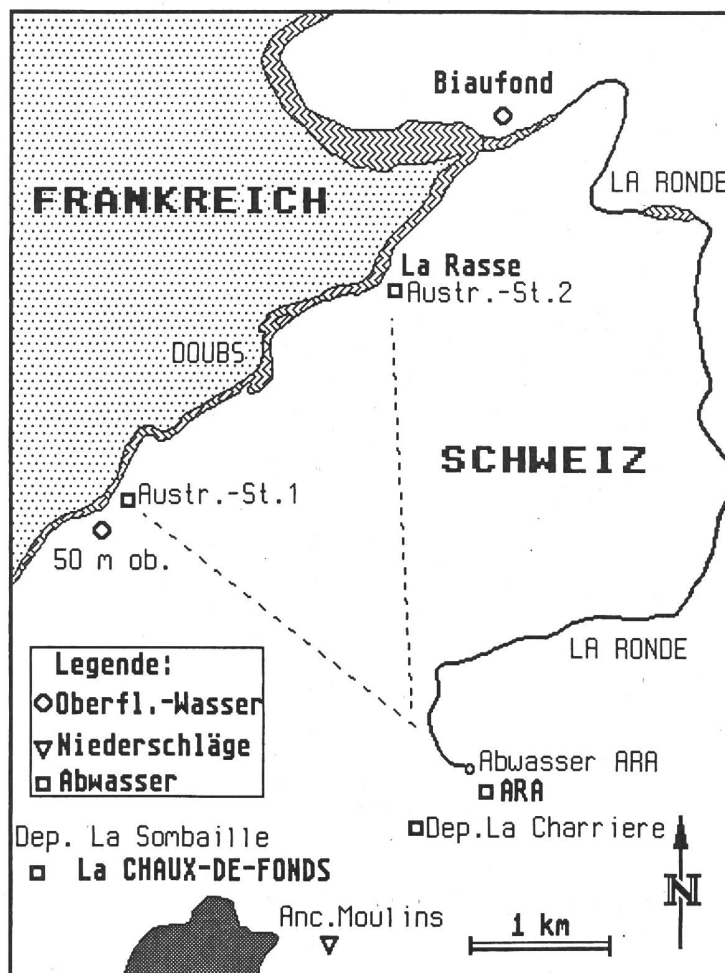
4. Globale Tritium-Vorbelastung durch die Kernwaffenversuche (Fig. 5)

Zum Vergleich mit andern Regionen dienen Tritium-Messungen im Niederschlag aus dem Berner Oberland (*Meiringen, Guttannen, Grimsel*, gemessen durch die Universität Bern), die als von lokalen Emittenten unbeeinflusst gelten und deshalb den grossräumigen Verlauf der Tritium-Aktivität im atmosphärischen Wasserkreislauf zeigen.

Der natürliche Tritiumanteil im Niederschlag liegt bei etwa 0.8 Bq/L. Der zusätzliche Anteil von bis einige Hundert Bq/L in den 60er-Jahren, bzw. 2 bis 3 Bq/L in den letzten Jahren, stammt hauptsächlich von den Kernwaffen-Versuchsexplosionen in der Atmosphäre der 60er- und 70er-Jahre. Die Konzentration nahm 1974 bis 84 mit einer Halbwertszeit von etwa 40 Monaten ab, später, seit sich die Werte allmählich dem Vor-Bomben-Wert nähern, mit einer längeren Halbwertszeit von etwa 10 Jahren. Der langfristige Verlauf der Tritium-Aktivität in



**Fig.4: Probenahmestellen
Region La Chaux-de-Fonds**



den Niederschlägen konnte auch an Eisbohrkernen eines Gletschers bestätigt werden, dessen einzelne Schichten mit andern Verfahren datiert wurden (vergl. dazu [2] Seiten 31 bis 33).

5. Luft & Niederschläge (Fig. 5)

An den Stellen *Anciens Moulins* (La Chaux-de-Fonds) und bei *Les Hauts-Geneveys* wurden die Niederschläge systematisch gemessen, von *Le Cret-du-Loche*, sowie zwei weiteren Stellen in La Chaux-de-Fonds (bei der Firma Imhof und bei der ARA) nur während zwei bis drei Jahren. Zum Vergleich dienen Messwerte aus dem Berner Oberland (Referenzstellen) und aus der Region Bern, letztere ebenfalls lokal erhöht infolge Abgaben eines Industriebetriebes.

Die Netto-Jahresdurchschnittswerte (nach Abzug der entsprechenden Jahresmittelwerte der Referenzstation) liegen für *Les Hauts-Geneveys* mit rund 5 Bq/L (Jahresmittelwerte 1 bis 9 Bq/L) tiefer als für die Stelle *Anciens Moulins* mit Jahresmittelwerten zwischen 9 und 108 Bq/L. Bei der letzteren zeigen sich die höchsten Jahreswerte 1976 bis 78; ab 80 sind die Werte homogener und liegen im Schnitt bei 15 Bq/L (Einzeljahreswerte: 9 - 18 Bq/L), also etwa beim dreifachen von *Les Hauts-Geneveys*. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Netto-Ablagerung von etwa 20 kBq/m² in *La Chaux-de-Fonds* bzw. 7 kBq/m² in *Les Hauts-Geneveys* für die 80er-Jahre, d.h. 0.02 resp. 0.007 TBq/km². Die Werte von *Le Cret-du-Loche* sind, für die kurze Vergleichsperiode, mit jenen von *Les Hauts-Geneveys* vergleichbar.

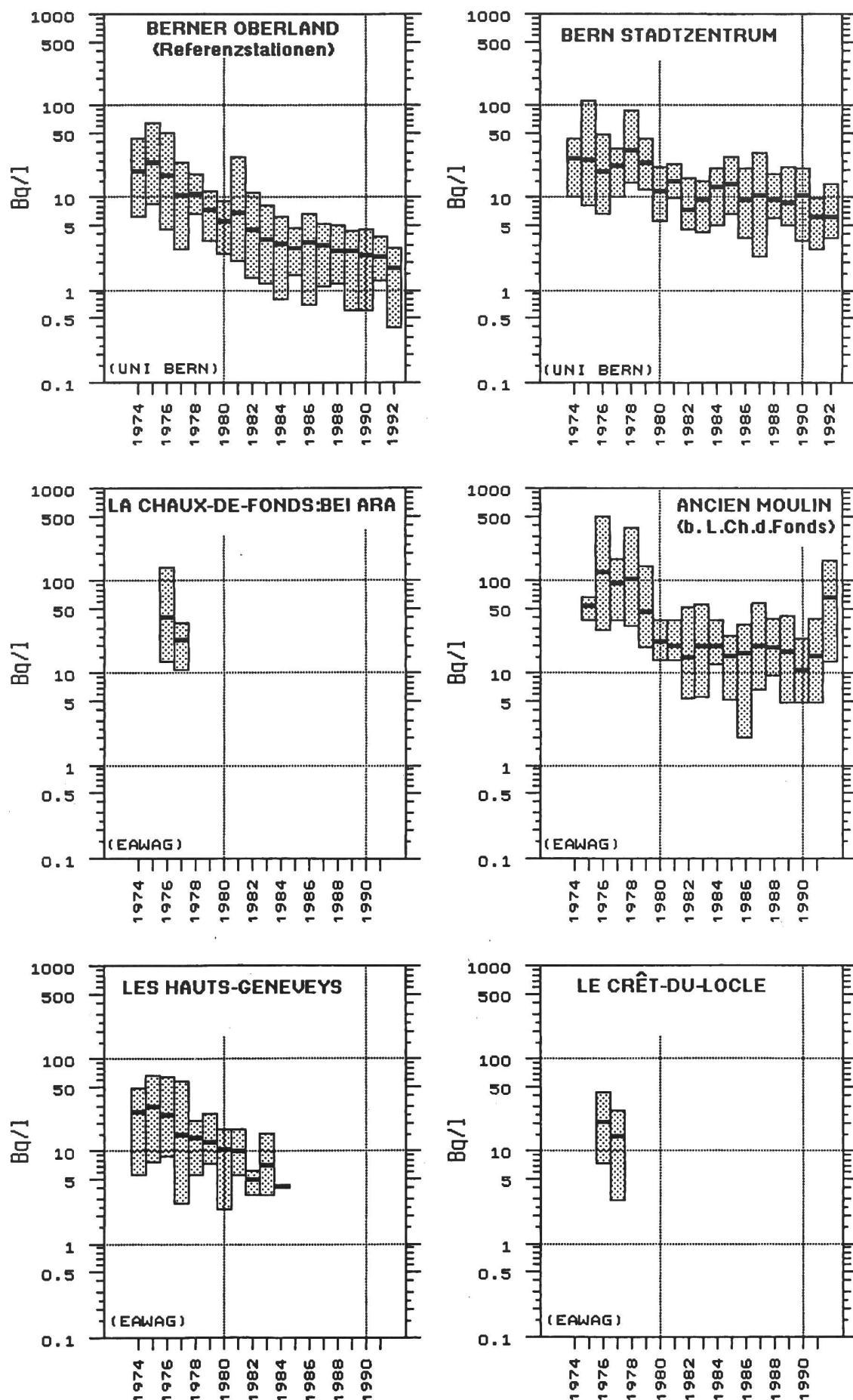
6. Abwässer und Oberflächengewässer. (Fig. 6, 7 und 8)

Vom Ausfluss der ARA La Chaux-de-Fonds und vom Doubs bei *St-Ursanne* (letzterer mit Unterbrüchen) liegen seit 1976 Messungen an kontinuierlichen Sammelpunkten vor, die eine Abflussbilanz ermöglichen. Für die ARA ergibt sich ein Tritium-Abfluss zwischen 15 und 45 TBq, für den Doubs bei *St-Ursanne* zwischen 20 und 100 TBq. Im April 1991 wurde im Ausfluss der ARA der SSVO-Richtwert um ein Faktor Zwei überschritten. Die Bilanz über die ARA wurde auf der Basis der wöchentlichen Abwasserfracht errechnet und kann als gesichert betrachtet werden, während diejenige im Doubs nur als grobe Schätzung (auf der Basis der langjährigen, mittleren Wasserfracht) betrachtet werden kann.

Bei den Jahresabflussmengen aus der ARA wurde 1979 ein Maximum festgestellt; Mitte der 80er-Jahre waren die Werte tiefer und stiegen Ende der 80er-Jahre wieder an. Ob beim Doubs ebenfalls in den letzten Jahren ein Anstieg vorliegt (Maximum 1991 mit 105 TBq), kann wegen fehlender Messwerte 1988-1990 nicht gefolgert werden. Insgesamt scheint der Tritium-Abfluss am Doubs etwa doppelt so hoch wie jener der ARA. Der fehlende Anteil kann jedoch nicht nur dem Niederschlag zugeschrieben werden. Auch wenn die bei *Anciens Moulins* gemessene jährlich Tritium-Ablagerung von 0.02 TBq/km² für eine Fläche mit 5 km Radius zutreffen würde, ergäbe dies erst 1.6 TBq/Jahr, was die Differenz in der Bilanz zwischen ARA und Doubs noch nicht erklärt.

50 m oberhalb der Eintrittsstellen der Abwässer von La Chaux-de-Fonds, bei *Villiers-le-Lac* und im Lac des Brenets zeigt der Doubs, wie auch die Schüss an drei Probenahmestellen ähnlich tiefe Tritium-Werte, wie unbeeinflusste Stationen, d.h. wie der Regen im Berner Oberland zur selben Zeit. Etwas erhöht sind die Werte im Doubs bei *La Rasse*, deutlich höher bei *Goumois*, *Ocourt* und *St-Ursanne*, dh. unterhalb der Einleitung der Abwässer der ARA. Die Ronde, über die einen Teil der Abwässer der ARA abfliessen, zeigt ähnliche Werte wie die beiden als "Quellen" bezeichneten Austrittsstellen.

Fig. 5 : TRITIUM IN NIEDERSCHLÄGEN
(JAHRESMITTELWERTE UND WERTEBEREICHE)



**Fig. 6 : TRITIUM IM FLUSSWASSER UND DER ARA
(JAHRESMITTELWERTE UND WERTEBEREICHE)**

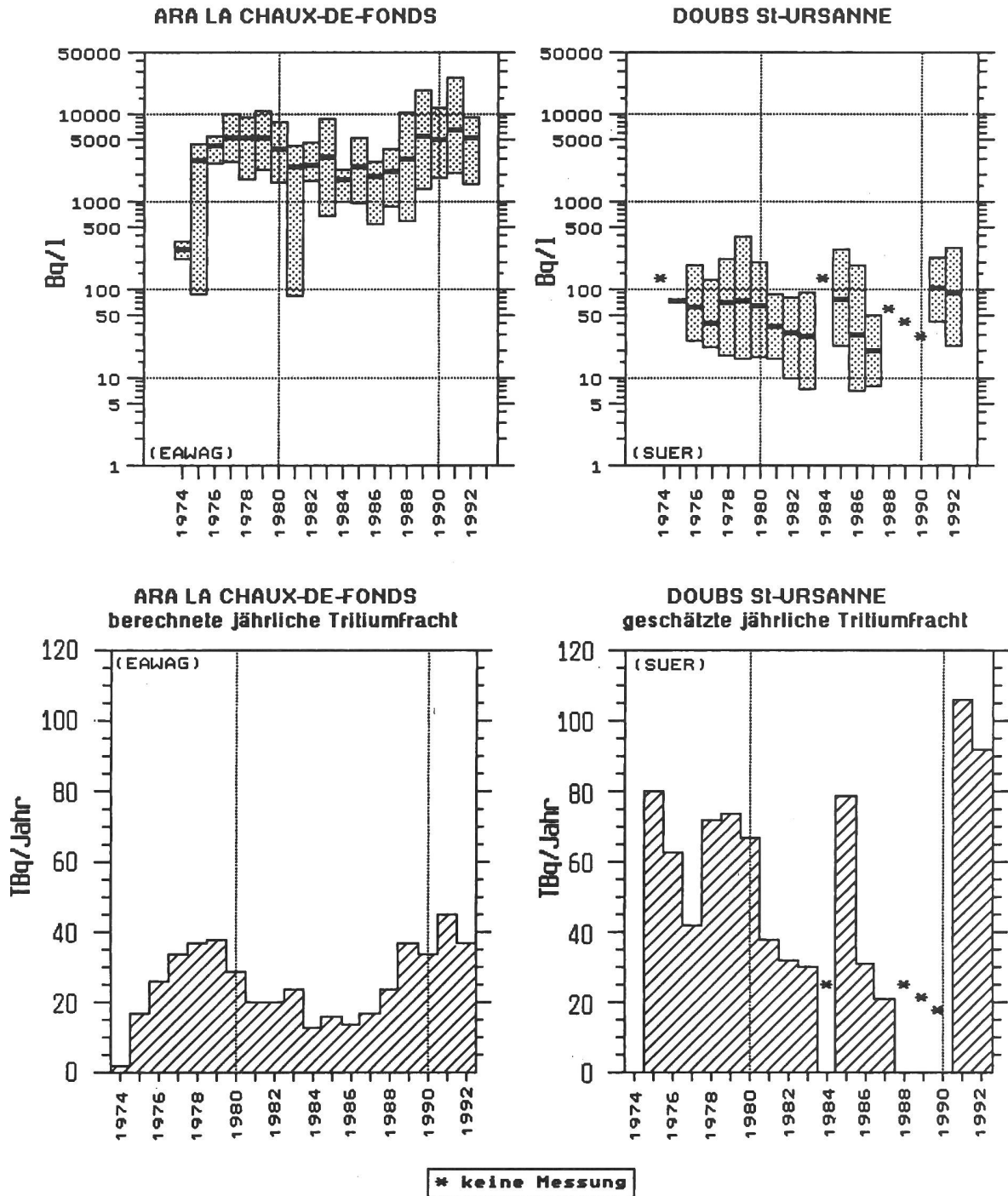
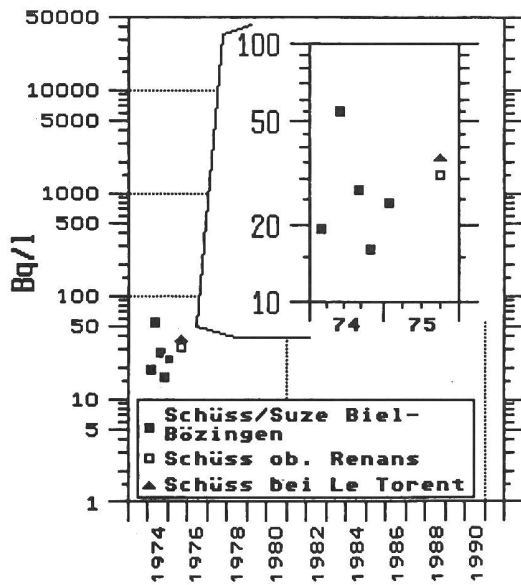
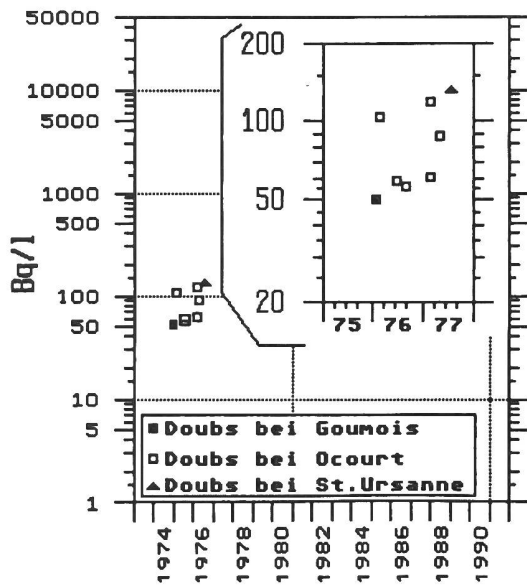
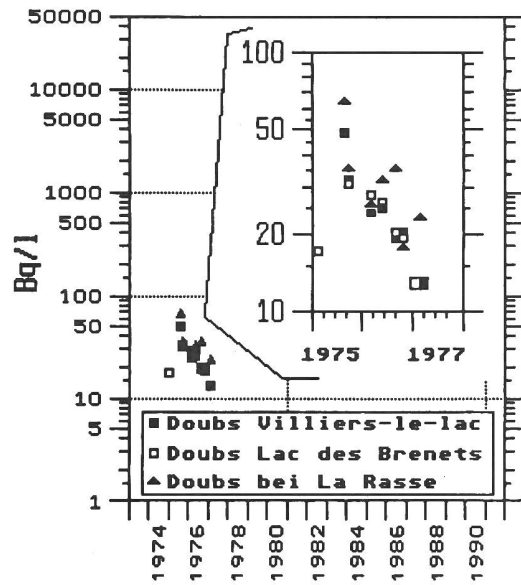
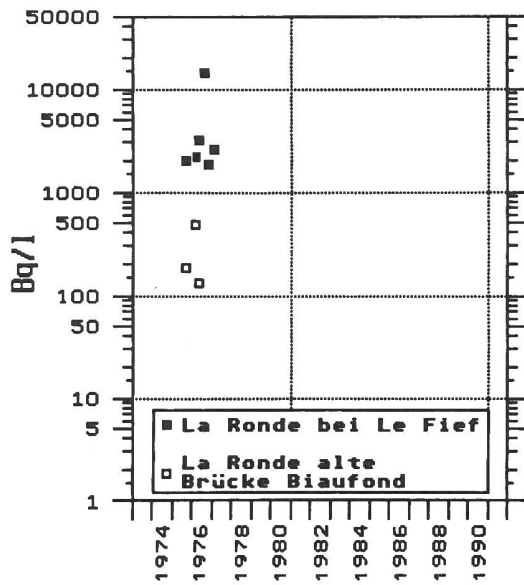
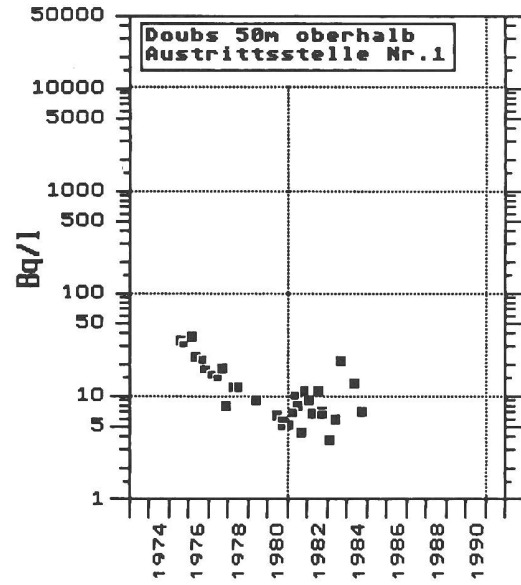
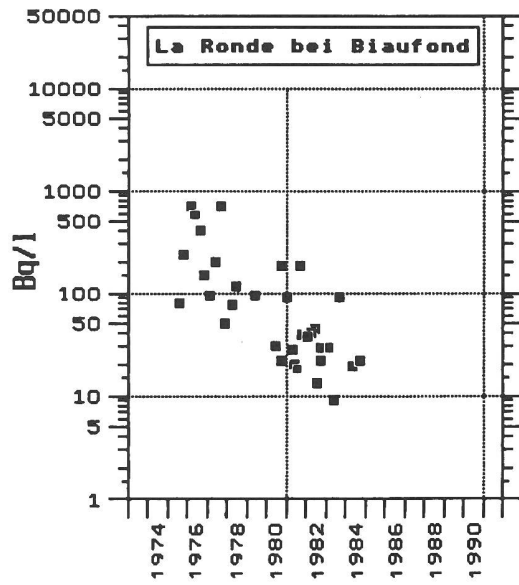


Fig. 7 : TRITIUM IN FLÜSSEN (EAWAG)
(Stichproben)



7. Abwässer aus Abfalldeponien (Fig. 8)

Von zwei ehemalige Abfalldeponien in der Region von La Chaux-de-Fonds (*La Charrière* und *La Sombaille*), wo tritiumhaltige Abfälle beseitigt wurden (und z.T. noch werden), wurde die Entwässerung (Sickerwässer) auf Tritium untersucht. Es ergaben sich hohe Werte mit sehr grossem Streubereich. In Anbetracht der geringen Abflussmengen spielen diese Wässer jedoch auf die gesamte Abflussbilanz für die Region La Chaux-de-Fonds keine Rolle.

8. Trinkwasser (Fig. 8)

Das Trinkwasser der Stadt La Chaux-de-Fonds wird aus der Areuse-Schlucht zugeführt. Die 1977 durchgeführten Messungen von Proben von drei verschiedenen Stellen ergaben keine erhöhten Tritium-Werte und entsprachen mit 10 bis 20 Bq/L den Konzentrationswerten im Doubs oberhalb der Einleitung der Abwässer von La Chaux-de-Fonds im selben Jahr. Die im März 1989 an 24 Trinkwasserproben aus der Region La Chaux-de-Fonds durchgeführten Tritium-Bestimmungen ergaben Werte zwischen 2 und 12 Bq/L (davon $\frac{3}{4}$ unter 6 Bq/L) und sind gegenüber dem Niederschlag aus dem Berner Oberland nur geringfügig höher.

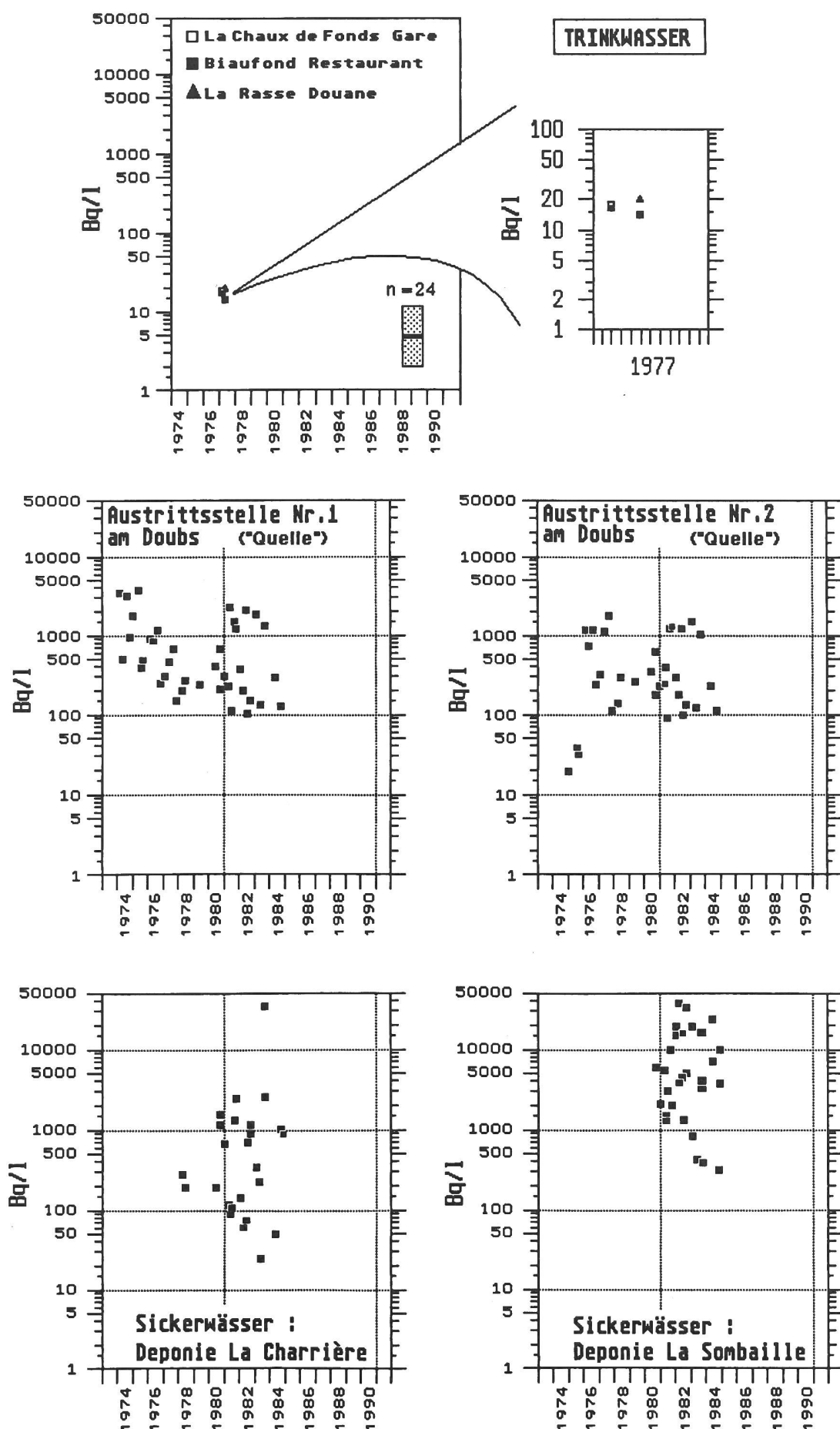
9. Interpretation aus der Sicht des Strahlenschutzes

Für die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Region von La Chaux-de-Fonds sind zwei Tritium-Belastungspfade in Betracht zu ziehen: Die Aufnahmen über das Trinkwasser und über Inhalation. Da das Trinkwasser gemäss früheren Messungen nicht signifikant erhöhte Werte zeigt, liefert Tritium nur über die Inhalation von Wasserdampf einen Dosisbeitrag. Es liegen uns allerdings nur Tritium-Messwerte im Niederschlag vor. Aus dem Vergleich mit den Messungen in Niederwangen bei Bern, wo ebenfalls ein Betrieb grössere Tritium-Mengen verarbeitet, und wo wir über Tritium-Messungen an Niederschlags-, Luftfeuchtigkeits- und Urinproben von Anwohnern des Betriebes verfügen, lässt sich der Schluss ziehen, dass die Belastung in La Chaux-de-Fonds um etwa eine Grössenordnung tiefer sein dürfte, d.h. die Strahlendosen der Bevölkerung durch Tritium dürften bei höchstens einigen μSv pro Jahr liegen und sind damit weit unter den entsprechenden Richtwerten.

10. Weiteres Vorgehen

Aus der Sicht des Strahlenschutzes ist die Lage nicht beunruhigend; da jedoch ein ansteigender Trend bei den Messwerten der letzten Jahre zu beobachten ist und da auch die verarbeiteten Tritium-Mengen gemäss Angaben der SUVA eher zunehmen, sind die bisherigen systematischen Messungen am Ausfluss der ARA, im Doubs bei *St-Ursanne* und im Regen bei *Anciens-Moulins* in jedem Falle lückenlos weiterzuführen. Sie sollten ergänzt werden durch Tritium-Messungen in der Luftfeuchte in La Chaux-de-Fonds, von Trinkwasser-Stichproben, sowie von Stichproben oder Sammelproben aus der Rauchgaswaschanlage der KVA und ev. auch aus dem Abwasser der STEN.

Fig. 8 : TRITIUM IN TRINKWASSER UND OBERFLÄCHENGEWÄSSERN
(Stichproben; EAWAG)



5.4.2 Umgebung von Niederwangen/BE

1. Die Tritium-Verarbeitung in Niederwangen/BE

Die Firma *MB-Microtec AG* in *Niederwangen* bei Bern stellt seit 1974 Tritiumgas-Leuchtquellen (TGLQ) für die Beleuchtung von Uhren, Messgeräten, militärischen Zielvorrichtungen und ähnliches her. Ein grosser Teil der Produktion wird exportiert (75 bis 90%). Die Firma hiess früher *Merz & Benteli* und fabrizierte an ihrem alten Standort in Bern-Bümpliz bis 1964 Leuchtfarbe auf Radium-Basis, bis 1974 solche mit Tritium; anschliessend wurde der Betrieb nach Niederwangen verlegt.

Die Abgabelimiten der Firma MB-Microtec AG wurden 1984 festgelegt und seither nicht verändert (Bewilligungsbehörde ist das BAG, Aufsichtsbehörde die SUVA). Für die Abluft gilt: Tritium-Wasserdampf (HTO) = 37 TBq/Jahr, Tritiumgas (HT) = 370 TBq/Jahr; für das Abwasser: 0.7 GBq/Woche. Der Betrieb verarbeitet (in geringeren Mengen) auch Kohlenstoff-14. 1991 (1992) wurden folgende Tritiummengen in die Umwelt abgegeben: Gesamt-Tritium über Abluft :96 (73) TBq, wovon 21.3 (21.1) TBq als Tritium-Wasserdampf (HTO); über das Abwasser 11 (12) GBq. Die Tritium-Abgaben über die Abluft sind in den Fig. 2 dargestellt. Die Abgaben über das Abwasser sind rund tausend mal kleiner und liegen seit 1974 (ausser den Jahren 1977 bis 1980 mit 67, 74, 74 und 31 GBq/Jahr) zwischen 4 und 19 GBq/Jahr, im Durchschnitt (ohne 1977-80) bei 11 ± 4 GBq/Jahr.

2. Ausbreitung in der Umwelt

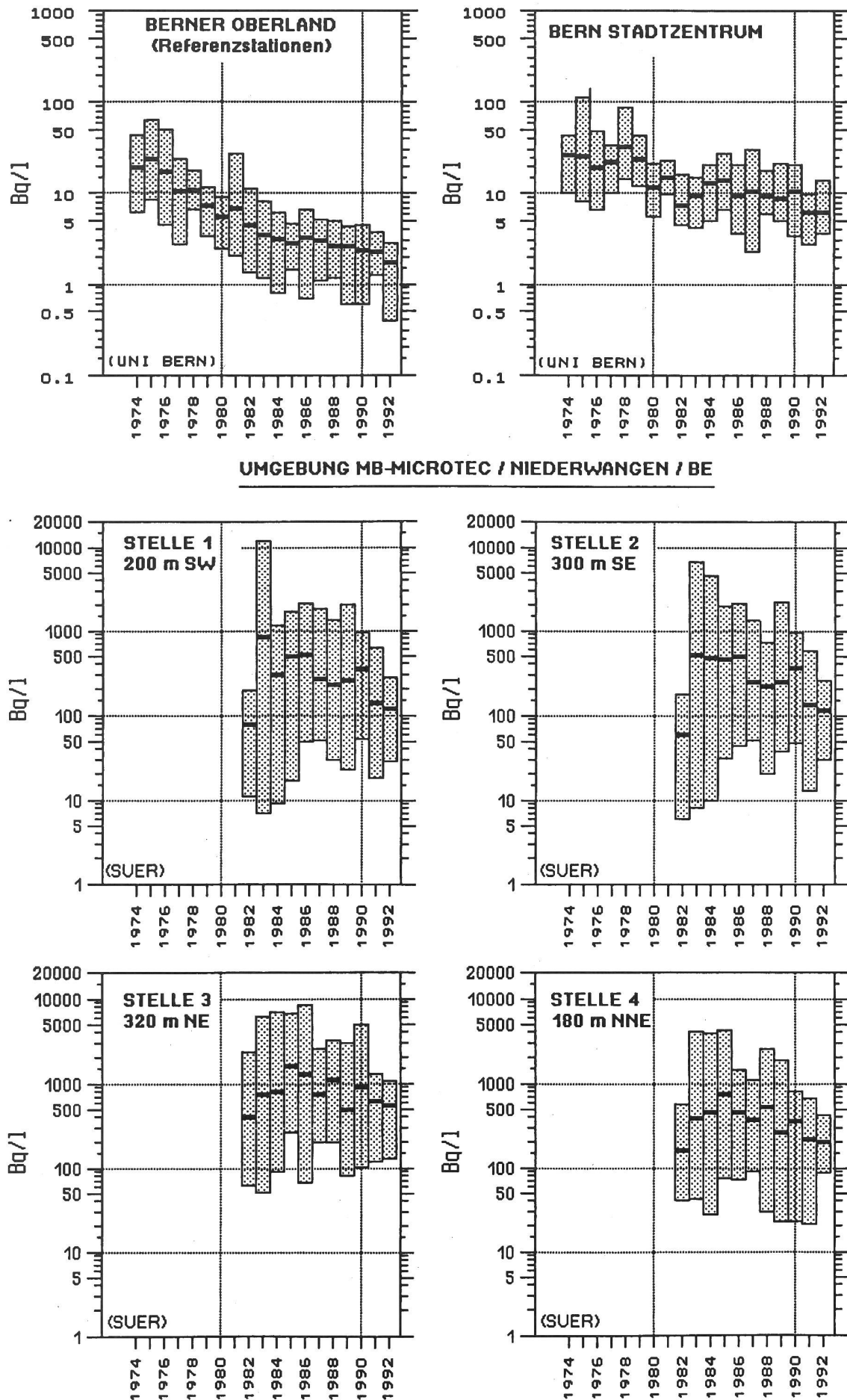
Über die Abluft freigesetzter HTO-Wasserdampf wird vom Regen zum grösseren Teil ausgewaschen, bzw. tauscht Tritium mit den Niederschlägen aus. Tritium kann daher im Regenwasser, aber auch in der Luftfeuchte, nachgewiesen werden. Mit dem Regen gelangt es in die Oberflächen- und Grundwässer und fliesst letztlich über die Aare ab. In die Umwelt abgegebenes Tritium-Gas, wird grossräumiger verdünnt und teilweise auch in Wasserdampf umgewandelt, bzw. tauscht Tritium mit Niederschlägen, Luftfeuchte und Oberflächengewässern aus. Wie schnell dieser Austausch stattfindet und welcher Anteil ausgetauscht wird ist unbekannt.

Die Tritium-Abgaben über das Abwasser gelangen in den Stadtbach bzw. in die *ARA Bern-Stuckishaus* und fliessen letztlich über die Aare ab. Die Abgaben über das Abwasser sind gegenüber denjenigen als HTO mit der Abluft, rund Tausend mal geringer und tragen somit zur gesamten Abflussbilanz nicht wesentlich bei.

3. Tritium-Messungen in der Umgebung Niederwangen/BE (Fig. 12)

Systematische Tritium-Messungen an monatlichen Sammelproben im Regen von Bern (Stadtzentrum) werden durch die Universität Bern seit 1974 durchgeführt. Seit 1982 werden in der Nahumgebung der Firma an vier Stellen Regenproben kontinuierlich gesammelt und vierzehntäglich auf Tritium untersucht. Seit 1984 wird zudem an einer Stelle Tritium in der Luftfeuchte gesammelt und ebenfalls alle vierzehn Tage auf Tritium gemessen. Stichprobenweise wurden auch Wasser aus dem Stadtbach und von Schnee erhoben; 1990 wurden 72 Urinproben von Anwohnern der Firma auf Tritium analysiert, um die Strahlenexposition von in der Nahumgebung wohnenden Personen zu ermitteln.

Fig. 9 : TRITIUM IN NIEDERSCHLÄGEN
(JAHRESMITTELWERTE UND WERTEBEREICHE)



4. Globale Tritium-Vorbelastung durch die Kernwaffenversuche (Fig. 9)

Zum Vergleich mit andern Regionen dienen Tritium-Messungen im Niederschlag aus dem Berner Oberland (*Meiringen, Guttannen, Grimsel*, gemessen durch die Universität Bern), die als von lokalen Emittenten unbeeinflusst gelten und deshalb den grossräumigen Verlauf der Tritium-Aktivität im atmosphärischen Wasserkreislauf zeigen.

Der natürliche Tritiumanteil im Niederschlag liegt bei etwa 0.8 Bq/L. Der zusätzliche Anteil von bis einige Hundert Bq/L in den 60er-Jahren, bzw. 2 bis 3 Bq/L in den letzten Jahren, stammt hauptsächlich von den Kernwaffen-Versuchsexplosionen in der Atmosphäre der 60er- und 70er-Jahre. Die Konzentration nahm 1974 bis 84 mit einer Halbwertszeit von etwa 40 Monaten ab, später, seit sich die Werte allmählich dem Vor-Bomben-Wert nähern, mit einer längeren Halbwertszeit von etwa 10 Jahren. Dieser langfristige Verlauf der Tritium-Aktivität in den Niederschlägen konnte auch an Eisbohrkernen eines Gletschers bestätigt werden, dessen einzelne Schichten mit andern Verfahren datiert wurden (vergl. dazu [2] Seiten 31 bis 33).

5. Luft und Niederschläge (Fig. 9, 10 und 12)

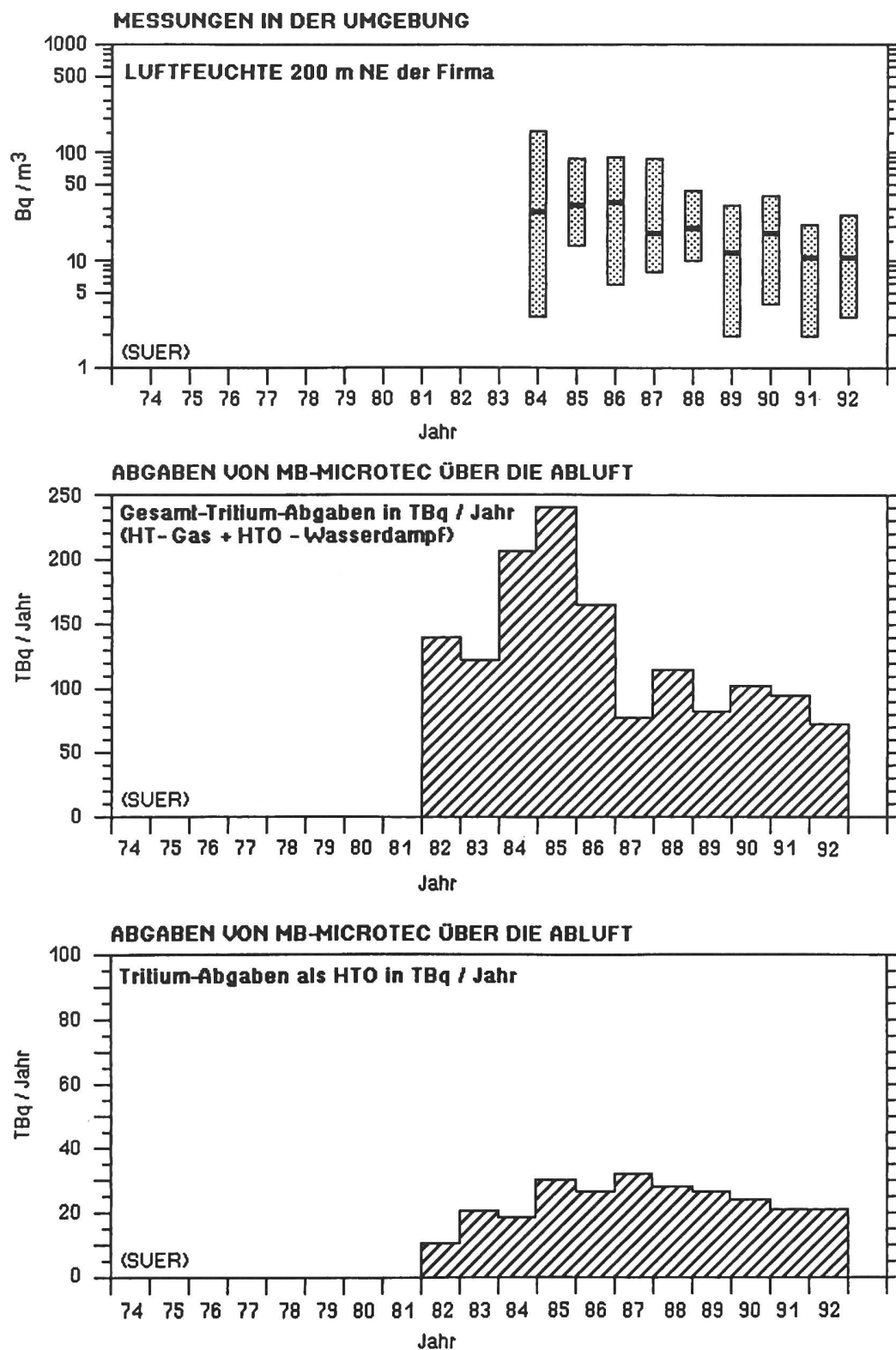
Gegenüber der Referenzstation im Berner Oberland ist der Tritium-Gehalt im Stadtzentrum von Bern (ca. 6 km NE des Betriebes) im Durchschnitt um einen Faktor 2 - 3 erhöht. An den vier Regensammelstellen in wenigen hundert Metern von der Firma beträgt die Erhöhung der Jahreswerte gegenüber dem Berner Oberland das 100- bis 300-fache, für Einzelwerte bis zum 1000-fachen. Von den beiden in Talrichtung gelegenen Stellen 1 und 3, ist nur Nr. 3 gegenüber den am Hang des Wangentales liegenden Stellen 2 und 4 um durchschnittlich etwa einen Faktor zwei bis drei höher.

Die in der Nähe der Stelle 3 gesammelte Luftfeuchte zeigt, in Übereinstimmung mit den Abgaben des Betriebes, für die Jahresdurchschnittswerte einen schwach abnehmenden Trend. Aus den jährlichen Mittelwerten lässt sich aus dem Verhältnis Tritium-Werte in Luftfeuchte zu HTO-Abgaben des Betriebes (die schwach miteinander korrelieren) ein mittlerer Langzeitausbreitungsfaktor für diese Stelle von etwa $3 \cdot 10^{-5}$ s/m³ abschätzen.

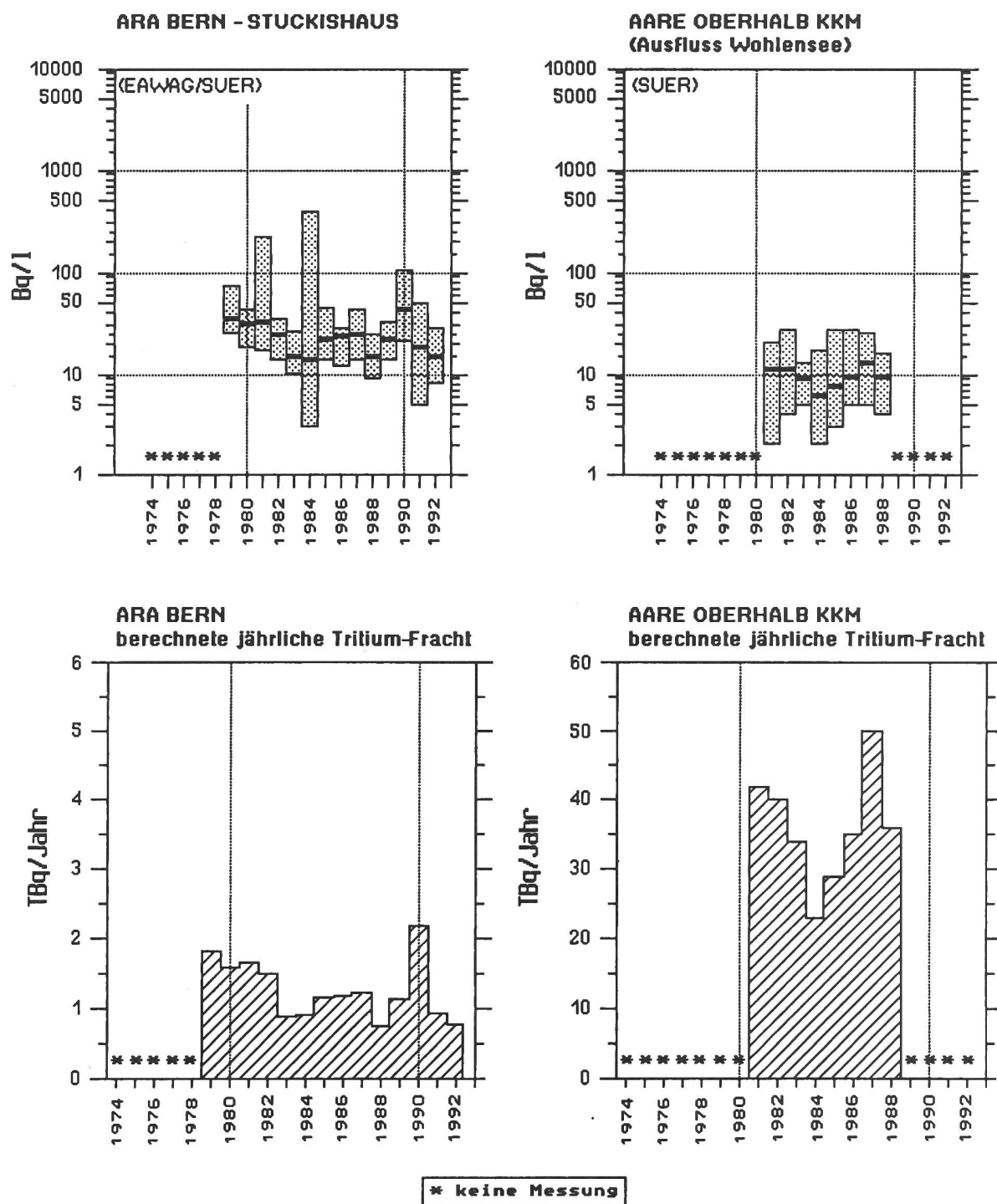
6. Abwässer und Oberflächengewässer. (Fig. 11)

Im Abwasser der ARA *Bern-Stuckishaus* werden seit 1979 kontinuierliche Wochensammelproben erhoben und bei EAWAG bzw. SUEB auf Tritium untersucht. Sie ermöglichen eine Bilanzierung des Netto-Tritium-Abflusses über das Abwasser der Stadt Bern zwischen 0.6 und 2.1 TBq/Jahr. Das ist rund 100 mal mehr als die Abgaben des Betriebes über das Abwasser, was darauf hindeutet, dass auch ein Teil (einige %) der HTO-Abgaben an die Abluft über das Regenwasser in die ARA gelangt. Tritium-Messungen an wöchentlichen Sammelproben aus der Aare beim *Wasserkraftwerk Mühleberg* (oberhalb des KKW Mühleberg) liegen für die Jahre 1981 bis 1988 vor und erlauben den Netto-Tritium-Abfluss aus der Region Bern zu 10 bis 40 TBq/Jahr abzuschätzen, was im Durchschnitt etwa den HTO-Abgaben des Betriebes (über Abluft und Abwasser zusammen) entspricht. Dies würde allerdings heissen, dass die HT-Gas-Abgaben, die durchschnittlich etwa fünf mal höher sind als die HTO-Abgaben, grossräumiger verteilt werden und zum Tritium-Abfluss über die Aare nicht beitragen.

Fig. 10: TRITIUM AUS MB-MICROTEC / NIEDERWANGEN
(JAHRESMITTELWERTE UND WERTEBEREICHE)



**Fig. 11: TRITIUM IM FLUSSWASSER UND DER ARA - BERN
(JAHRESMITTELWERTE UND WERTEBEREICHE)**



7. Urinmessungen von Anwohnern der Firma (Fig. 14)

Da aus den Niederschlags- und Luftfeuchtmessungen kein direkter Schluss auf die Strahlendosen der Bevölkerung in der Nahumgebung der Firma gezogen werden kann, wurden 1992 mit der *Abt. Umweltschutz der Gemeinde Köniz* bei 72 Personen mit Wohnsitz oder Arbeitsort Niederwangen Urinproben erhoben und auf Tritium untersucht. Da die Tritium-Konzentration im Urin derjenigen im ganzen Körperwasser entspricht, können daraus die Tritium-Strahlendosen dieser Personen ermittelt werden. Es ergaben sich Werte bis maximal 0.03 mSv pro Jahr (bei maximal 2000 Bq Tritium/L Urin), mit einem Mittelwert von 0.003 mSv/Jahr, wobei die Dosis bei der Hälfte der untersuchten Personen unter 0.001 mSv pro Jahr (50 Bq Tritium/L Urin) lag. Die Dosen liegen somit weit unter dem gemäss SSVO zulässigen Richtwert von 0.5 mSv/Jahr.

Im Vergleich dazu ergeben die Immissionsmessungen im langjährigen Mittel für die Luftfeuchte 22 Bq/m³ Luft (d.h. rund 1000 Bq/L Wasser) sowie im Regenwasser im Mittel für die vier Sammelstellen 500 Bq/L. Für jemanden, der während eines Drittels der Zeit Luft mit 22 Bq/m³ Luft einatmet und täglich 3 dl Wasser mit 500 Bq/L trinkt, ergibt sich eine jährliche Dosis von rund 0.004 mSv ($DF = 1.8 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq). Diese Abschätzung berücksichtigt nur die Tritium-Abgaben in Form von HTO (Wasserdampf), nicht aber jene in Form von HT (Wasserstoff-Gas). Beim Betrieb in Niederwangen sind die HT-Abgaben jedoch bis zu 10 mal höher als die HTO-Abgaben, der Inhalationsdosisfaktor für HT ist aber nach ICRP-30 rund 10'000 mal kleiner als jener für HTO. Da anzunehmen ist, dass ein Teil des HT mit der Zeit in HTO umgewandelt wird, ist realistisch ein HT-Dosisfaktor zu benutzen, der etwa 100 mal kleiner ist als jener für HTO [4]. Damit würde der zusätzliche HT-Dosisbeitrag noch etwa ein Zehntel der HTO-Dosis betragen.

8. Interpretation aus der Sicht des Strahlenschutzes

Die Strahlendosen der Umgebungsbevölkerung liegen, in Übereinstimmung zwischen den Urin- und Immissionsmessungen, bei maximal einigen Prozent des SSVO-Richtwertes (im Durchschnitt der untersuchten Personen bei 0.2%). Der Betrieb verursacht somit keine unzulässigen Tritium-Immissionen und aus der Sicht des Strahlenschutzes drängen sich keine zusätzlichen Massnahmen auf.

Nach Angaben der SUVA (Aufsichtsbehörde) werden vom Betrieb die notwendigen Schutzmassnahmen getroffen, um sowohl beim Transport der Tritiumbehälter wie auch beim Fabrikationsprozess Zwischenfälle mit unzulässigen Radioaktivitätsabgaben zu vermeiden. Maximal dürfen im Betrieb 3700 TBq Tritium (Vorrat für Produktion, hergestellte Produkte und Abfälle) gelagert werden. Bei einem Zwischenfall könnte im ungünstigsten Fall etwa 1000 TBq Tritium-Gas freigesetzt werden. Bei einem Brand könnte Tritiumgas zu Wasserdampf oxydiert werden und es käme im ungünstigsten Fall zu einer HTO-Abgabe von etwa 90 TBq. In beiden Fällen lägen die Dosen bei der Umgebungsbevölkerung nach Berechnungen der SUVA unter 0.5 mSv.

9. Weiteres Vorgehen

Die bisherigen Routinemessungen (Niederschläge und Luftfeuchte in der Umgebung des Betriebes, Regen in Bern-Stadtzentrum) sind weiterzuführen. Stichproben von Trinkwasser, Grundwasser, Wasser aus dem Stadtbach sowie Urinproben von Anwohnern sollen von Zeit zu Zeit als Ergänzung zur Immissionsüberwachung durchgeführt werden.

Fig. 12:

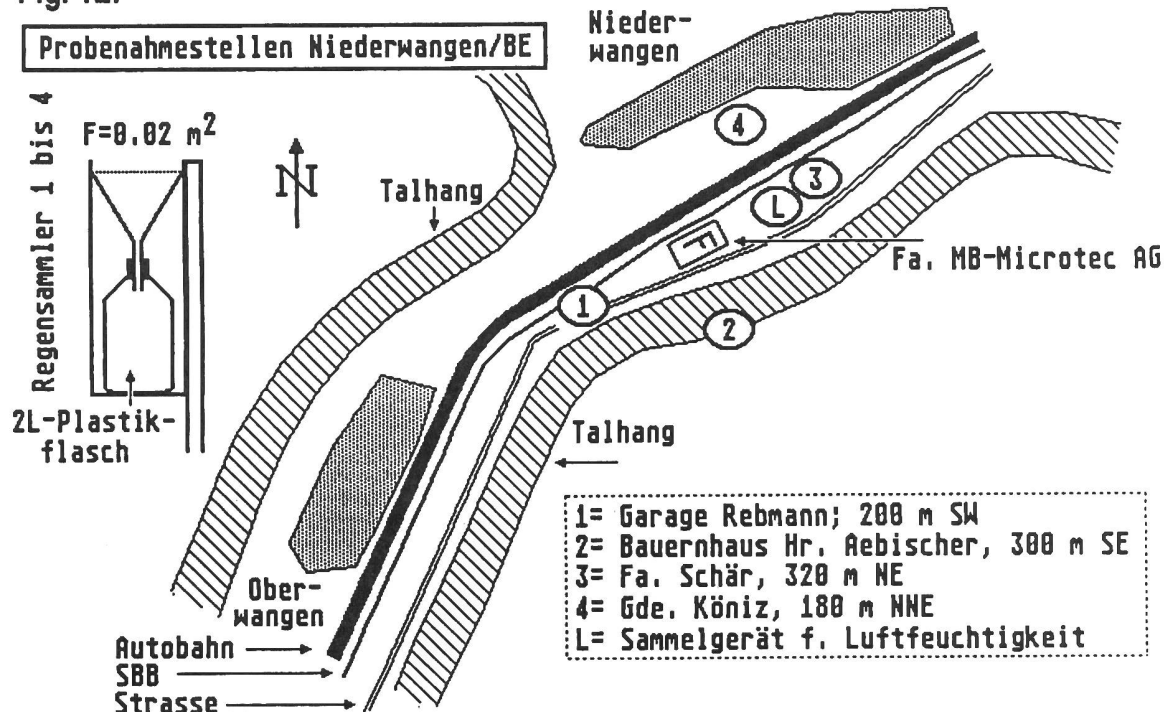
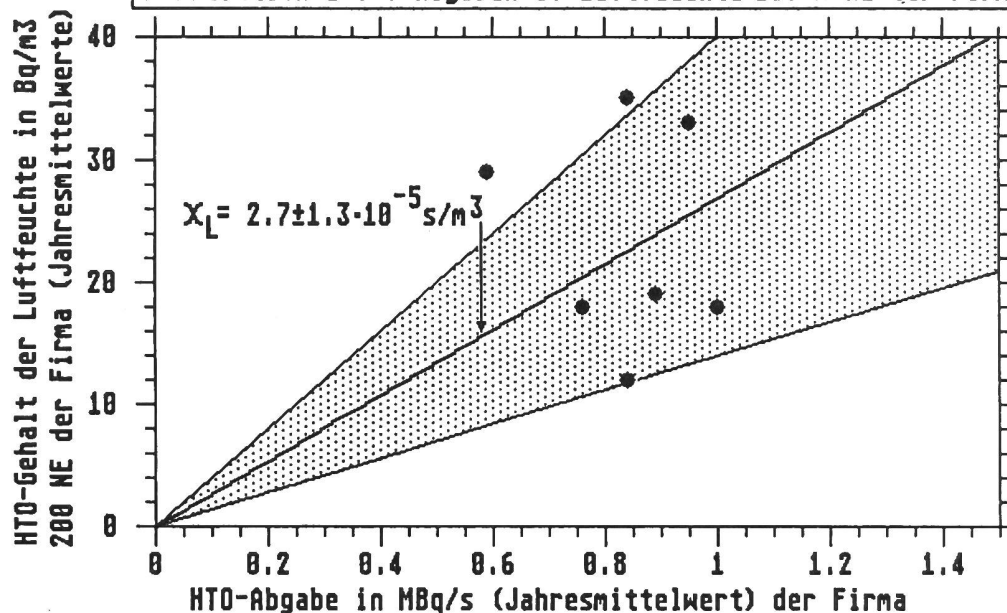
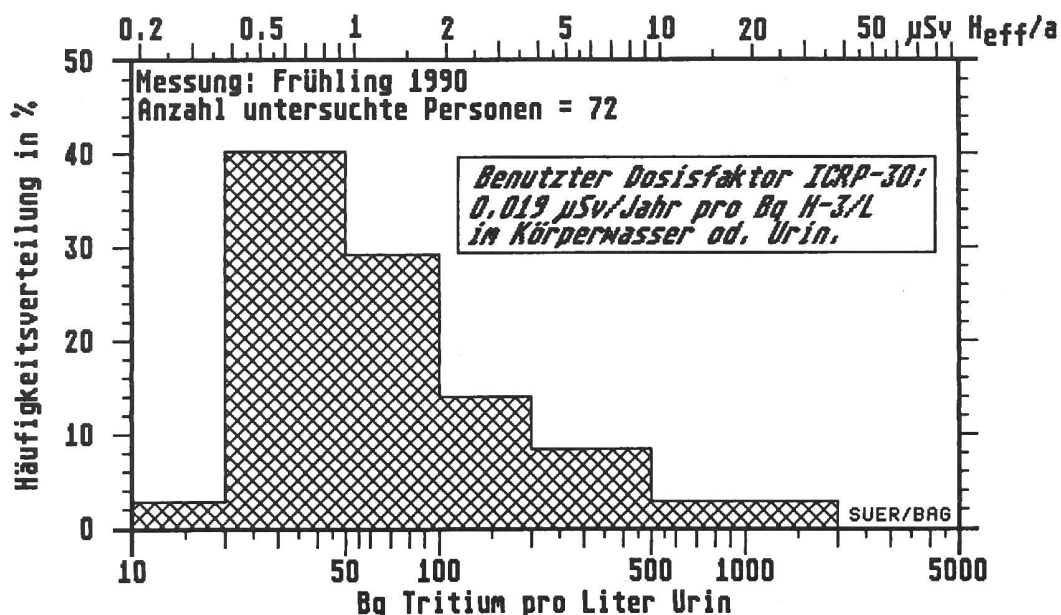


Fig. 13:
Korrelation zw. T-Abgaben u. Luftfeuchte 200 m NE der Firma



**Fig. 14: Tritium im Urin von Personen aus
Niederwangen/BE**



10. Verdankungen

Allen Stellen, deren Messwerte wir für diese Zusammenstellung verwenden durften, sei hierfür bestens gedankt, insbesondere den an den Probenahmen beteiligten Gemeindebehörden, der Aufsichtsbehörde SUVA (Dr. Th. Lauffenburger) sowie der EAWAG (Frau Dr. M.-M. Bezzegh, Dr. P. Santschi, Dr. J. Beer und Mitarbeiter) und der Universität Bern (Prof. Dr. H. Oeschger und Hr. U. Schotterer).

Quellen

- [1] Berichte der KUER bzw. des BAG zur Umweltradioaktivität in der Schweiz zuhanden des Bundesrates. Herausgegeben durch das BAG, Bern.
- [2] O. Huber, J. Halter, H. Loosli, H. Völkle: KUER: 25 JAHRE RADIOAKTIVITÄTS-ÜBERWACHUNG IN DER SCHWEIZ, herausgegeben durch das BAG, Bern (1982).
- [3] Interne Laborberichte der SUVA (Sektion Physik), der EAWAG (Abt. Umweltphysik), der Universität Bern (Physikalisches Institut, Abt. Klima- und Umweltphysik) und der SUER (BAG, Abt. Strahlenschutz) 1974 bis 1992.
- [4] "TRITIUM". A Fiege; KfK-5055; Juli 1992