Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe

Radioaktivitätswerte der Elbe

von Schnackenburg bis zur See

ISSN 0170-1282

1978-1983

ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR DIE REINHALTUNG DER ELBE

RADIOAKTIVITÄTSWERTE DER ELBE

Bericht

über die Ergebnisse des Schwerpunktmeßprogramms
Radioaktivitätswerte des Elbwassers, des Elbesedimentes
und der Elbbrassen (Bioindikator)
von Schnackenburg bis zur Nordsee

1978 - 1983

ARGE ELBE:

Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Bezirksangelegenheiten,
Naturschutz und Umweltgestaltung
Steindamm 22
2000 Hamburg 1

Der Niedersächsische Minister für Ernährung,
Landwirtschaft und Forsten
Calenbergerstr. 2
3000 Hannover

Der Minister für Ernährung, Landwirtschaft
und Forsten des Landes Schleswig-Holstein
Düsternbrooker Weg 104 - 108
2300 Kiel

Bearbeitung:

Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Langelinienwall 27
3200 Hildesheim

Wassergütestelle Elbe
Focksweg 32 A
2103 Hamburg 95

V 0 R W 0 R T

Die Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe der Länder Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein (ARGE ELBE) legt mit diesem Bericht die Ergebnisse des in den Jahren 1978 bis 1983 durchgeführten Schwerpunktmeßprogrammes zur Erfassung der Radioaktivitätsbelastung der Elbe vor. Ebenso wie bei den Schwerpunktmeßprogrammen zur Erfassung der Schwermetallbelastung (1979/1980) und der Belastung mit chlorierten Kohlenwasserstoffen (1980 bis 1982) erfolgte eine Untersuchung des Elbwassers, der Elbsedimente und als Bioindikator der Fischart Brassen. Während im Rahmen des Standard-Meßprogramms der ARGE ELBE bisher nur die Summenparameter Gesamt-ß-Aktivität und Rest-ß-Aktivität erfaßt wurden, erfolgt im Rahmen dieses Schwerpunktmeßprograms eine Bestimmung der unterschiedlichen Radionuklide in den Medien Wasser, Sediment und Fisch.

Es ist das erklärte Ziel der ARGE ELBE, nicht nur die zuständigen Fachverwaltungen über die Ergebnisse der systematisch durchgeführten Untersuchungen zu unterrichten, sondern gleichzeitig allen an den Umweltproblemen der Elbe interessierten Bürgern die Möglichkeit zu eröffnen, sich umfassend über die Gewässergütesituation der Elbe zu informieren. Aus diesem Grunde sind im ersten Abschnitt dieses Berichtes die Fachbegriffe und naturwissenschaftlichen Grundlagen in allgemeiner Form erläutert, um das Verständnis der teilweise recht komplexen Zusammenhänge zu erleichtern. In den vergangenen Jahren wurde die Problematik der Belastung unserer Umwelt mit radioaktiven Substanzen zum Teil recht einseitig mit Blick auf Kernwaffen und Kernkraftwerke diskutiert. In diesem Bericht wird auch auf den Einsatz von Radionukliden in der Medizin und in Technik und Wissenschaft eingegangen. Ferner wird ein Überblick über die Rechtsvorschriften, Richtlinien und Grenzwerte sowie über die Kontrolle und Überwachung gegeben.

Die zur Erfassung der überwiegend sehr niedrigen Radionuklidkonzentrationen eingesetzten zum Teil sehr aufwendigen Analysenverfahren sind detailliert beschrieben. Neben der zusammenfassenden Bewertung der Untersuchungsergebnisse im Textteil sind zusätzlich im Anhang des Berichtes die ermittelten Einzelergebnisse graphisch bzw. tabellarisch dargestellt.

Der Vorsitzende der ARGE ELBE

Schell

Inhaltsverzeichnis

0.1	Begriffsbestimmungen	1
0.2	Ausführende Institutionen	8
1.	Einleitung	9
2.	Radioaktivität und Umwelt	11
2.1	Grundbegriffe der Radiologie und des Strahlenschutzes	11
2.2	Herkunft und Art der Radionuklide in der Umwelt	19
2.2.1	Natürliche Radionuklide	19
2.2.2	Kernwaffenversuche, Fallout	23
2.2.3	Belastung der Elbe durch das Abwasser kerntechnischer Anlagen	32
2.2.4	Belastung des Brackwasserbereiches der Elbe durch Nordseewasser	38
2.2.5	Radionuklide in der Medizin	38
2.2.6	Radionuklide in Technik, Wissenschaft und privater Nutzung	43
2.3	Rechtsvorschriften, Richtlinien, Grenzwerte	44
2.3.1	Allgemeines	44
2.3.2	Grenzwerte der Konzentrationen oder Jahresfrachten	44
2.3.3	Kontrolle, Überwachung	46
3.	Allgemeine Diskussionen der Hydrosphäre und der derzeit bedeutendsten Radionuklide	48
3.1	Hydrologische Verhältnisse	48
3.2	Untersuchte Medien	49
3.2.1	Wasser	50
3.2.2	Schwebstoffe	54
3.2.3	Sedimente	56
3.2.4	Fische	61
3.3	Untersuchte Radionuklide	64
3.3.1	H-3	69
3.3.2	Sr-90	70
3.3.3	Cs-134/137	71
3.3.4	I-131	72

4.	Probenahmestellen und zeitlicher Ablauf des Untersuchungsprogramms	74
5.	Angewandte Verfahren	77
5.1	Probenaufbereitung	77
5.1.1	Wasser	79
5.1.1.1	H-3	82
5.1.1.2	Co-60 und andere γ-Strahler	84
5.1.1.3	Sr-90	84
5.1.1.4	I-131	85
5.1.1.5	Cs-134/137	85
5.1.1.6	Eindampfverfahren	86
5.1.1.7	Rest-ß-Aktivität	86
5.1.2	Schwebstoffe	87
5.1.3	Sedimente	87
5.1.4	Fische	88
5.2	Meßtechnik	90
5.2.1	γ-Strahler	92
5.2.2	ß-Strahler	96
5.2.2.1	Phoswich-Detektoren	97
5.2.2.2	Proportional-Zähler	98
5.2.2.3	Flüssigkeitsszintillationsspektrometrie	98
6.	Diskussion der Ergebnisse	98
6.1	Chemische Parameter im Wasser	100
6.1.1	K^+, Ca^{2+} , Sr^{2+} und Cl^-	100
6.1.2	Schwebstoffe (ungelöste Stoffe)	101
6.2	gelöste Radionuklide	101
6.2.1	H-3	101
6.2.2	Cs-137	103
6.2.3	Cs-134	105
6.2.4	I-131	106
6.2.5	Weitere γ-Strahler	107
6.2.6	Sr-90	108
6.2.7	K-40	109
6.2.8	Ra-226	110
6.3	Ungelöste Radionuklide	110
6.3.1	Cs-137	110
6.3.1.1	Cs-137 in Schwebstoffen in pCi/g T.S.	110
6.3.1.2	Wie oben, in pCi/l	111

6.3.1.3 Verhältnis ungelöster/gelöster Anteil 112
6.3.2 Weitere γ-Strahler in Schwebstoffen (Cs-134,Co-60,etc.) 112
6.4 Summe des gelösten und ungelösten Anteils 113
6.4.1 Cs-137 113
6.4.2 Übrige γ-Strahler 114
6.4.3 Gesamt- und Rest-ß-Aktivität 114
6.5 Sedimente 115
6.5.1 Cs-137 116
6.5.2 Cs-134 119
6.5.3 Weitere künstliche Radionuklide 119
6.5.4 Natürliche γ-Strahler 120
6.5.5 Zusammenfassung (Sedimentbelastung) 121
6.6 Fische (Brassen) 121
6.6.1 Cs-137 122
6.6.2 Weitere γ-Strahler 122
6.6.3 Sr-90 in Fischfleisch 122
6.6.4 Sr-90 in Gräten 123

7. Zusammenfassung 124

8. Literaturverzeichnis 127

Im Anhang sind die im Textteil mit Tab. A ... bzw. Abb. A ... bezeichneten Tabellen und Abbildungen enthalten.

Tabellen (Ergebnisse)

Einzelergebnisse (Wasser)

A 1.1, 1.2 Datum der Probenahme A1
A 2.1, 2.2 K^+ A2
A 3.1, 3.2 Ca^+ A3
A 4.1, 4.2 Cl^- A4
A 5.1, 5.2 Sr^{++} A5

A 6.1, 6.2	ungelöste Stoffe	A6
A 7.1, 7.2	H-3	A7
A 8.1, 8.2	Cs-137 gelöst pCi/l	A8
A 9	Cs-134 gelöst pCi/l	A9
A 10.1, 10.2	I-131 pCi/l	A10
A 11.1, 11.2	Sr-90 pCi/1	A11
A 12.1, 12.2	Cs-137 in Schwebstoffen pCi/g	A12
A 13.1, 13.2	Cs-137 ungelöst pCi/l	A13
A 14.1, 14.2	Cs-137 Summe gelöst + ungelöst, pCi/l	A14
A 15	Cs-137 Verhältnis gelöst/ungelöst	A15
A 16	Falloutnuklide, im Wasser gelöst, pCi/l	A16

Statistik 1978 - 1980

A 17	K^+	A17
A 18	Ca^+	A18
A 19	Cl^-	A19
A 20	Sr^{++}	A20
A 21	ungelöste Stoffe (Schwebstoffe)	A21
A 22	H-3	A22
A 23	Cs-137 (gelöst)	A23
A 24	Sr-90 (gelöst)	A24
A 25	Cs-137 in Schwebstoffen	A25
A 26	Cs-137 ungelöster Anteil	A26
A 27	Cs-137 Verhältnis ungel./gel. Anteil	A27
A 28	Cs-137 Summe gelöster + ungel. Anteil	A28
A 29.1	weitere Gamma-Strahler in Schwebstoffen	A29
A 29.2	weitere Gamma-Strahler in Schwebstoffen	A29
A 30	Abflüsse an den Untersuchungstagen	A30
A 31	Gesamtzusammenstellung: Radionuklide im Wasser	A31
A 32	Cs-137 Übergangsfaktoren gelöst/ungel.	A32
A 33	Ergebnisse der Messungen nach dem Eindampfverfahren	A33
A 34	Sedimente Oberelbe	A34
A 35	Sedimente Tidebereich	A35
A 36	Sedimente Tidebereich	A36
A 37	Zentralwerte Cs-137, Pb-214, K-40 und Ac-228 in Sedimenten	A37
A 38	Untersuchung von Sedimentfraktionen	A38
A 39	Fischfleisch	A39

A 40	Anreicherungsfaktoren Fische	A40
A 41	Regressionskurven (Wasser und Schwebstoffe)	A41

Abbildungen (Ergebnisse)

Mittelwerte und Standardabweichungen

A 1	K	A1
A 2	Ca	A2
A 3	Cl	A3
A 4	Sr	A4
A 5	ungelöste Stoffe	A5
A 6	H-3	A6
A 7	Cs-137 gelöst	A7
A 8	Sr-90 gelöst	A8
A 9	Cs-137 in Schwebstoffen	A9
A 10	Cs-137 ungelöst (pCi/l)	A10
A 11	Cs-137 Verhältnis gelöst/ungelöst	A11
A 12	Cs-137 Summe gelöst und ungelöst	A12

Zeitlicher Verlauf (Wasser)

A 13	H-3 Oberelbe	A13
A 14	Cs-137 tidefreier Bereich	A14
A 15	Cs-137 Cuxhaven	A15
A 16	Sr-90 km 475 und km 724	A16
A 17	I-131 km 475 und km 724	A17

Korrelationen (Wasser)

A 18	K / Cl	A18
A 19	K / Cl Unterelbe	A19
A 20	Sr / Cl Oberelbe	A20
A 21	Sr / Cl Unterelbe	A21
A 22	H-3 / Cl Unterelbe	A22
A 23	Cs-137 gelöst / Cl	A23
A 24	Cs-134 gelöst / Cl	A24
A 25	Cs-137 in Schwebstoffen / Cl	A25
A 26	Cs-137 (ungelöst) / Cl	A26
A 27	Cs-137 (gesamt) / Cl	A27
A 28.1	Cs-137 Verhältnis in Schwebstoffen und Wasser als Funktion des Kaliumgehaltes des Wassers	A28
A 28.2	als Funktion des Chloridgehaltes des Wassers	A28
A 29	Cs-137 / Pb-214 in Sedimenten der Elbe	A29

Korrelationen (Sedimente)

A 30	Cs-137 / K-40 in Sedimenten der Elbe	A30
A 31	Cs-137 / Ac-228	A31
A 32	Pb-214 / K-40	A32
A 33	Ac-228 / Pb-214	A33
A 34	Ra-226 / Pb-214	A34
A 35	Co-60 / Ru-106 in Sedimenten des Brackwasser-bereiches	A35
A 36	Sb-125 / Ru-106	A36
A 37	Cs-134 / Ru-106	A37
A 38	Cs-137 / Co-60	A38

Zentralwerte (Sedimente)

A 39	Cs-137, K-40, P-214	A39

Gammaspektren

A 40	Sedimente	A40
A 41	Sedimente Oberelbe	A41
A 42	Wasser, I-131	A42
A 43	Wasser, Cs-134 und Cs-137	A43
A 44	Schwebstoffe	A44
A 45	eingedampfte Wasserprobe	A45

0.1 Begriffsbestimmungen

Aktivität

Die Aktivität ist eine Größe, die die Zahl der je Sekunde zerfallenden Atomkerne eines radioaktiven Stoffs angibt.

Aktivitätskonzentration

Quotient aus der Aktivität eines Stoffes und der Masse bzw. dem Volumen dieses Stoffes.

Aktivität, spezifische

Die spezifische Aktivität eines Radionuklids ist die Aktivität des Radionuklids pro Masseneinheit dieses Nuklids.

Die spezifische Aktivität eines Stoffes ist die Aktivität pro Masseneinheit dieses Stoffes, wobei im allgemeinen von einer homogenen Verteilung des Nuklids in diesem Stoff ausgegangen wird; sie wird zur Unterscheidung von der erstgenannten auch als relative spezifische Aktivität bezeichnet.

Alphateilchen

Von verschiedenen radioaktiven Stoffen beim Zerfall ausgesandtes doppelt positiv geladenes Teilchen. Es besteht aus zwei Neutronen und zwei Protonen, ist also mit dem Kern des Heliumatoms identisch. Alphastrahlung ist die am wenigsten durchdringende Strahlung der drei Strahlenarten (Alpha-, Beta- und Gammastrahlung); sie wird schon durch ein Blatt Papier absorbiert. Sie ist für Lebewesen dann sehr gefährlich, wenn sie inkorporiert wird.

Alphazerfall

Radioaktive Umwandlung, bei der ein Alphateilchen emittiert wird. Beim Alphazerfall nimmt die Ordnungszahl um 2 Einheiten und die Massenzahl um 4 Einheiten ab. So entsteht z.B. aus U-235 beim Alphazerfall aus einem Isotop der Ordnungszahl 92 mit Th-234 eines mit der Ordnungszahl 90.

Äquivalentdosis

Produkt aus der Energiedosis und dem Bewertungsfaktor. Hierbei wird zu Strahlenschutzzwecken die relative Wirksamkeit der jeweiligen ionisierenden Strahlung im belebten, durchstrahlten Objekt bereits berücksichtigt.

Betateilchen

Ein Elektron positiver oder negativer Ladung, das von einem Atomkern oder Elementarteilchen beim radioaktiven Zerfall ausgesandt wird.

Betastrahlung

Mit Betastrahlung bezeichnet man die Emission von Elektronen (oder Positronen) beim radioaktiven Zerfall. Betastrahlen haben ein Energiekontinuum, angegeben wird jeweils die maximale Energie. Betastrahlen werden bereits durch geringe Schichtdicken (1 bis 2 cm Kunststoff oder 1 cm Aluminium) absorbiert.

Bewertungsfaktor

Dimensionslose Zahl zur Berechnung der für Strahlenschutzzwecke maßgeblichen Dosis, um den jeweiligen Strahlenrisiko der verschiedenen ionisierenden Strahlen Rechnung zu tragen.

Detektor

Bauelement zur Messung von Strahlung. Die mit dem Material des Bauelementes in Wechselwirkung tretende Strahlung erzeugt Signale, die mit Hilfe einer Elektronik zur Anzeige gebracht werden.

Dosis, genetisch signifikante

Die genetisch signifikante Doses ermöglicht eine Beurteilung der Wirkung ionisierender Strahlung auf die Erbsubstanz.

Dosis-Wirkungs-Beziehung

Beziehung zwischen der Energiedosis im Gewebe oder Organ und der daraus resultierenden Strahlenwirkung.

Dosisleistung

Quotient aus der Dosis und der Zeit.

Elektronen

Bausteine der Atome umkreisen den Atomkern auf Bahnen, die die Atomhülle bilden. Sie sind ca. 1/2000stel so schwer wie die Kernbausteine und elektrisch negativ geladen.

Energiedosis

Einzige meßtechnisch zugängliche Größe. Die Energiedosis ist der Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement dieses Materials übertragen wird, und der Masse in diesem Volumenelement.

Einheiten *

Becquerel (Bq) - Neue Einheit der Aktivität eines Radionuklids; ersetzt die bisher gebräuchliche Einheit Curie. Die Aktivität von 1 Bq liegt vor, wenn von der vorhandenen Menge eines Radionuklides 1 Atomkern pro Sekunde zerfällt; $3,7 \times 10^{10}$ Bq = 1 Curie.

Curie (Ci) - Bis 31.12.1985 zugelassene Einheit der Aktivität eines Radionuklids. Die Aktivität von 1 Ci liegt vor, wenn von einem vorhandenen Radionuklid $3,7 \times 10^{10}$ (37 Milliarden) Atome pro Sekunde zerfallen.

Gray (Gy) - Neue Einheit der Energiedosis: 1 Gray = 1 Joule pro Kilogramm (1 Gy = 1 J/kg = 100 rad)

Rad (rad) - Bis 31.12.1985 zugelassene Einheit der Energiedosis. 1 Rad (radiation absorbed dose) entspricht der Absorption von einer Strahlungsenergie von 1/100 Joule pro Kilogramm Materie.

Sievert (Sv) - Neue Einheit der Äquivalentdosis: 1 Sievert = 1 Joule pro Kilogramm (1 Sv = 1 J/kg rem)

Rem (rem) - Bis 31.12.1985 zugelassene Einheit der Äquivalentdosis, die das Produkt aus Energiedosis und Qualitätsfaktor ist.

*: Nach dem Gesetz über die Einheiten im Meßwesen vom 02. Juli 1969 (BGBl. I S. 702)

Die Äquivalentdosis ist damit ein Maß für die Schädlichkeit einer Strahlung für den Menschen.

Gammastrahlung

Hochenergetische, kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die von einem Atomkern beim radioaktiven Zerfall ausgestrahlt wird.

Die Energien von Gammastrahlen liegen gewöhnlich zwischen 0,01 und 10 Megaelektronenvolt (MeV). Im allgemeinen sind der Alpha- und Betazerfall und Spaltungsvorgänge immer von einer Emission von Gammastrahlen begleitet. Gammastrahlen sind sehr durchdringungsfähig und lassen sich am besten durch Materialien von hoher Dichte (Blei oder höher) abschirmen.

Ganzkörperdosis

Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers.

Halbwertzeit, physikalisch

Zeitspanne, nach der gerade die Hälfte der anfänglich vorhanden gewesenen Atomkerne einer Art zerfallen ist.

Halbwertzeit, biologisch

Die Zeit, in der ein biologisches System, beispielsweise ein Mensch, auf natürlichem Wege die Hälfte der aufgenommenen Menge eines bestimmten Stoffes wieder ausgeschieden hat.

Halbwertzeit, effektiv

Zeit, nach der die an einem Ort (z.B. kritisches Organ) oder im ganzen Körper gemessene Aktivität auf die Hälfte abgefallen ist. Diese Größe ist die in organischen Systemen entscheidende, da sie sowohl die physikalischen Eigenschaften des Radionuklids (physikalische Halbwertzeit) als auch die biologischen des organischen Systems (biologische Halbwertzeit) berücksichtigt.

Inkorporation

Aufnahme von radioaktiven Substanzen über die Nahrung, Atmung, Haut und Wunden in den Organismus.

Isotope

Als Isotope werden Atomkerne bezeichnet, die bei gleicher Protonenzahl (Ordnungs- oder Kernladungszahl) eine ungleiche Neutronenzahl aufweisen. Sie haben also eine unterschiedliche Atommasse, gehören aber zum gleichen chemischen Element.

Kernspaltung, induzierte

Die Eigenschaft bestimmter Nuklide, z.B. Thorium-233, Uran-235 oder Plutonium-239, durch Neutronen (bei geringer Energie durch thermische Neutronen) in zwei Bruchstücke sowie zwei bis drei Neutronen gespalten zu werden. Die induzierte Kernspaltung spielt beim Betrieb von Kernreaktoren die entscheidende Rolle.

Kernspaltung, spontane

Die Eigenschaft sehr schwerer Atomkerne, ohne Anregung von außen unter Aussendung von Neutronen sich von selbst (spontan) zu spalten.

Kontamination, radioaktive

Durch radioaktive Stoffe verursachte Verunreinigung von Personen, Tieren, Sachgütern oder der Umwelt.

Korpuskularstrahlung

Als Korpuskularstrahlung wird im Gegensatz zur Wellenstrahlung, z.B. der Gammastrahlung, eine energiereiche Teilchenstrahlung bezeichnet, bestehend z.B. aus Protonen, Neutronen, Alpha- oder Betateilchen, die in der Lage ist, Materie direkt oder indirekt zu ionisieren.

Neutronen

Bausteine der Atomkerne, ca. 2000 mal so schwer wie Elektronen; Neutronen sind elektrisch neutral; außerhalb des Atomkerns sind

sie instabil, ihre Halbwertzeit beträgt ca. 12 Minuten, sie wandeln sich in Protonen und Elektronen um.

Protonen

Bausteine der Atomkerne, ungefähr gleich schwer wie die Neutronen, aber elektrisch positiv geladen. Die Größe ihrer positiven Ladung (Ladungsbetrag) ist gleich groß der von Elektronen.

Radionuklid

Instabiles Nuklid, das spontan ohne äußere Einwirkung unter Strahlungsemission zerfällt. Unter ca. 1.500 Isotopen sind über 1.200 natürliche und künstliche Radionuklide bekannt; ca. 250 Isotopen sind stabil.

Strahlung, ionisierende

Strahlung, die in der durchstrahlten Materie Ionen erzeugen kann.

Wirksamkeit, biologische

Verschiedene Strahlenarten bewirken eine unterschiedliche Schädigung der durchstrahlten Materie bei dennoch gleicher Energiedosis. Dieses ist auf das unterschiedliche (lineare) Energieübertragungsvermögen (LET) zurückzuführen. Diese Unterschiedlichkeit ist bei der Bewertung von Strahlenbelastungen bzw. bei der Beurteilung von Strahlenwirkungen zu berücksichtigen.

Bei Betrachtungen zu Strahlenschutzzwecken dient hierfür der sog. Bewertungsfaktor q. Er ist für unterschiedliche Strahlenarten festgeschrieben und dabei von den Expositionsbedingungen, der Art und der Energie der einfallenden Strahlung abhängig.

Bei sonstigen Betrachtungen wird im Gegensatz zum Bewertungsfaktor von der Relativen Biologischen Wirksamkeit (RBW) gesprochen. Dieser Faktor wird für einen bestimmten lebenden Organismus oder eines seiner Teile bestimmt durch das Verhältnis aus der Energiedosis einer Referenzstrahlung (meist 200 kV-Röntgenstrahlung), die eine bestimmte biologische Wirkung erzeugt, und der Energiedosis der betreffenden Strahlung, deren RBW-Faktor zu bestimmen ist und die die gleiche biologische Wirkung hervorruft.

Zerfall

Eigenschaft instabiler Elemente, spontan in einen stabilen Zustand (unmittelbar oder in mehreren Stufen) überzugehen. Da hier in der Regel eine Emission von Teilchen und/oder Strahlen stattfindet, wird allgemein von radioaktivem Zerfall gesprochen.

0.2 Ausführende Institutionen

Die Untersuchungen und Probenahmen wurden von folgenden Dienststellen/ Institutionen durchgeführt:

Wasserprobenahme:

Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft (NLW)

Elbe bei Bunthaus und Oortkaaten
in Zusammenarbeit mit der Wassergütestelle Elbe

Elbe im Bereich Stade - Cuxhaven Neuwerk
in Zusammenarbeit mit Fischereiamt Bremerhaven, Außenstelle Cuxhaven, MS NEPTUN

Sedimentprobenahme:

Wassergütestelle Elbe und NLW

Fischprobenahme:

Wassergütestelle Elbe in Zusammenarbeit mit ortsansässigen Fischern

Durchführung der Untersuchungen:

Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft

1. Einleitung

Die Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe der Länder Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein (ARGE-Elbe) hat 1978 im Rahmen der gemeinsamen Güteüberwachung mit einer grundlegenden Untersuchung der Belastung der Elbe mit radioaktiven Stoffen begonnen. Die analytische Erfassung der einzelnen Radionuklide erfolgte durch das besonders dafür eingerichtete Speziallabor des Niedersächsischen Landesamtes für Wasserwirtschaft.

Der Untersuchungsbereich erstreckte sich anfangs von Schnackenburg bis zur Mündung bei Cuxhaven, später bis zur Außenelbe bei Neuwerk. Ziel der durchgeführten Arbeit war

- Grunddaten der Belastung der Elbe mit radioaktiven Stoffen zu liefern
- Herkunft der radioaktiven Inhaltsstoffe der Elbe zu klären
- eine mögliche, vom Gewässer ausgehende Belastung durch ionisierende Strahlung zu erkennen
- Methoden der Probenahme, der Probenaufbereitung und der Meßtechnik zu erarbeiten, die als Grundlage der zukünftigen Immissionsüberwachung der Elbe dienen sollten

Wichtige sogenannte Belastungspfade, die sich ergeben, wenn ein Gewässer mit radioaktiven Stoffen belastet ist, sind in der Abb. 1 zusammengestellt.

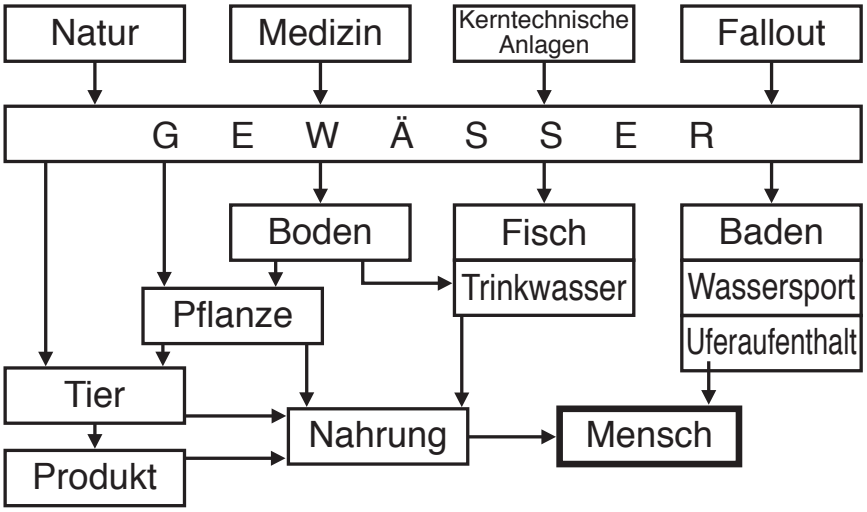


Abb.1 Belastungspfade

Um die mögliche, vom Gewässer ausgehende Strahlenbelastung erkennen zu können, wurden Wasser, Schwebstoffe, Gewässersedimente und Fische auf den Gehalt an radioaktiven Stoffen untersucht. Die durchgeführte Arbeit ergänzt damit die mit anderer Zielsetzung durchgeführten Studien zur Elbe.

In die Betrachtungen fließen vor allem weiterhinein:

- Daten des Deutschen Wetterdienstes über die mit den Niederschlägen dem Erdboden zugeführten künstlichen Radionuklide

- Arbeiten der Bundesforschungsanstalt für Fischerei

- Erkenntnisse des Deutschen Hydrographischen Instituts über die Belastung der Nordsee

- Vergleichsdaten von anderen deutschen Gewässern
- Emissionsdaten kerntechnischer Anlagen
- Daten der Routinemeßprogramme der ARGE-Elbe.

2 Radioaktivität und Umwelt

In den folgenden Kapiteln werden Art und Ursachen der Belastung der Umwelt mit natürlichen und künstlichen Radionukliden unter besonderer Berücksichtigung des Einzugsgebietes der Elbe diskutiert. Gesetzliche Grundlagen, die die Abgabe von radioaktiven Stoffen an die Gewässer regeln, werden unter Einbeziehung von Überwachungsmaßnahmen vorgestellt.

Zum besseren Verständnis des gesamten Berichtes werden Grundbegriffe der Radioaktivität und des Strahlenschutzes im Zusammenhang dargestellt. Die Definitionen der wichtigsten Stichwörter sind im Stichwortverzeichnis alphabetisch zusammengestellt. Zur weitergehenden Information wird empfohlen, die entsprechenden Lehrbücher zu Rate zu ziehen.

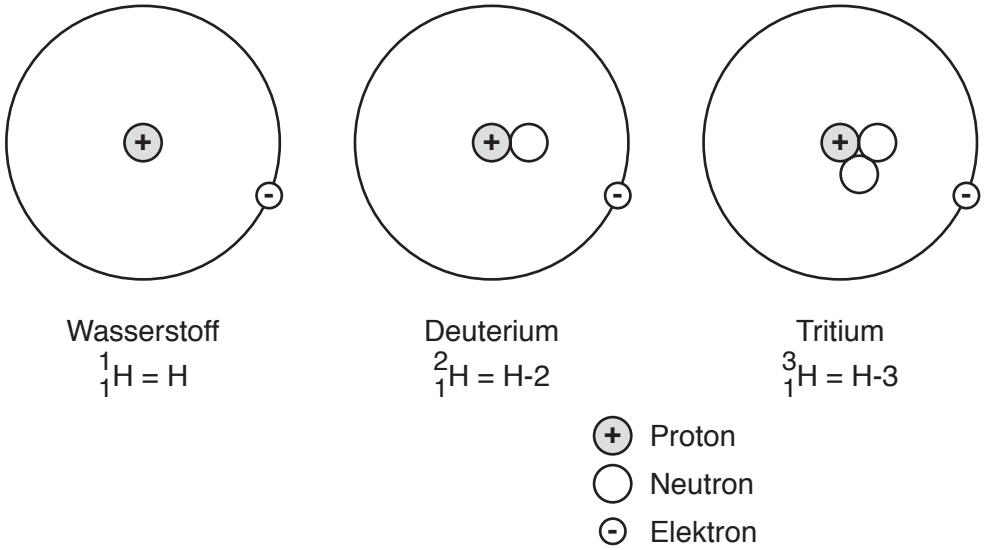
2.1 Grundbegriffe der Radioaktivität und des Strahlenschutzes

Die gesamte uns umgebende Materie ist aus ATOMEN aufgebaut. Ein Atom setzt sich aus dem ATOMKERN und der ATOMHÜLLE zusammen. Der Atomkern besteht aus zwei Arten von Teilchen (NUKLEONEN) nahezu identischer Masse - den elektrisch einfach positiv

geladenen PROTONEN und den neutralen NEUTRONEN. Die Anzahl der Protonen im Kern bestimmt, welches chemische Element vorliegt. Das heißt, daß einer Protronenzahl nur ein einziges Element zuzuorden ist (die Anzahl der Protonen entspricht der ORDNUNGSZAHL des chemischen Elementes im PERIODENSYSTEM).

Die Zahl der Neutronen kann bei einem Element in einem engen Bereich schwanken. Diese unterschiedlichen Formen eines Elementes, die sich in ihrem chemischen Verhalten nicht unterscheiden, nennt man ISOTOPE dieses Elementes.

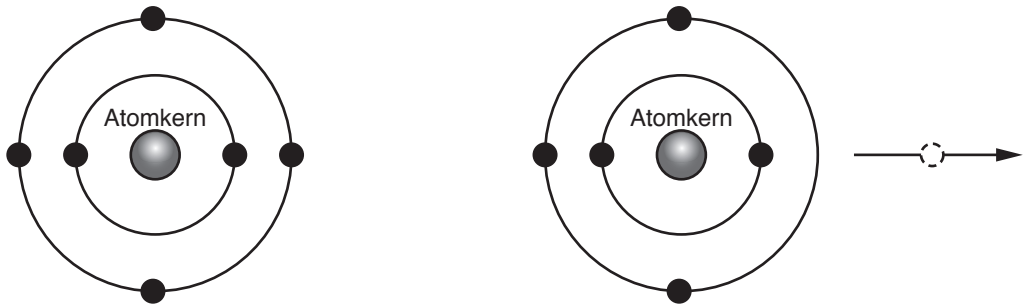
Die Summe der Anzahl der Neutronen und Protonen nennt man MASSENZAHL. In einer vereinfachenden Schreibweise wird diese Massenzahl hinter das Symbol des Elementes geschrieben. So kann man das Wasserstoffisotop mit der Massenzahl 3 (1 Proton, 2 Neutronen) H-3 bezeichnen (eine andere gebräuchliche Schreibweise: ${}^{3}_{1}H$).



Beispiel verschiedener Wasserstoffisotope

Bei einem nach außen elektrisch neutralen Atom entspricht die Zahl der Protonen der Zahl der ELEKTRONEN (elektrisch negativ geladen) in der Atomhülle, d.h. bei Wasserstoff (H) befindet sich ein Elektron, beim Uran (U) befinden sich 92 Elektronen in der Atomhülle.

Ist die Zahl der Protonen im Atomkern ungleich der Zahl der Elektronen in der Atomhülle, so liegen IONEN vor (elektrisch positiv oder negativ geladene Atome).



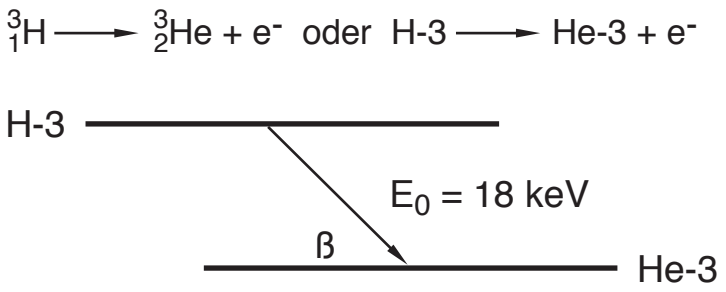
Neutrales Kohlenstoffatom

Ionisiertes Kohlenstoffatom (positiv geladenenes Kohlenstoffion)

Manche der Isotope sind instabil. Sie senden spontan und ohne äußeren Einfluß eine energiereiche Strahlung aus, die ihren Ursprung im Atomkern hat. Diese Isotope nennt man RADIOISOTOPE oder RADIONUKLIDE. Den Vorgang nennt man RADIOAKTIVEN ZERFALL. Das Radioisotop wird bei diesem Zerfall in ein Isotop eines anderen Elementes umgewandelt, das selbst wieder ein Radioisotop oder auch ein stabiles Isotop ist.

Ein einfaches Beipiel ist der Zerfall des H-3. Das H-3 (Tritium) ist im Gegensatz zum H-2 (Deuterium) und zum H-1 ein Radioisotop. Es zerfällt unter Aussendung einer Strahlung (ß-Strahlung) zu einem stabilen Isotop des Heliums (He-3).

Jeder Zerfall läßt sich durch ein ZERFALLSSCHEMA beschreiben:



Zerfallschema H-3 zu He-3

Der Mensch ist auf unterschiedlicher Weise verschiedenen Strahlungen ausgesetzt, die teils, wie Radiowellen und das Licht, elektromagnetische Wellenstrahlungen, teils, wie die unten erwähnte ß-Strahlung, Teilchenstrahlungen sind.

Zusammenstellung einiger ionisierender und nichtionisierender Strahlungen:

Art der Strahlung	Energie der Strahlung
blaues Licht	ca. 0,003 keV
Ultraviolettes Licht (UV)	ca. 0,003 - 100 keV
Strahlung der Röntgendiagnostik	30 keV-150 keV
Gamma-Strahlung des Co-60	1170 und 1330 keV
Alpha-Strahlung des Pu-239	5100 keV
Beta-Strahlung des K-40 (max. Energie)	1300 keV

Es gibt 3 Arten von ionisierenden Strahlungen, die bei der Betrachtung von Umweltvorgängen von herausragender Bedeutung sind.

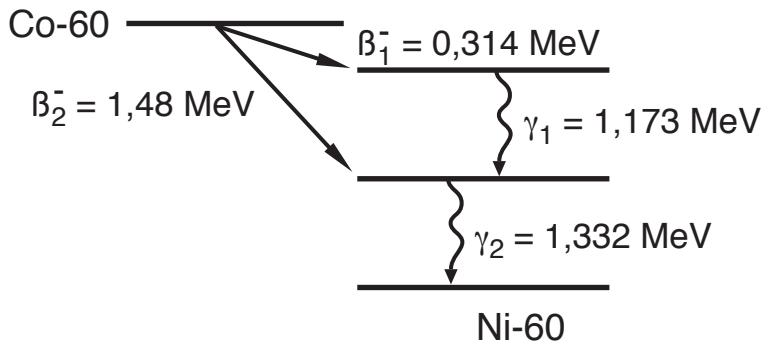
Alpha-(α) -Strahlung (Heliumatomkerne)
Beta- (ß) -Strahlung (Elektronen oder Positronen)
Gamma-(γ) -Strahlung (elektromagnetische Wellenstrahlung)

α- und ß-Strahlung sind Strahlungen energiereicher, geladener Teilchen, die von einer relativ geringen Reichweite sind (maximal wenige cm). Sie lassen sich leicht abschirmen, wobei bei den ß-Strahlen dünne Aluminiumplättchen, bei den α-Strahlen, trotz ihrer hohen Energie, schon Papierblätter ausreichen.

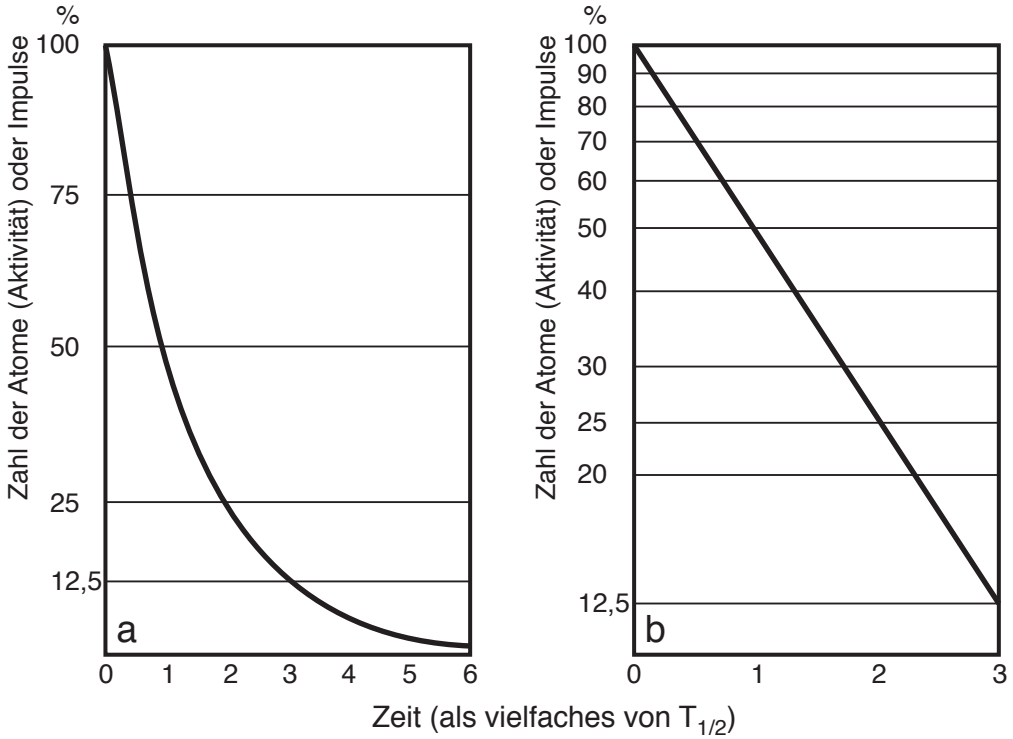
γ-Strahlung ist eine energiereiche, durchdringende elektromagnetische Wellenstrahlung (Photonen), die dem sichtbaren Licht, eher jedoch der Röntgenstrahlung vergleichbar ist. Es bedarf dicker Bleiplatten, um sie abzuschirmen.

Die Energie eines Teilchens oder eines Photons wird in eV (Elektronenvolt), keV oder MeV angegeben.

Jeder radioaktive Zerfall ist von einer für das entsprechende Nuklid charakteristische Strahlenart bestimmter Energie begleitet. Als Beispiel sei das Zerfallsschema des Kobalt-60 (Co-60) abgebildet. Für den Zerfall des Co-60 zum Nickel-60 (Ni-60) sind zwei Zerfallswege mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit möglich (Aussendung von ß- und γ-Strahlung).



Zerfallsschema Co-60



Graphische Darstellung der physikalischen **Halbwertszeit** ($T_{1/2}$) eines Radionuklids. Aufgezeichnet ist die Zahl der Atome, respektive die Impulszahl gegen die Zeit. Radioaktiver Zerfall (a) bei linearer, (b) bei semilogarithmischer Registrierung in % der Ausgangsmenge.

Der radioaktive Zerfall eines Radionuklids verläuft mit einer für das entsprechende Nuklid charakteristischen Geschwindigkeit. Anschaulich läßt sich diese Abnahme der Ausgangsmenge durch die HALBWERTSZEIT ausdrücken. Die Halbwertszeit ist die Zeit in Sekunden, Minuten, Tagen oder Jahren, in der eine ursprünglich vorhandene Menge von Radioaktivität (AKTIVITÄT) um die Hälfte abgenommen hat (nach zwei Halbwertszeiten ist also noch ein Viertel, nach drei Halbwertszeiten ein Achtel der ursprünglichen Aktivität vorhanden).

Alle drei erwähnten Strahlenarten (α, β, γ) ionisieren die Atome und Moleküle der Stoffe (ionisierende Strahlung), in die sie eindringen. Das führt zu Veränderungen oder gar zu Zerstörungen. Auf diese Primärvorgänge baut sich eine ganze Kette von Folgereaktionen auf, die letztlich bei biologischem Material zu einer Störung des Zellebens oder sogar zum Tod der Zelle führen kann.

Werden radioaktive Stoffe im menschlichen Körper aufgenommen (INKORPORATION), dann geht die relativ größte Schadwirkung von der Ionisation durch Teilchenstrahlung (α- und ß-Strahlung) aus. Deutlich geringer ist die Schadwirkung der γ-Strahlung, die z.T. den Körper wieder verläßt, ohne eine Ionisation verursacht zu haben.

Dem unterschiedlichen Ionisationsvermögen wird mit dem Faktor der "relativen biologischen Wirksamkeit" (RBW) Rechnung getragen.

Es sind ca. 250 stabile und ca. 1200 instabile (radioaktive) Nuklide bekannt. Von den meisten Nukliden gibt es sowohl stabile als auch instabile Isotope (bei Ordnungszahlen über 83, also bei besonders schweren Elementen, existieren nur noch instabile Isotope. Der radioaktive Zerfall unterliegt statistischen Gesetzen. Ein Unterscheidungsmerkmal der Radionuklide ist ihre Halbwertszeit.

Als Maßeinheit für die Radioaktivität gilt bis 1985 neben dem Becquerel noch das Curie (Ci, 1 Ci = 3,7 * 10^{10} Zerfälle/s). Ab 1986 wird nur die Einheit Becquerel (Bq, 1 Bq = 1 Zerf/s = 27 * 10^{12} Ci) gültig sein.

Um anschauliche Werte bei der Betrachtung der Umweltvorgänge zu erlangen, hat sich in der Umweltüberwachung international die abgeleitete Einheit pCi = 10^{-12} Ci pro kg oder pro 1 Medium für die Aktivitätskonzentration durchgesetzt. Diese Maßeinheit wird auch im vorliegenden Bericht angewandt, um die Vergleichbarkeit mit Arbeiten anderer Autoren zu erleichtern (1 pCi = 0,037 Bq).

Als Maßeinheit der Auswirkung der Strahlung (Äquivalentdosis) auf den Menschen gilt z.Zt. noch das rem (1 rem = 0,01 J/kg) bzw. das mrem (1/1000 rem). Üblicherweise wird im Strahlenschutz ein Grenzwert der Jahresdosis angegeben (z.B. mrem/a). Ab 1986 gilt nur noch die Einheit Sievert (Sr), wobei gilt: 1 Sr = 1 J/kg = 100 rem.

Diese abgeleitete Größe ist bei der Gewässerüberwachung nicht meßbar. Sie wird unter Kenntnis der Aktivitätskonzentration (Ci pro Volumen oder Gewicht) durch Rechenverfahren ermittelt.

2.2 Herkunft und Art der Radionuklide in der Umwelt

2.2.1 Natürliche Radionuklide

Natürliche Radionuklide und damit auch ihre radioaktive Strahlung kommen überall in der Natur vor. In jedem Kilogramm eines beliebigen natürlichen Materials lassen sich ohne Schwierigkeiten eine Reihe natürlicher α-, ß- und γ-Strahler nachweisen.

Diese in ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften unterschiedlichen Substanzen werden in drei Grundklassen aufgeteilt:

1. Radionuklide ohne Zerfallsreihen (einschließlich der natürlichen Spaltnuklide)

   Beispiele: Kalium-40 (K-40)
   Rubidium-87 (Rb-87)

2. Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen, ausgehend von Uran-238 (U-238), U-235 und Thorium-232 (Th-232)

   Glieder dieser Zerfallsreihen sind in der Tabelle 1 aufgelistet.

Radionuklide der Gruppe 1 und die Ausgangsnuklide der Gruppe 2 sind durch die Naturprozesse einmal entstanden und werden nicht nachgebildet.

Tabelle 1: Wichtige natürliche Radionuklide im Erdboden

Radionuklid	Art der Strahlung	Bemerkung
K-40	β, γ	Die γ-Strahlung des K-40
Tl-208	β, γ	und des Ra-226 und seiner
Ph-212	β, γ	Folgeprodukte bilden
Pb-214	β, γ	wesentlichen Anteil
Bi-212	β, γ, α	der "terrestrischen"
Bi-214	β, γ, α	Unterqrundstrahlung.
Ac-228	β, γ	Sie sind über ihre
Ra-226	γ, α	γ-Strahlung gut meßbar.
Pb-210	β, γ	
Uran-234 /235 /238	γ, α	
Th-232	γ, α	

Von den γ-strahlenden Radionukliden dieser beiden Grundklassen geht die sogenannte terrestrische Untergrundstrahlung aus. Diese γ-Strahlung trägt wesentlich zur natürlichen Strahlenbelastung des Menschen bei und macht die Messung der künstlichen Radioaktivität zu einer zeitaufwendigen und teueren Angelegenheit (dicke Blei- oder Stahlabschirmungen, radiochemische Trennungsgänge, Antikoinzidenzschaltungen etc.).

Durch Erosion werden die natürlichen Radionuklide, Bestandteil jeder Gesteins- und Bodenprobe, in die Gewässer verfrachtet. Die sich dort ablagernden Sedimente zeigen eine den Bodenproben entsprechende Radionuklid-Zusammensetzung. Weiterhin werden diese Radionuklide z.T. vom Grundwasser gelöst und in die Gewässer eingebracht.

Von besonderer Bedeutung sind Radium-226 (Ra-226) und Blei-210 (Pb-210), die zu den stärksten radiotoxischen Substanzen gehören. Sie werden mit der Nahrung und dem Wasser von Organismen aufgenommen und angereichert.

3. Durch kosmische Strahlung in der Atmosphäre gebildete Stoffe

In der oberen Schicht der Atmosphäre bilden sich ständig kurzlebige, aber auch eine Reihe langlebiger Radionuklide (Tabelle 2). Sie werden mit dem Regen dem Erdboden zugeführt. Von ihnen tragen - im geringen Umfang - nur Tritium (H-3) und Beryllium-7 (Be-7) zur Gewässerbelastung bei. Das Kohlenstoffisotop C-14 ist mit zur Zeit ca. 6,1 pCi/g C Bestandteil aller organischen Substanzen (das C-14 ist nur teilweise natürlichen Ursprungs).

Tabelle 2: Natürliche Radionuklide in Niederschlägen und Gewässern [PCi / l]

Nuklid	Halbwertzeit	Art der Strahlung	Niederschläge	Flußwasser	Meerwasser
H-3	123 a	ß	10 - 20	1 - 10	
Be-7	52 d	ß, γ	10 - 50		
C-14	5550 a	ß			0,2
Na-22	2,6 a	ß	0,02	ohne Bedeutung	ohne Bedeutung
P-32	14,3 d	ß	0,6	" "	" "
P-33	25 d	n	0,2	" "	" "
S-35	87 d	ß	0,9	" "	" "
K-40	10^9 a	ß, γ	0,1 - 2	10 - 400 ++	330
Rb-87	$5 \cdot 10^{10}$ a	ß	0,07	ca. 0,07	3
Ra-226	1620 a	α, γ		< 0,01 -2	ca. 0,1
Rn-220				10 - 50	0,02 - 0,09

* Daten von vor Beginn der Kernwaffenversuche

++ bedingt durch Einleitung von Kaliendlaugen

2.2.2 Kernwaffenversuche, Fallout

Die Anwesenheit künstlich erzeugter radioaktiver Stoffe in der Umwelt war in den vergangenen drei Jahrzehnten hauptsächlich auf die oberirdischen Kernwaffenversuche zurückzuführen. Je nach Bombentyp (Kernspaltungsbombe ähnlich der "Hiroshimabombe" oder der thermonuklearen "Wasserstoffbombe") entstehen radioaktive Spaltprodukte und Aktivierungsprodukte, letztere gebildet durch Neutronenaktivierung des Bombenitiaterials, der Luft und des Bodens am Explosionsort. Diese radioaktiven Isotope werden in die Atmosphäre geschleudert. Im frisch gebildeten Spaltmaterial einer Bombe sind im wesentlichen die Radionuklide der Tabelle 3 vertreten /4/. Daneben treten in stark unterschiedlicher Menge Aktivierungsprodukte auf.

Je nach Art und Stärke der Bombe gelangen die Spalt- und Aktivierungsprodukte in die Troposphäre, teils sogar bis in höhere Stratosphärenschichten (bis 35 km Höhe). Nach wenigen Tagen kommt es durch horizontalen Transport der Luftmassen zu einer weltweiten Verteilung der radioaktiven Stoffe, die bevorzugt über den gleichen Breitengrad erfolgt.

Überwiegend mit dem Regen werden die radioaktiven Stoffe aus der Troposphäre ausgewaschen und gelangen auf die Erdoberfläche. Die mit dem Regen dem Boden zugeführte Radioaktivität nennt man "Washout", die mit der Luft zugeführte Aktivität "Fallout". Im folgenden Text werden, wissenschaftlich etwas ungenau, beide Effekte nicht näher unterschieden und gemeinsam als "Fallout" bezeichnet.

Dem intermediären Fallout, der schon kurz nach der Bombenexplosion weltweit einsetzt, folgt der verzögerte Fallout, der sich über viele Jahre bis Jahrzehnte hinzieht. Die bei Explosionen besonders starker Bomben in die hohen Stratosphärenschichten geschleuderten Spalt- und Aktivierungsprodukte werden nur langsam und intermittierend an die tieferen, das Wettergeschehen bestimmenden Atmosphärenschichten abgegeben. Das Maximum der Aktivität tritt regelmäßig im

Tabelle 3 : Radionuklide im Fallout [4, 5]

Wichtige Spaltnuklide				Wichtiqe Aktivierungsprodukte				
Radionuklide	Halbwertszeit	ß-Strahler	γ-Strahler	Reaktornuklide	Halbwertszeit	ß-Strahler	γ-Strahler	α-Strahler
sr-89	53 d	+	-	H-3	12,3 a	+	-	
Sr-90	28 a	+	-	C-14	5550 a	+	-	
Y-90	2,7 d	+	-	Mn-54	310 d	-	+	
Y-91	58 d	+	-	Fe-55	2,7 a	+	-	
zr-95	63 d	+	+	Fe-59	45 d	+	+	
Nb-95	35 d	+	+	Co-57	267 d		+	
mo-99	66 h	+	+	Co-58	71 d	+	+	
Ru-103	40 d	+	+	Co-60	5,2 a	+	+	
Ru-106	1,0 a	+	-	Zn-65	245 d	-	+	
Rh-106	Tochter	-	+	Rh-102 +	210 d	+	+	
I-131	8,1 d	+	+	Cd-109 +	470 d	-	+	
Te-132	77,7 h	+	+	Cd-113m+	14 a	+	-	
J-132	Tochter	+	+	W-185 +	74 d	+	-	
				Sb-124	60 d	+	+	
Cs-137	30 a	+	+	Tl-204	3,9 a	+	-	
Ba-140	12,8	+	+	Pu-238	86 a		(+)	+
La-140	Tochter	+	+	Pu-239	$2,4 \cdot 10^4$ a		(+)	+
Ce-141	33 d	+	+					
Pr-143	13,8 d	+	-	+ = Bestandteil vereinzelter Testserien				
Ce-144	285 d	+	+					
Pr-144	Tochter	+	-					
Nd-147	11,6 d	+	+					
Pm-147	2,6 a	+	-					
Sm-151	80 a	+						

Frühjahr, das Minimum im Herbst auf. So wurde die maximale Auswirkung der im Oktober 1980 gezündeten chinesischen Atombombe u.a. in der bodennahen Luft /7/ und in kleineren Fließgewässern /3/ im Frühjahr 1981 festgestellt (vergl. auch Mundschenk /48/). Die Nuklidzusammensetzung der Inhaltsstoffe des Fallouts ändert sich mit dem Aufenthalt in der Atmosphäre. Schließlich bleiben die langlebigen Radionuklide wie Tritium (H-3), Strontium 90/Yttrium-90 (Sr-90/Y-90), Caesium-137 (Cs-137) und Plutoniumisotope übrig.

Bis 1963, einem Jahr nach Inkrafttreten des Versuchsstops der Länder USA, UDSSR und Großbritannien für oberirdische Kernwaffenversuche, wuchs die dem Erdboden pro km^2 jährlich zugeführte Radioaktivität ständig an. So betrug der maximale Jahreswert für Königstein/Taunus /2/ 1963 für Sr-90 15 mCi/km^2 (1 mCi = 1/1000 Ci), für Cs-137 22 mCi/km^2. Der kumulative Sr-90-Auftrag betrug für Großbritannien bis 1966 fast 90 mCi/km^2. Zwischenzeitlich ist die Aktivitätszufuhr aus der Atmosphäre wieder deutlich abgeklungen. Die gegenwärtig dem Erdboden zugeführten Sr-90 und Cs-137-Mengen liegen, bedingt durch chinesische Kernwaffenversuche, um oder unter 1 mCi/km^2 pro Jahr.

Der Gehalt des feuchten Fallouts (Regen) an radioaktiven Stoffen wird im Bereich der Bundesrepublik Deutschland u.a. regelmäßig vom Deutschen Wetterdienst Offenbach überwacht. Messungen des trockenen Fallouts (Luft) werden u.a. von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig, durchgeführt.

Mit diesen Messungen kann man den zeitlichen Ablauf der Kontamination durch die chinesischen Kernwaffenversuche verfolgen (vgl. Tab. 4). Am 15.03.1978, 14.12.1978 und 16.10.1980 fanden die bisher letzten Versuche statt.

Im Niederschlag ließen sich ständig folgende Nuklide nachweisen:

H-3, Sr-90, Y-91, Sb-125, Cs-137, Ce-144

Tabelle: 4 Einfluß eines chinesischen Kernwaffenversuche (16.10.80) auf die dem Erdboden durch Niederschläge zugefuhrte Einzelnuklidaktivität (August 1980 - Juni 1982) Probenahme in Offenbach a.M. (Messungen Deutscher Wetterdienst) [2,5]

Monat	Nieder. l/m²	Sr-90	Sr-89	Co-137	Be-140	Ce-141	Ce-144	Mn-54	Y-91 pci/l	Zr-95	Nb-95	Ru-103	Ru-106	I-131	Sb-125	Be-7
1980																
August		0,12	nn	0,22	nn	nn	0,42		0,12	nn	nn	nn	nn	nn	0,22	
September		0,16	nn	0,16	nn	nn	0,21		0,11	nn	nn	nn	nn	nn	0,17	
Oktober		0,14	0,17	0,12	0,73	0,37	0,15		0,11	0,35	0,22	1,11	nn	2,20	0,10	
November		0,14	3,16	0.13	0,37	2,33	0,61		0,17	4,43	5,93	7,91	nn	2,21	0,43	
Dezember		0,10	3,02	0,11	1,27	1,70	0,63		<0,10	3,51	5.97	6,10	0,41	0,26	0,76	
1981																
Januar	60,7	0,20	4,10	0,20		1,92	0,93	0,03	1,32	2,25	5,52	4,86	0,67		0,46	25,68
Februar	9,4	0,47	7,63	0,65		2,78	3,28		3,20	7,32	18,84	10,15			2,64	31,64
März	97,1	0,53	7,11	0,86		1,68	3,43	0,25	2,20	8.43	21,45	9,13	3,45		0,80	34,43
April	49,5	1,04	8,82	1,17		2,76	8,25	0,29	3,46	9,57	27,83	7,14	4,76		0,47	34,75
Mai	68,6	1,13	4,85	1,13		1,42	7,77	0,30	5,80	6,43	20,60	4,48	4,53		0,49	32,30
Juni	102,5	0,80	1,61	1,04		0,80	7,77	0,28	1,64	4,18	10,75	2,84	4,46		0,54	55,11
Juli	48,9	0,66	1,10	0,98		0,56	8,56	0,26	0,45	2,81	9,91	1,54	3,98		0,76	57,56
August	147,7	0,21	0,11	0,21		0,08	2,94	0,06	0,33	0,53	1,69	0,23	1,21		0,25	22,40
September	46,8	0,17		0,28			3,33	0,06	0,07	0,49	1,84	0,14	1,10		0,16	61,47
Oktober	88,5	0,12		0,12			1,29	0,03	0,15	0,15	0,53		0,20		0,06	32,11
November	46,8	0,08		0,12			1,20		0,23	0,18	0,63		0.40		0,14	38,87
Dezember	103,9	0,06		0,10			1,12	0,01	0,14	0,15	0,49		0,26		0,08	25,50
1982																
Januar	60,1	0,05		0,11			1,11		0,05		0,21		0,23		0,03	29,70
Februar	13,7	0,18		0,26			1,55		0,09	0,21	0,49				0,26	59,90
März	43,2	0,07		0,12			0,23		0,04		0,11				0,24	35,05
April	30,4	0,14	<0,05	0,22			0,47		0,17		0,06				0,15	56,07
Mai	45,5	0,11		0,13			0,25		0,05				0,14		0,19	43,20
Juni	38,7	0,15		0,19			0,27	0,03	0,04		0,08		0,31		0,09	53,40

Folgende Nuklide traten nur im Frühjahr bzw. direkt nach chinesischen Kernwaffenversuchen auf:

Sr-89, Zr-95, Nb-95, Ru-103/106, I-131, Ba-140, Ce-141

Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentrationen in Niederschlägen wird für die Radionuklide H-3 (Probenahme durch den Deutschen Wetterdienst Offenbach und Messung durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz) und Sr-90/Cs-137 in den Abb. 2 - 5 wiedergegeben /2/.

H-3:

Die von 1978 bis 1983 fallende Tendenz des H-3-Gehaltes tritt für beide Probenahmestellen (Cuxhaven und Berlin) deutlich hervor. Mit wenigen Ausnahmen werden in Cuxhaven niedrigere Konzentrationen als in Berlin gefunden.

Sr-90/Cs-137:

Die hohen Konzentrationen in den Niederschlägen der Jahre 1962 - 1966 sind weitgehend abgeklungen. Die Konzentrationen steigen jeweils nach den chinesischen Kernwaffenversuchen für einige Monate wieder an. Abb. 3 - 4 geben die Konzentrationsverhältnisse der letzten 8 Jahre an. Die dem Erdboden in den letzten 20 Jahren pro km^2 zugeführte Aktivitätsmenge ist aus Abb. 5 ersichtlich.

Die Nuklide des Fallouts (H-3, Sr-90 und Cs-137) sind zu einem allgegenwärtigen Bestandteil unserer Umwelt und speziell der Hydrosphäre geworden. Besonders aus der Zeit der hohen Aktivitäten im Fallout liegen Untersuchungen über das Verhalten der Radionuklide wie Sr-90, Ruthenium/Rhenium-106 (Ru/Rh-106), Zirkon/Niob-95 (Zr/Nb-95) und Cs-137 in der Hydrosphäre vor. Für einige Radionuklide wurde eine Abnahme der Aktivitätskonzentration vom Regenwasser zum Oberflächenwasser auf ein Zehntel und eine nochmalige starke Verringerung hin zum Uferfiltrat und Grundwasser ermittelt /4/.

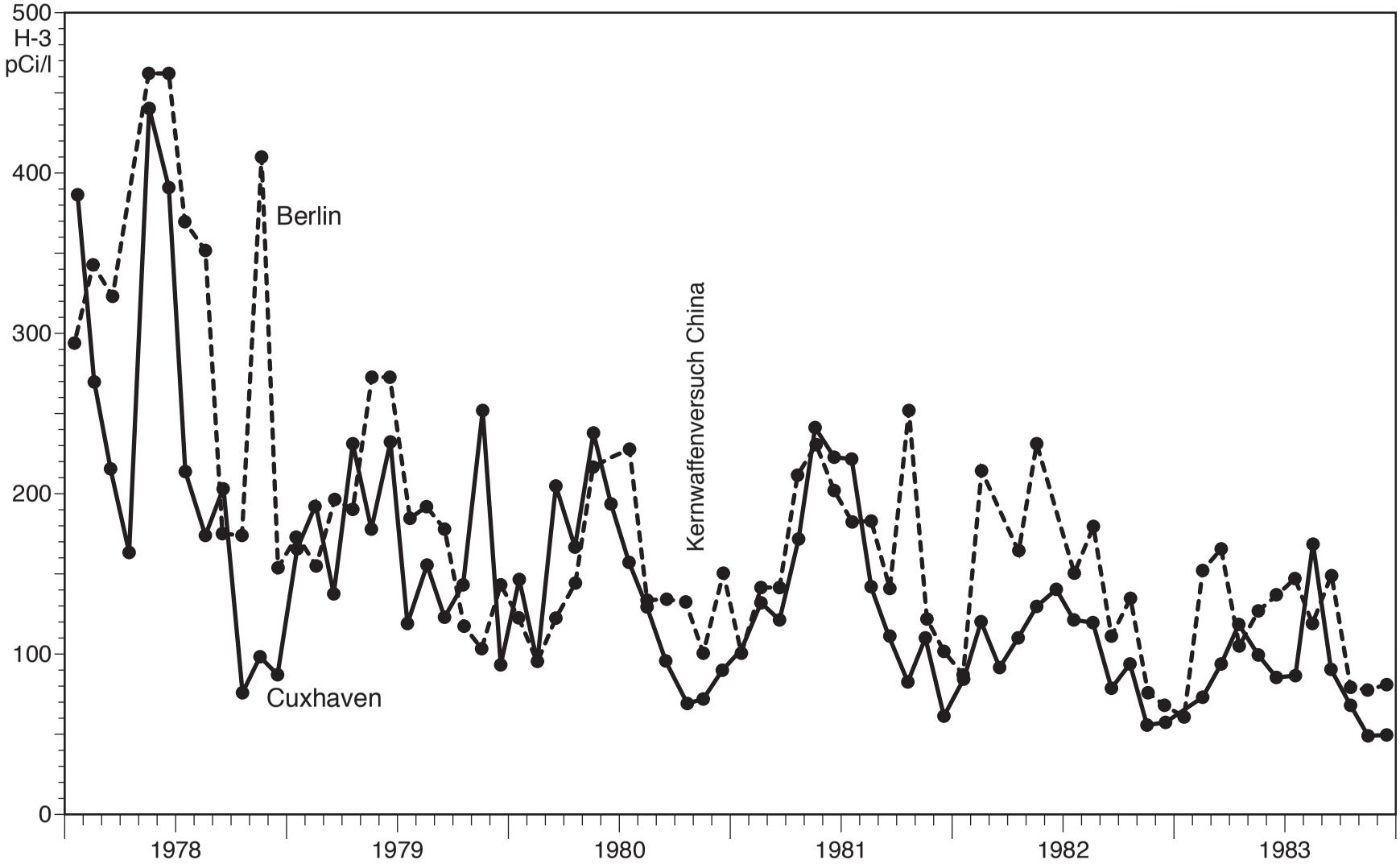


Abb. 2: H-3-Gehalt in Niederschlägenn nach Messungen des Deutschen Wetterdienstes, der Bundesanstalt für Gewässerkunde

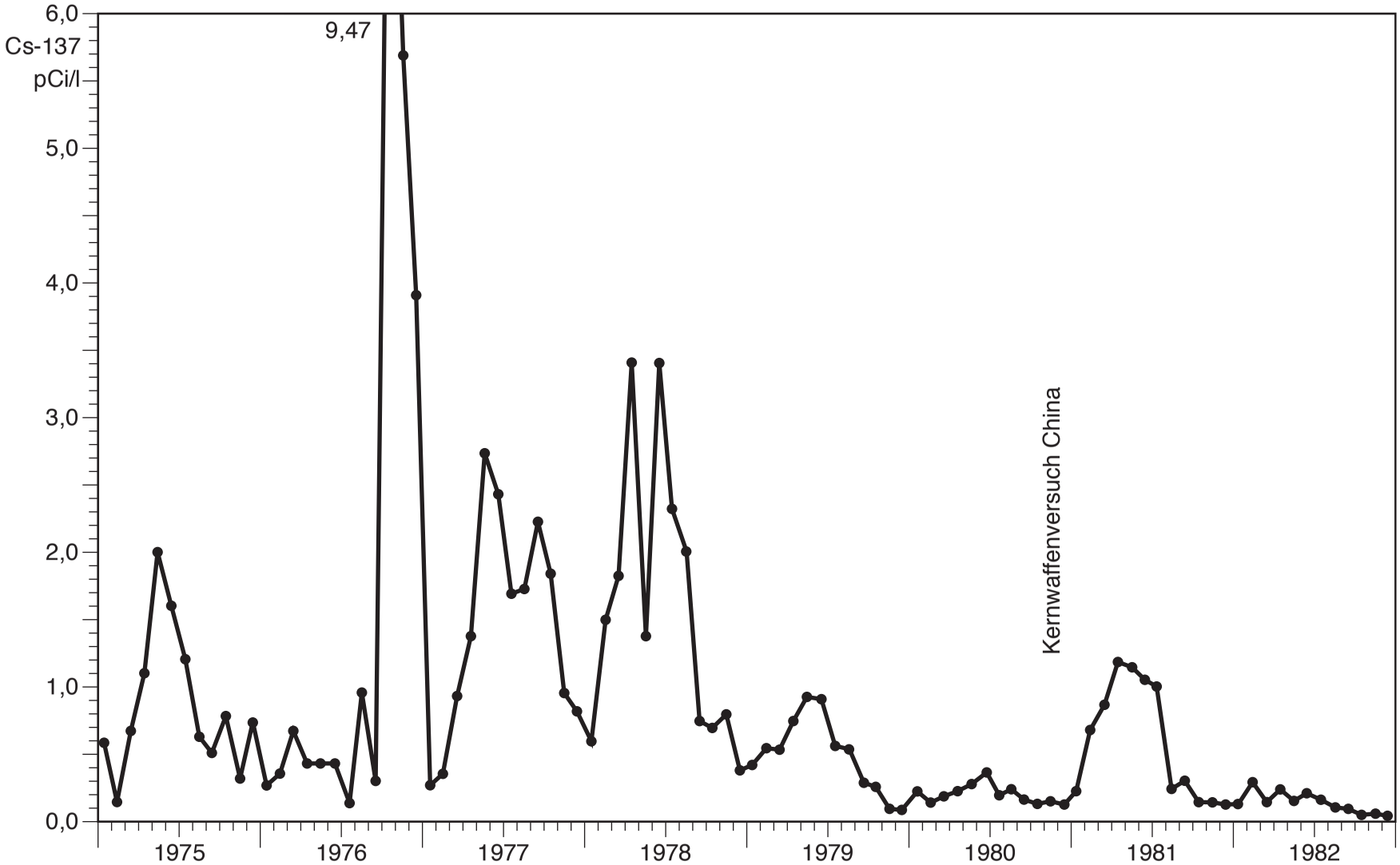


Abb. 3: Cs-137-Gehalt in Niederschlägenn nach Messungen des Deutschen Wetterdienst in Offenbache

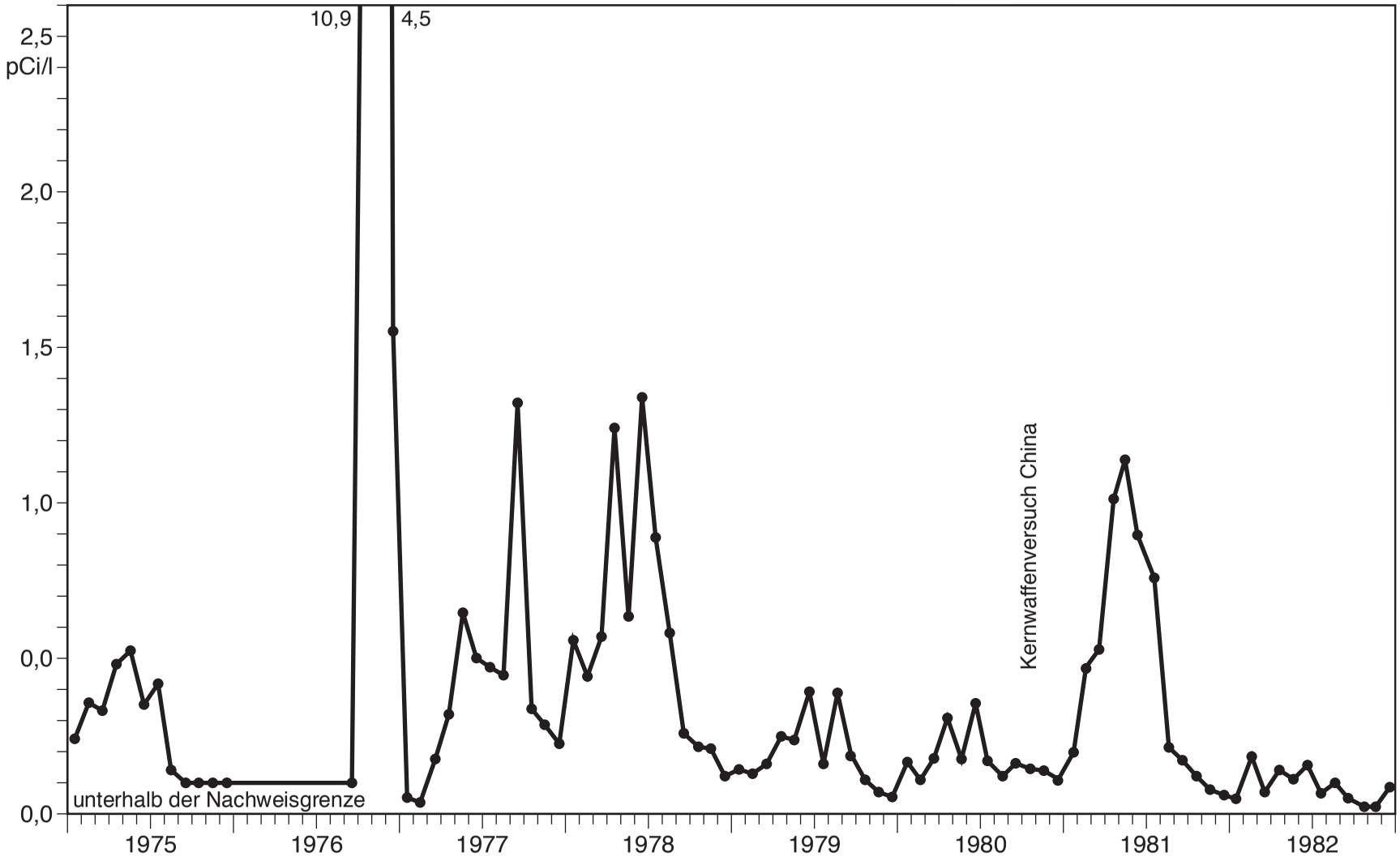


Abb. 4: Sr-90-Gehalt in Niederschlägenn nach Messungen des Deutschen Wetterdienst in Offenbache

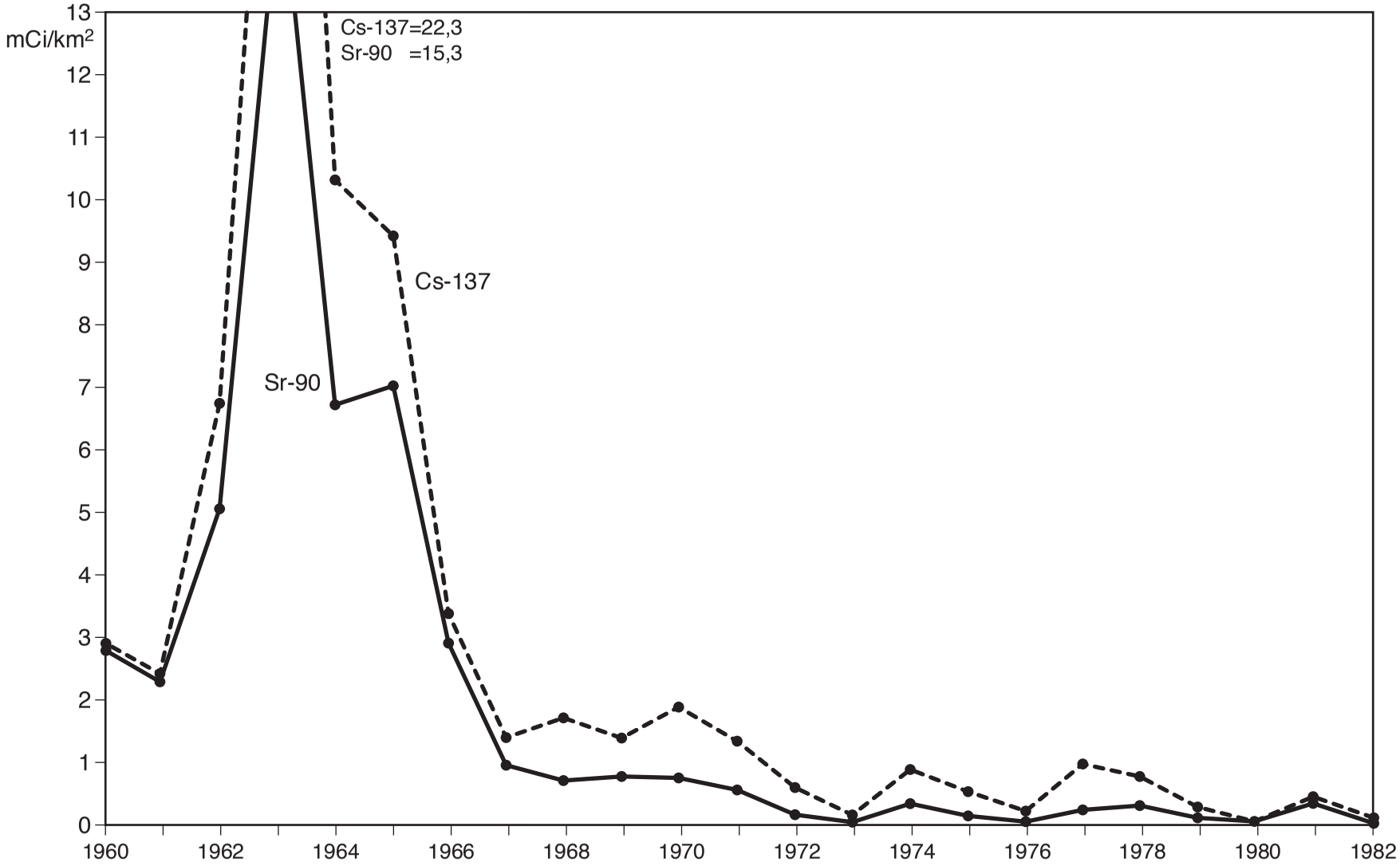


Abb. 5: Dem Erboden durch Niederschläge zugeführte Aktivität, Königstein/Ts. (Deutscher Wetterdienst)

Die Aktivität des Tritiums wird allerdings beim Übergang Regen - Flußwasser - Grundwasser nicht herabgesetzt. Sie wird höchstens durch lange Fließzeiten des Grundwassers und durch Zufuhr von tritiumarmem, altem Grundwasser verringert.

2.2.3 Belastung der Elbe durch das Abwasser von Kernkraftwerken

In Betrieb und im Bau befindliche Kernkraftwerke im Einzugsbereich der Elbe sind in Abb. 6 aufgeführt.

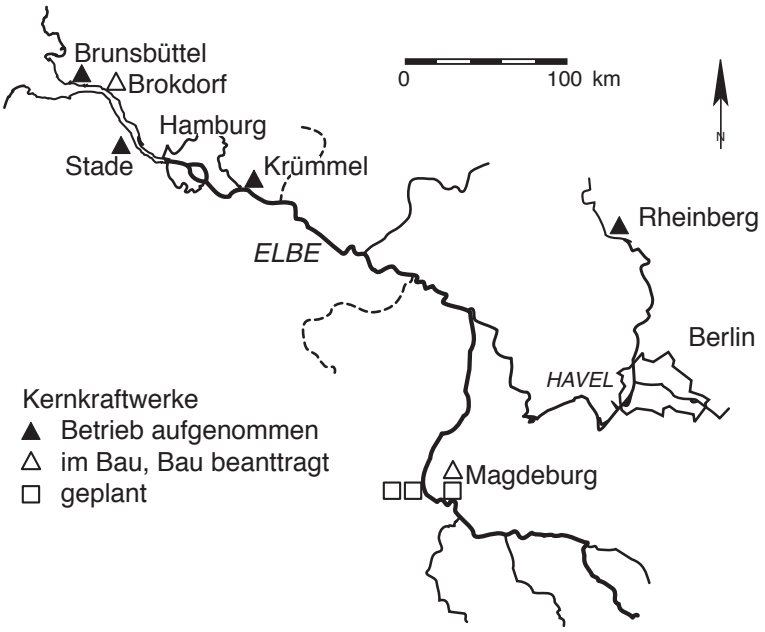


Abb. 6 Standorte von Kernkraftwerken

Während kerntechnische Anlagen der Tschechoslowakei nicht im Einzugsbereich der Elbe liegen, betreibt die DDR ein kleineres Kernkraftwerk in Rheinsberg (nördlich von Berlin). Im Bau bzw. projektiert sind 1 Block des Kernkraftwerkes Stendal mit 1000 MWe bzw. drei weitere Blöcke mit je 1000 MWe am gleichen Standort.

In Krümmel, oberhalb von Hamburg, ist ein 1300 MWe Siedewasserreaktor 1983 in Betrieb genommen worden. Im noch süßwasserhaltigen Tidebereich der Elbe liegt das Kernkraftwerk

Stade (KKS), ein Druckwasserreaktor mit einer Leistung von 662 MWe (Inbetriebnahme 1972). Das Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB), ein Siedewasserreaktor mit einer Leistung von 770 MWe, liegt im Brackwasserbereich (Inbetriebnahme 1976). Bei Brokdorf wird ein Druckwasserreaktor erbaut.

Die Kernkraftwerke KKS und KKB leiteten während des Untersuchungszeitraumes radioaktive Stoffe mit dem Abwasser in die Elbe ein. Grenzwerte für die Abwassereinleitung wurden von den jeweiligen Genehmigungsbehörden festgelegt. Dabei wurde zum einen die Summe der Abgaben aller radioaktiven Stoffe pro Jahr ausschließlich Tritium, und zum anderen getrennt davon, die Tritiumabgabe begrenzt.

Genehmigte maximale Jahresabgaben mit dem Abwasser:

Kernkraftwerk	Leistung	Nuklidgemisch	H-3
Stade (KKS)	662 Mwe	5 Ci/a	1300 Ci/a
Brunsbüttel (KKB)	770 MWe	5 Ci/a	1000 Ci/a
Krümmel (KKK)	1300 MWe	5 Ci/a	500 Ci/a
Brokdorf (KBR)	1300 MWe	1 Ci/a	950 Ci/a

Durch jeweils im Planungsstadium im Auftrage der Genehmigungsbehörden aufgestellte Gutachten wurde nachgewiesen, daß die genannten Grenzwerte den Forderungen des Atomgesetzes und der Strahlenschutzverordnung (30 mrem-Konzept, vergl. 2.3) genügen.

Das Abwasser der Kernkraftwerke wird nach bundeseinheitlichen Richtlinien streng überwacht.

Die Werte der Zusammensetzung des radioaktiven Abwassers der Kernkraftwerke KKS und KKB sind für die Jahre 1978 - 1982 in den Tabellen 5.1 und 5.2 zusammengestellt. Angaben über die Gewässerbelastung durch das Kernkraftwerk Rheinsberg/DDR liegen nicht vor.

Tabelle 5.1: Jahresabgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser kerntechnischer Anlagen der Bundesrepublik Deutschland im Einzugsgebiet der Elbe (1978 - 1982) [2] - Kernkraftwerk **Stade**, Angaben in mCi (= 10^{-3} Ci)

	Halbwertszeit	1978	1979	1980	1981	1982
Cr-51	27,8 d	5,81	66	4,9	1,4	0,12
Mn-54	314 d	1,38	25	1,8	0,43	0,50
Fe-59	45,6 d	0,14	0,2	0,18	0,06	
Co-57	270 d	0,04		0,078	0,03	0,03
Co-58	31,3 d	5,59	10,5	7,6	3,4	2,2
Co-60	5,3 a	24,6	74	30	15	8,7
Zn-65	245 d	0,05			0,03	
Sr-89	50,5 d		0,2			
Sr-90	26 a	0,27	0,2	0,12	0,06	0,03
Zr-95	65,5 d	3,5	2,3	0,54		0,03
Nb-95	35 d	1,8	1,2	0,86	0,25	0,06
Ru-103	40 d	1,65	1,7	0,41	0,09	0,02
Ru-106	368 d	5,55	7,7	0,73	0,09	0,25
Ag-110	255 d	15,8	20	3,0	1,7	1,1
Te-123	119,7 d		0,09	2,0	1,8	1,8
Sb-124	60,4 d	5,24	3,7	3,2	6,4	3,4
Sb-125	2,71 a	1,47	0,8	0,27	0,69	0,16
I-131	8,05 d	3,0	5,5	0,03		0,06
Cs-134	2,05 a	7,35	16,6	6,2	2,1	1,2
Cs-137	30 a	12,1	45	18	9,1	8,1
Ce-141	325 d	0,03	0,3			
Ce-144	284 d	4,22	1,4	0,81	0,087	0,01
Σ		100	260	81	43	28
H-3 (Ci)	12,3 a	133	146	62	77	134
P-32	14,3 d	0,15	0,32	*	*	*
Fe-55	2,7 a	11,8	8,6	*	*	*
Ni-63	100 a	3,6	0,79	*	*	*

Bemerkung: * Werte liegen noch nicht vor

Tabelle 5.2: Jahresabgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser kerntechnischer Anlagen der Bundesrepublik Deutschland im Einzugsgebiet der Elbe (1978 - 1983) [2] - Kernkraftwerk **Brunsbüttel**, Angaben in mCi (= 10^{-3} Ci)

	Halbwerts-zeit	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Cr-51	27,8 d	110			6,8	1,1	0,12
Mn-54	314 d	25,5	11,8	3,2	0,94	0,48	0,50
Fe-59	45,6 d	5,7					
Co-57	270 d	2,89					
Co-58	71,3 d	37,3		3,2	1,7	0,49	0,02
CO-60	5,3 a	81,1	76,0	5,1	15	6,5	5,2
Zn-65	245 d	136,0	10,0	2,1	6,4	4,3	2,7
sr-89	50,5 d	1,04	0,8		0,11	0,14	0,013
Sr-90	28 a	0,13	0,4	0,005	0,005	0,013	0,012
Zr-95	65,5 d	6,62			0,04		0,015
Nb-95	35 d	5,32			0,12		0,015
Ru-103	40 d	4,35			0,008		0,083
Ru-106	368 d				0,04		
Ag-110	255 d	23,8	8,5	0,9	2,3	1,5	
To-123	119,7 d						
Sb-124	80,4 d	11,7					
Sb-125	2,71 a	13,0					
I-131	8,05 d	157		0,6	3,0	7,9	0,030
CO-134	2,05 a	235	49,4	42	4,0	4,8	5,1
Ca-137	30 a	502,7	192	150	17	12	10,8
Ce-141	325 d	6,22			0,07		
Ce-144	284 d	19,7					
Σ		1420	393	270	57	39	25
H-3 (Ci)	12,3 a	19	2,2	0,99	15,8	50,4	21,5
P-32	14,3 d	0,19					
Fe-55	2,7 a	10	67,3				
Ni-63	100 a	1,8	5,2				

Bemerkung: a) Weitere Werte von P-32, Fe-55 und Ni-63 lagen noch nicht vor.
b) Wird in der Tabelle kein Wert angegeben, dann lagen alle Meßwerte unterhalb der vorgeschriebenen Nachweisgrenze.

Die Liste der Radionuklide, die im Abwasser von Kernkraftwerken auftreten können, ist relativ umfangreich. Es sind aber immer wiederkehrend neben H-3 die gleichen Radionuklide, wie Cs-134, Cs-137, Co-58 und Co-60, die den Hauptbestandteil ausmachen.

Für Berechnungen der Strahlenbelastung aus Genehmigungswerten legt man nach /13/ ein Modellgemisch zugrunde, das folgende Zusammensetzung hat:

Sr-90	1 %
Co-58	19 %
Co-60	20 %
I-131	10 %
Cs-134	20 %
Cs-137	30 %

Einige der in der Tabelle 5 aufgelisteten Radionuklide wie Sr-89, Sr-90, Zr/Nb-95, Ru-103, Ru-106, Sb-125, I-131, Cs-137, Ce-141 und Ce-144 gelangen auch durch die Kernwaffenversuche in die Gewässer. Sind diese Radionuklide einmal im Gewässer, so läßt sich ihre Herkunft meßtechnisch nicht mehr ermitteln; das Verhalten der Radionuklide ist von ihrer Herkunft unabhängig.

Von besonderem Interesse ist das Verhältnis der beiden Caesium-Isotope Cs-134 und Cs-137 (KKS 1978-1980: 1/1.65; 1/2.58; 1/2.45 und KKB 1978-1980: 1/2.14; 1/3.89). Cs-134 liegt in ähnlichen Konzentrationen wie das Cs-137 vor. Dagegen ist das Cs-134 im Fallout der Kernwaffenversuche nicht vorhanden. Durch Ermittlung des Isotopenverhältnisses Cs-134 zu Cs-137 kann man Aufschlüsse über die Herkunft der Belastung des Gewässers erhalten.

In welcher Größenordnung liegt nun die Aufstockung der Konzentrationen in der Elbe durch die tatsächliche Abwassereinleitung der Kernkraftwerke? Ist es möglich, sie meßtechnisch zu erfassen? Dieses soll an einem Beispiel abgeschätzt werden.

Dabei werden folgende Daten zugrundegelegt:

Mittlerer jährlicher Abfluß der Elbe bei Neu-Darchau für das Jahr 1979: MQ = ca. 870 m^3/s, Jahresabgabe 1979 der einzelnen Radionuklide durch das KKS (siehe Tabelle 5.1). Das Jahr 1979 wird gewählt, da in diesem Jahr der wesentliche Teil des Untersuchungsprogrammes ausgeführt wurde. Es wird so gerechnet, als ob die Abgabe gleichmäßig über das Jahr verteilt gewesen wäre.

Die Werte der Aufstockung sind für die wichtigsten Nuklide in der Tab. 6 zusammengestellt. Dies sind Werte, die unter den mit vertretbarem Aufwand erreichbaren Nachweisgrenzen liegen, selbst wenn man berücksichtigt, daß das Abwasser in Wirklichkeit diskontinuierlich abgegeben wird. Eine Aufstockung wird z.Zt. der Abwassereinleitung nur im Nahbereich nachzuweisen sein. Im Gewässer, nach Durchmischung des Kühlwassers mit dem Flußwasser, ist aber die Aufstockung meßtechnisch nicht mehr erfaßbar, teils liegt sie unterhalb der auch mit empfindlichen Meßmethoden erreichbaren Nachweisgrenzen, teils wird sie durch die Vorbelastung (Radionuklidgehalt anderer Herkunft) überlagert.

Tabelle 6: Größenordnung der Aufstockung des Radionuklidgehaltes der Elbe durch die Abwasserabgabe des Kernkraftwerkes **Stade** (KKS)

Radionuklid	KKS Jahresabgabe 1979 Ci	Aufstockung 1979 pCi/l	Vorbelastung pCi/l
H-3	146	8	ca.200
Co-60	0,0074	0,005	< 0,001
Sr-90	0,0002	0,00001	ca. 0,4
I-131	0,0055	0,0003	< 0,04
Cs-134	0,017	0,0009	< 0,002
Cs-137	0,045	0,003	ca. 0,04

Daten bezogen auf das Jahr 1979 und einen Oberwasserabfluß von 870 m^3/s am Pegel Neu-Darchau

2.2.4 Belastung des Brackwasserbereiches der Elbe durch Nordseewasser

Durch die Abwassereinleitung britischer und französischer kerntechnischer Anlagen, vornehmlich durch die Wiederaufbereitungsanlagen in Windscale und La Hague, gelangen radioaktive Stoffe in den Atlantik. Sie werden im Norden bei den Orkney Inseln und im Süden entlang der Küsten Belgiens und Hollands in die Nordsee verfrachtet. Ausführliche Untersuchungen zu diesem Problem werden vom Deutschen Hydrographischen Institut, Hamburg, laufend vorgenommen. Daten können den Jahresberichten "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung" /2/ und Veröffentlichungen wie /30/ entnommen werden.

Einige Emissionsdaten der beiden o.a. Wiederaufbereitungsanlagen sind in der Tabelle 5.3 zusammengestellt. Die Emissionen pro Jahr überschreiten die Abgaben der deutschen kerntechnischen Anlagen um viele Größenordnungen.

Bei den Untersuchungen der Nordsee wurden vor allem relativ langlebige Radionuklide wie H-3, Sr-90, Cs-137, Ru-106 sowie Plutoniumisotope nachgewiesen. Der zeitliche Verlauf der Sr-90- und Cs-137-Konzentrationen ist nach /2/ in der Abb. 8 wiedergegeben.

Diese im Wasser der Nordsee enthaltenen Radionuklide gelangen entlang der Küsten (vergl. Abb. 7) auch in die Brackwasserzone des Elbeästuars.

2.2.5 Radionuklide in der Medizin (Therapie, Diagnostik, Forschung)

Nuklearmedizin ist die Anwendung radioaktiv markierter Stoffe zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken an Patienten und zur Erforschung von Krankheiten.

Grundlage der Nuklearmedizin ist, daß sich bestimmte chemische Stoffe in bestimmten Organen und Geweben anreichern.

Tabelle 5.3: Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser durch Wiederaufbereitungsanlagen in Ci
Windscale (Großbritannien) 1978 - 1980 [42] neuer Name:Sellafield)
La Hague (Frankreich) 1977 (43]

	- Windscale -			La Hague
Nuklid / Jahr	1978	1979	1980	1977
Sr-90	16000	6800	9500	2000
Ru-106	22000	10600	9300	14600
Cs-137	110000	69000	80000	1400
Pu-239/240	1200	1000	550	
H-3	28000	31800	34700	
Ce-144				135
Zr-95				20
Sb-125				1480

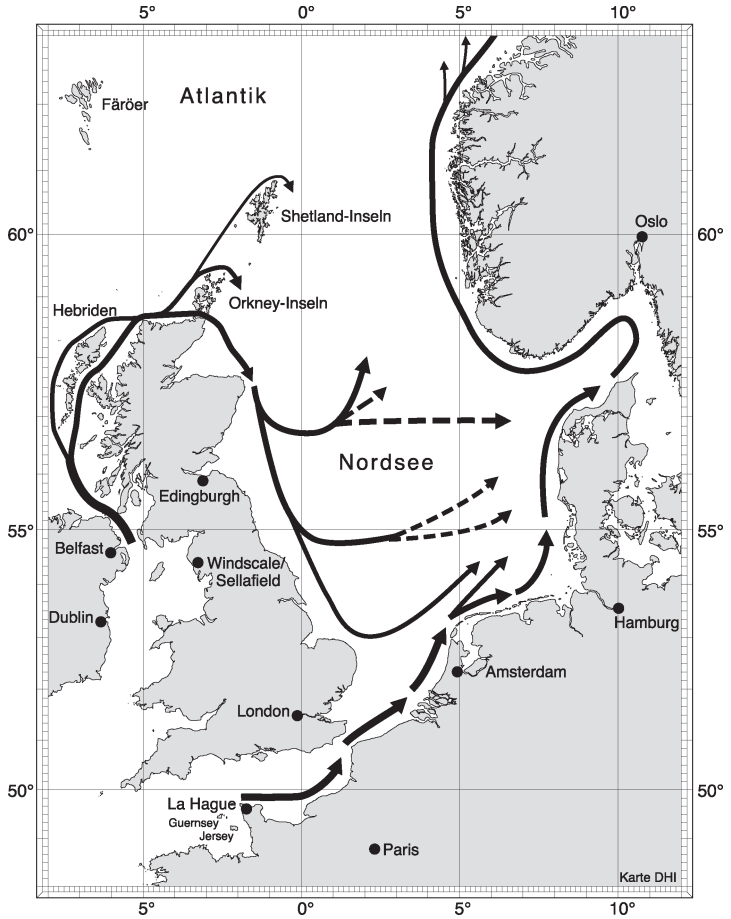


Abb. 7: Transportwege von Caesium-137 (nach Aktivitätsverteilungsmessungen der Jahre 1971-1976). Die gestrichelten Pfeile deuten variable Transportrichtungen an (nach Kautsky 1977).

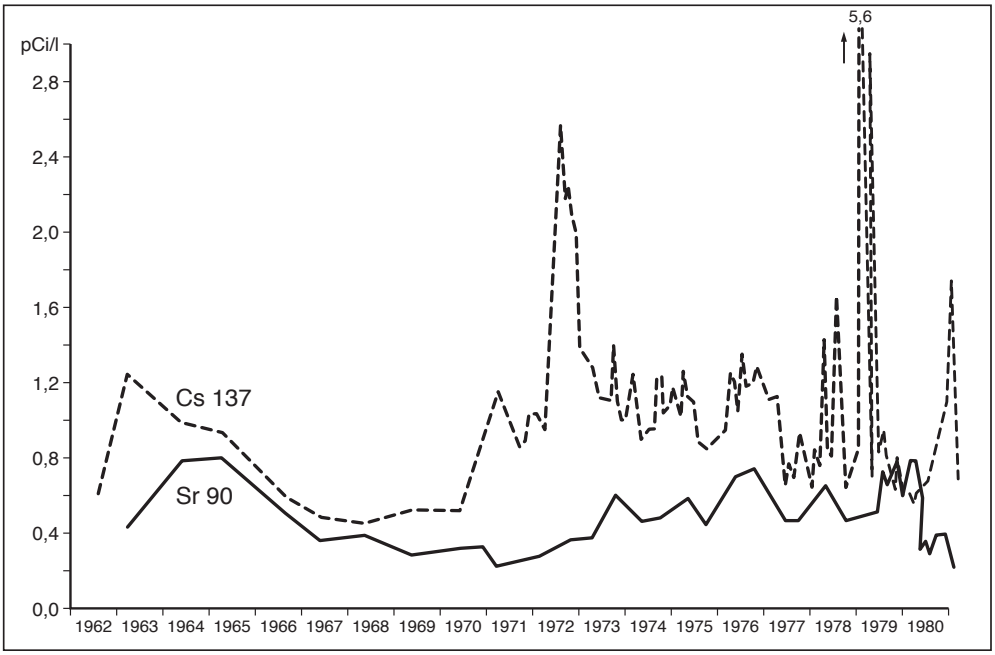


Abb. 8: Meerwasseraktivität der Nordsee (Oberfläche) - F.S. "P8", ab 1973 F.S. "Deutsche Bucht"

In diese Substanzen wird das radioaktive Isotop eingebaut. Anschließend werden sie dem Patienten in geeigneter Form verabreicht. (Für einige Untersuchungen genügt es, das radioaktive Isotop direkt zu verabreichen.)

Mit Meßgeräten (Detektoren) wie der sogenannten Gamma-Kamera kann die aus den bestimmten Organen austretende Gammastrahlung gemessen werden. Die ermittelte Verteilung der radioaktiven Isotope gibt Auskunft über den Aufbau des Organs und eventuelle Funktionsstörungen.

Als Beispiel soll die Anwendung des Jod-131 (I-131) in der Diagnose und der Therapie von Schilddrüsenerkrankungen dienen. Das applizierte radioaktive Jod sammelt sich - genauso wie das stabile Jod - bevorzugt in der Schilddrüse an. So kann man nach Verabreichung von relativ geringen I-131-Aktivitäten Aufbau und Funktion der Schilddrüse untersuchen (ca. 0,05 mCi/ Untersuchung). Zur Therapie von Schilddrüsenkarzinomen werden wesentlich höhere Aktivitäten eingesetzt, um mit der austretenden ionisierenden Strahlung das krankhafte Gewebe gezielt zu zerstören (ca. 50 mCi/Behandlung).

Die Tabelle 7 gibt eine Zusammenstellung über gebräuchliche Radionuklide /29, 10/49/.

Aus Gründen des Strahlenschutzes geht die Tendenz zur Anwendung möglichst kurzlebiger Radionuklide. Das I-131 (Halbwertszeit 8,0 Tage), das früher eine dominierende Rolle in der Diagnostik und Therapie erzielte, wird in der Diagnostik nach und nach durch kurzlebige Radionuklide wie Technetium-99 m (Tc-99m) (Halbwertszeit ca. 6 h) oder J-123 (Halbwertszeit 13,3 h) verdrängt.

In der Therapie der Schilddrüse und in der Diagnostik von Nierenerkrankungen wird das Jod-131 jedoch z.Zt. noch überwiegend eingesetzt.

Die Radionuklide I-131 und Tc-99m sind die in der Medizin mengenmäßig am stärksten eingesetzten Radionuklide.

Tabelle 7: Radionuklide in der Medizin (Diganostik, Therapie, Forschung)

Radionuklid	Halbwertszeit	ß-Strahler	γ-Strahler
H-3	12,3 a	(+)	-
C-14	5550 a	(+)	-
Na-22	2,6 a	+	+
P-32	14,3 d	+	-
S-35	87,5 d	+	-
Cr-51	27,7 d	+	+
Mn-54	312 d	+	+
Co-57	270 d	+	+
Co-58	70,8 d	+	+
Fe-59	45,1 d	+	+
Zn-65	244 d	+	+
Ga-67	3,26 d	+	+
Se-75	120 d	K	+
As-74	17,7 d	+	+
Sr-85	64,7 d	+	+
Tc-39 m	6,02 h	+	+
Cd-109	1,24 a	K	
Ag-110 m	250 d	+	+
In-113	1,66 h		+
Sn-113	115 d	K	+
Sb-125	2,77 a	+	+
I-123	13,3 h	K	(+)
I-125	60,1 d	K	(+)
I-131	8,1 d	+	+
Te-132	77,7 h	+	+
Ce-144	285 d	+	+
Yb-169	30,7 d	K	+
Au-198	2,69 d	+	+
Hg-197	2,67 d	K	+
Hg-203	46,6 d	+	+
Tl-201	3,1 d	K	+

Bemerkungen: (+) Strahlung niedriger Energie, spezielle Meßanordnung erforderlich
K = Konversionselektronen

Die Abwassereinleitung der Genehmigungsinhaber ist durch die Strahlenschutzverordnung und die Richtlinie "Strahlenschutz in der Medizin" geregelt (vergl. 2.3). Die in der Strahlenschutzverordnung zum Schutze des Wassers und des Bodens (§ 45 und 46) festgelegten Konzentrationsgrenzwerte des Abwassers dürfen im Jahresmittel nicht überschritten werden. Krankenhäuser mit therapeutischer Anwendung des I-131 müssen Abklinganlagen zur Reduzierung der I-131-Abgabe betreiben. Das zu diagnostischen Zwecken eingesetzte I-131 wird auch bei ambulanter Behandlung eingesetzt und wird mit dem normalen häuslichen Abwasser unkontrolliert abgegeben.

In Analogie zu anderen Gewässern liegt der Schluß nahe, daß in der Elbe das I-131 das einzige Radionuklid aus der medizinischen Anwendung sein wird, das häufig in meßbaren Konzentrationen auftreten kann.

2.2.6 Radionuklide in Technik, Forschung und Lehren sowie privater Nutzung /2/

Zahlreiche Industrieerzeugnisse wie z.B. Dicken- und Füllstandsmeßgeräte, Rauchmelder, Armbanduhren und bestimmte keramische Kacheln enthalten radioaktive Stoffe (darunter H-3, Co-60, Ni-63, Ra-226, Am-241). Die gesamte aus der technischen Anwendung resultierende Strahlenbelastung ist nach Angaben des BMI /2/ kleiner als 1 mrem/a. Da es sich im wesentlichen um umschlossene Strahler handelt, ist ein Beitrag zur Gewässerbelastung nicht gegeben.

Zu Zwecken der Forschung werden kleine Kernreaktoren eingesetzt. Bei der GKSS in Gessthacht werden zwei Reaktoren mit 5 bzw. 15 MW thermischer Leistung betrieben. Die genehmigte Abgabe von radioaktiven Stoffen mit dem Abwasser beträgt hier 0,5 Ci/a (bezogen auf sogenannte Cs-137-Equivalente) und 1,5 Ci/a Tritium (H-3). Beim Hahn-Meitner-Institut (HM 1) in Berlin wird ein Forschungsreaktor mit 5 MW thermischer Leistung betrieben.

2.3 Rechtsvorschriften, Richtlinien, Grenzwerte

2.3.1 Allgemeines

Für die natürliche Strahlenbelastung, die in Mitteleuropa ca. 110 mrem/a beträgt /2/, lassen sich keine Grenzwerte festlegen. Dagegen begrenzt die seit 1976 gültige Strahlenschutzverordnung (StrISchV) u.a. die Strahlenbelastung, die sich aus der Ableitung von Abwasser ergibt. Die Strahlenbelastung, die den Menschen als Folge aller Ableitungen von radioaktivem Abwasser erreicht, darf 30 mrem/a als sogenannte Ganzkörperdosis nicht überschreiten (Gegenstand des 30-mrem-Konzepts). Zusätzlich ist als Grenzwert für die Schilddrüsendosis eines Erwachsenen 90 mrem/Jahr für die Summe aller Belastungen festgelegt.

Man beachte, daß die Strahlenbelastung - und gleichzeitig die jährliche Aufnahme künstlicher radioaktiver Substanzen mit Nahrung und Trinkwasser - begrenzt ist, daß aber keine Grenzwerte für Konzentrationen in Trinkwasser, Fischfleisch, Sedimenten etc. explizit vorliegen. Die Forderung der StrlSchV mit der Begrenzung der jährlichen Aufnahme eines Radionuklids in den Körper ist als wesentlich restriktiver aufzufassen als früher gebräuchliche Konzentrationsgrenzwerte.

Durch die Anwendung ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe in der Medizin wird mit ca. 50 mrem/a weiterhin der größte Anteil der zivilisatorischen Strahlenbeiastung hervorgerufen /2/. Dabei trägt die Röntgendiagnostik das meiste zur Strahlenbeiastung des Menschen bei.

2.3.2 Grenzwerte der Konzentrationen oder der Jahresfrachten

Wird ein Antrag zur Genehmigung des Umgangs mit radioaktiven Stoffen gestellt, kann die Genehmigungsbehörde nur dann eine Genehmigung erteilen, wenn u.a. sichergestellt ist, daß nach § 45 und § 46 der StrISchV Luft, Wasser und Boden geschützt werden, d.h. die Medien, über die radioaktive Substanzen zu den Menschen gelangen können.

Steht fest, daß durch die Einleitung eines schwach radioaktiv kontaiminierten Abwassers keine Strahlenbeiastung des Menschen zu besorgen ist, so kann nach § 46 der Strahlenschutzverordnung als Grenzwert eine mittlere Aktivitätskonzentration (Jahresmittel) angewandt werden. Dieses gilt z.B. für die I-131-Ableitungen nach diagnostischer Anwendung in der Medizin.

Ist nicht von vornherein auszuschließen, daß durch eine beantragte Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen die Grenzwerte der StrlSchV überschritten werden, so ist durch die Anwendung der Berechnungsgrundlagen des Bundesministeriums des Inneren /13/ nachzuweisen, daß auch unter ungünstigsten Umständen sogenannte "kritische Bevölkerungsgruppen" an der ungünstigsten Einwirkungsstelle pro Jahr nicht mit mehr als 30 mrem Ganzkörperdosis als Folge aller Abwassereinleitungen belastet werden. "Kritische Bevölkerungsgruppen" sind die durch Ernährungsgewohnheiten etc. am stärksten potentiell belasteten Menschen. Bei der Rechnung werden u.a. Trinkwasserkonsum, Fisch-, Milch-, Fleisch- und Pflanzenverzehr und Aufenthalt auf kontarninierten Flächen berücksichtigt. Alle sogenannte relevanten Belastungspfade müssen berücksichtigt werden, unabhängig davon, ob sie zu dem Zeitpunkt der Antragstellung auch wirklich und im angenommenen intensiven Umfang genutzt werden (vergl. Abb. 1). Geht man von den beantragten Werten der Jahresaktivitätsabgabe aus und berücksichtigt die Vorbelastung durch andere Emittenten, so ergibt die Anwendung der Berechnungsgrundlage die maximal mögliche Strahlenbelastung.

Es muß noch darauf hingewiesen werden, daß diese Berechnungsgrundlagen vor allem als Hilfe bei der Planung und weniger zur Beurteilung einer akuten Strahlenbelastung geeignet sind. Bei der Anwendung der Berechnungsgrundlagen geht man nämlich davon aus, daß die Emission der radioaktiven Stoffe über 50 Jahre gleichbleibend erfolgt und sich Gleichgewichte (Anreicherungsvorgänge etc.) eingestellt haben. Das Rechenmodell ist also nicht geeignet, eine Strahlen-

belastung aus momentan auftretenden Gewässerwerten zu berechnen. Tabelle 14 gibt eine Vorstellung über die bei einer Konzentration eines Radionuklids von 1 pCi/l maximal zu erwartende Strahlenbelastung in mrem/a. Durch spezielle Gutachten unter Einbeziehung standortspezifischer Daten werden die entsprechenden Werte für jeden Kraftwerkstandort neu ermittelt.

Da die StrISchV zusätzlich als wesentlichen Bestandteil nach § 45 die Forderung stellt, daß die Strahlenexposition so gering wie möglich zu sein hat (sogenannte Minimierungsgebot), legt die zuständige Genehinigungsbehörde unter Berücksichtigung des Standes von Wissenschaft und Technik die Grenzwerte der Emission in Ci/a fest, die die nach der Strahlenschutzverordnung zulässigen Grenzwerte falls möglich oder notwendig unterschreiten.

Die Grenzwerte werden in Ci/a für ein einzelnes Nuklid bzw. für ein Nuklidgemisch, dessen Zusammensetzung laufend überprüft wird, angegeben.

2.3.3 Kontrolle, Überwachung

Die Ableitungen, für die gleichfalls das Minimierungsgebot gilt, werden von den Genehmigungsinhabern überwacht und nach Art und Aktivität spezifiziert den zuständigen Behörden mindestens jährlich angezeigt. Neben dieser Eigenüberwachung erfolgt die behördliche Überwachung.

Bei kerntechnischen Anlagen erfolgt neben der Emissions- eine Immissionsüberwachung an den Stellen, an denen die stärkste Einwirkung zu erwarten ist (vergl. die genannten Belastungspfade Tab. 1). Mit derartigen Untersuchungen wird bereits mehrere Jahre vor Inbetriebnahme einer kerntechnischen Anlage begonnen (Beweissicherung). Soweit es sich auf Gewässer bezieht, werden Oberflächenwasser, Grund- und Trinkwasser, Sedimente und Fische untersucht werden.

Zusammenstellung der gesetzlichen Grundlagen und Richtlinien

Gesetzliche Grundlagen, Richtlinien etc. zur Überwachung der Radioaktivität

1. Atomgesetz vom 30.06.1976

2. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 13. Oktober 1976 (BGBl. I, S. 2905) unter Berücksichtigung der Berichtigungen vom 21. Januar 1977 (BGBl. I, S. 184) und vom 1. Februar 1977 (BGBl. I, S. 269)

3. Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer. GMBl. 30, Nr. 21, S. 371 - 346, 15.08.1979

4. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen. Gemeinsames Ministerialblatt Nr. 32, 1979, S. 668, herausgegeben vom Bundesminister des Innern, Bonn.

5. Entwurf der "Richtlinie für die Überwachung der allgemeinen Umweltradioaktivität" (Stand: 1. April 1981), BMI, Referat RS II 4

6. Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken - Bek. d. BMI vom 10.05.1978 - GMBl. 1978, Nr. 19, S. 313 - 315

7. Messung flüssiger radioaktiver Stoffe zur Überwachung der radioaktiven Ableitungen. Kerntechnischer Ausschuß (KTA) und Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), KTA-Regel 1504, Fassung 6/78.

8. Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin des BMI v. 18.10.1979

9. Richtlinie für das Einleiten von Abwasser aus Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren in die Gewässer. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Stand: März 1979

10. Trinkwasserverordnung vom 16.02.1976

11. Katalog "Erfassung von Hilfsmöglichkeiten bei Zwischenfällen mit ionisierender Strahlung", Gesellschaft für Reaktorsicherheit.

Die Einleitung von radioaktiv kontaminiertem Abwasser, die Eigenüberwachung und die Kontrolle durch amtliche Meßstellen sind durch mehrere Richtlinien geregelt (siehe vorstehende Zusammenstellung), die als Mindestanforderung den einzelnen Überwachungsprogrammen zugrundegelegt werden. Die Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgt in den Jahresberichten des Bundesministers des Inneren "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung" /2/.

3. Allgemeine Diskussion der Hydrosphäre und der derzeit bedeutenden Radionuklide

3.1 Hydrologische Verhältnisse /46/

Der zur Bundesrepublik Deutschland gehörende Elbabschnitt von Schnackenburg bis zur See besteht aus hydrologisch unterschiedlichen Teilsystemen.

In dem tidefreien Elbabschnitt von Schnackenburg bis Geesthacht hängen die Strömungsgeschwindigkeit und der Wasserstand von der Höhe des Oberwasserabflusses ab. Bei niedrigen Abflüssen von Qo 600 m^3/s werden die Buhnen nicht überströmt. In den Buhnenfeldern finden dann aufgrund der schwachen Walzenströmungen Auflandungen statt. Im Bereich Lauenburg bis Geesthacht tritt durch die Stauhaltung eine Verringerung der Strömungsgeschwindigkeiten ein. Bei einem Anstieg des Abflusses auf Werte über rd. 700 m^3/s setzt zunächst eine Überströmung der Buhnen und bei Abflüssen über 800 - 1000 m^3/s eine Überflutung der niedrig gelegenen Deichvorländer ein. Durch die bei hohen Abflüssen auftretende Überströmung der Buhnen wird ein großer Teil der in den Buhnenfeldern sedimentierten Schwebstoffe, die noch nicht konsolidiert sind, wieder aufgewirbelt und weiter stromab transportiert.

In der Tideelbe von Geesthacht bis zu Nordsee sind die instationären Strömungsverhältnisse durch die Überlagerung des Oberwasserabflusses mit der Gezeitenbewegung geprägt. Der Ein-

fluß des Oberwasserabflusses ist im oberen Tidebereich Geesthacht bis Hamburg am stärksten. In der Unterelbe unterhalb Hamburgs überwiegt der Gezeiteneinfluß auf die Strömungsgeschwindigkeiten. Die Wasserkörper pendeln mit dem Flut- und Ebbestrom sägezahnartig mehrfach in dem gleichen Flußabschnitt stromauf und stromab und werden dabei allmählich durch das von oberstrom zufließende Oberwasser seewärts verdriftet. Aus diesem Grunde ergeben sich für die Wasserkörper in der Unterelbe bei niedrigen Abflüssen lange Verweilzeiten (bis zu rd. 1 Monat). Bei hohen Oberwasserflüssen von 2000 m^3/s hingegen wird ein Wasserkörper bereits in rd. 6 bis 8 Tagen von Geesthacht bis in den Bereich unterhalb von Brunsbüttel verdriftet, da durch die großen Oberwassermengen die Ebbeströmungen verstärkt und die Flutströmungen vermindert werden. Der Schwebstoff- und Sedimenttransport in der Tideelbe wird dementsprechend ebenfalls durch die Höhe des Oberwasserabflusses beeinflußt.

Das Einzugsgebiet der Elbe beträgt ca. 148 500 km^2.

Als Bezugspegel wird der Pegel Neu Darchau zugrunde gelegt. Der Abfluß bei Schnackenburg liegt etwa 5 % unter dem Abfluß bei Neu Darchau, der Abfluß in die Nordsee rd. 21 % über dem Abfluß bei Neu Darchau.

3.2 Untersuchte Medien

Wie bereits erwähnt, werden in dieser Arbeit keine radioökologischen Berechnungen im Sinne der Berechnungsgrundlagen /13/ durchgeführt. Dazu wäre eine Vielzahl ortsspezifischer Faktoren zu erarbeiten, die allein durch die Untersuchung des Gewässers nicht zu erhalten sind. Die Biblis-Studie /29/ ist ein Beispiel für ein umfassendes, interdisziplinäres Forschungsprogramm zur Ermittlung der notwendigen ortsspezifischen Faktoren. Von Feldt und Mitarbeitern (/14/35/) herausgegebene Berichte "Radioökologische Studien an der Elbe" sind als Beitrag in dieser Richtung zu sehen.

Das hier durchgeführte Untersuchungsprogramm konzentriert sich auf das Wasser und diejenigen Stoffe, die mit ihm in unmittelbarem Kontakt stehen, also Schwebstoffe, Sedimente und Lebewesen, letztere repräsentiert durch Fische als Indikatoren.

3.2.1 Wasser

In Kapitel 2 wurde beschrieben, wie und warum natürliche und künstliche Radionuklide in der Umwelt auftreten. Durch Niederschläge, Abwassereinleitung, Erosion und Zufuhr aus Nebengewässern gelangen sie in die Elbe, in der sie ionogen bzw. kolloidal gelöst oder suspendiert in Richtung Mündung verfrachtet werden. Ein gewisser Anteil der Schwebstoffe lagert sich an Stellen geringer Strömungsgeschwindigkeit ab und wird z.T. mit der nächsten Hochwasserwelle weiter stromabwärts verfrachtet.

Da als Folge des natürlichen Zerfalls von Uran-235, Uran-238 und Thorium-232, der Kernwaffenversuche, der medizinischen Radionuklidanwendung und durch Abwasser kerntechnischer Anlagen eine Vielzahl unterschiedlicher Radionuklide in die Gewässer gelangen, muß sich ein Meßprogramm von vornherein auf diejenigen Radionuklide beschränken, die zu einer Strahlenbelastung beitragen könnten. Nach Kenntnis der Vorbelastung der Elbe blieben die Radionuklide H-3, Co-60, Sr-90, I-131, Cs-134, Cs-137, Ce-144 und Ra-226 übrig, deren Verhalten in der Elbe besondere Aufmerksamkeit zu schenken war. Es liegt in der Besonderheit einer speziellen Methode der Radioaktivitätsmessung, der γ-Spektrometrie, daß sie auch Radionuklide aufzeigt und auswertet, nach denen man nicht speziell gesucht hat. Durch Einsatz dieser Methode wurden zusätzliche Erkenntnisse gewonnen.

In der Literatur und in einschlägigen Richtlinien finden sich häufig Hinweise, daß Wasserproben kontinuierlich zu entnehmen sind. Dieses Verfahren hat im tidefreien Bereich der Gewässer und da besonders zur Immissionsüberwachung von

Tabelle 8: Wasseruntersuchung anderer deutscher Gewässer durch das NLW [3] und andere Institutionen [2]. Jahresmittelwerte in pCi/l Wasser (bei Angaben des NLW gelöster und ungelöster Anteil)

Gewässer	Bereich der Probenahme	Jahr der Probenahme	**Sr-90**	**Cs-137**	**J-131**	**H-3**	Lit
			pCi/l				
Rhein	Koblenz	1974	0,07	0,18			[2]
		1975	0,30	0,06			[2]
		1976	0,29	0,089	0,43	643	[2]
		1977	0,23	0,059	0,25	537	[2]
		1978	0,23	0,030	0,27	581	[2]
		1979	0,20	0,027	0,23	481	[2]
		1980	0,10	0,078	0,04	394	[2]
Weser	Oberweser:	1976	0,18	0,35			[3]
	oberhalb	1977	0,32	<0,1			[3]
	Kernkraft-	1978	<0,2	<0,03		250	[3]
	werk	1979	0,20	0,014		200	[3]
	Würgassen	1980	0,25	0,016		190	[3]
		1981	0,34	0,045			[3]
		1982	0,17				[3]
	Mittelweser:	1978	0,18	0,04		240	[3]
	Inschede	1979	0,11	0,019		200	[3]
		1980	0,22	0,036		190	[3]
		1981	0,48	0,038		160	[3]
		1982				140	[3]
		1983				130	[3]
	Unterweser:						
	Bereich	1977-1978	0,9	0,22		210	[3]
	Dedesdorf-	1979	0,35	0,58		190	[3]
	Nordenham	1980	0,41	0,24		170	[3]
		1981	0,45	0,29		170	[3]
		1982	0,28	0,24		140	[3]
		1983		0,24		130	[3]

Tabelle 9.1: Elbwasseruntersuchung anderer Institutionen [2].
Tritium (H-3) in pCi/l

Ort der Probenahme	km	Jahr der Probenahme	Zahl der Messungen	Mittel-wert
Geesthacht	ca. 586	1976	12	288
		1977	12	290
		1978	12	275
		1972	12	213
		1980	12	191
Wedel	ca. 642	1975		319
		1976		295
		1977	20	289
		1978		273
		1979	12	215
		1980	12	189
Cuxhaven	ca. 724	1976		155
		1977	17	178
		1978		175
		1979	12	140
		1980	11	127
Untersuchungen von Nebenflüssen der Elbe durch NLW				
Seege		1982	8	106
		1983	8	110
Jeetzel,	Oberlauf	1983	1	56
	Unterlauf	1983	1	56
Ilmenau,	Oberlauf	1983	1	57
	Unterlauf	1983	1	59
Este	Unterlauf	1983	1	78

Tabelle 9.2: Sr-90 und Cs-137-Gehalt [2] und I-131-Gehalt [47] des Elbwassers. Untersuchungen anderer Institutionen.
Angaben in pCi/l Wasser (gelöster und ungelöster Anteil)

Ort der Probenahme	km	Jahr der Probenahme	**Sr-90**	**Cs-137** pCi/l	**I-131**
Pagensand	ca. 665	1969	0,63	0,17	
Krautsand	ca. 670	1969	0,68	0,086	
Artlenburg	ca. 566	1974	0,56	0,007	
Geesthacht	ca. 585	1974	0,53	0,008	
Stade (vor KKS)	ca. 654	1974	0,46	0,13	
Ostemündung	ca. 700-708	1974	0,68	0,21	
Cuxhaven	ca. 726	1974	0,50	0,15	
				0,44	
Glückstadt	ca. 675	1976	0,40	0,05	
			0,41	0,12	
Böschrücken	ca. 690	1976	0,35	0,11	
			0,46	0,31	
Ostemündung	ca. 700-708	1976	0,45	0,25	
			0,61	0,55	
Cuxhaven	ca. 725	1976	0,43	0,57	
			0,60	0,80	
Elbe II		1976	0,48	0,73	
			0,68	0,89	
Glückstadt	ca. 675	1977	0,52	0,04	
Ostemündung	ca. 700-708	1977	0,43	0,28	
Böschrücken	ca. 690	1977	0,43	0,15	
Cuxhaven	ca. 725	1977	0,42	0,41	
Neuwerk		1977	0,57	0,62	
Glückstadt	672-688	1978	0,62	0,05	
Böschrücken	ca. 690	1978	0,49	0,06	
		1978	0,44	0,06	
		1978	0,44	0,11	
		1978	0,39	0,10	
Ostemündung	700-708	1978	0,50	0,08	
		1978	0,48	0,20	
		1978	0,44	0,18	
Cuxhaven	725-728	1978	0,52	0,28	
Neuwerk		1978	0,62	0,42	
Bereich	690	1979	0,41	< 0,07	
Böschrücken	690	1979	0,47	0,12	
	690	1979	0,42	0,14	
	690	1979	0,36	0,11	
	693	1979	0,51	< 0,16	
	696	1979	0,38	0,18	
	698	1979	0,46	-	
	698	1979	0,52	-	
	698	1979	0,48	-	
	690	1980	0,45	< 0,08	
	690	1980	0,38	< 0,04	
	690	1980	0,32	0,14	
	690	1980	0,35	< 0,12	
	696	1980	0,49	-	
	696	1980	0,41	< 0,14	
	696	1980	0,46	0,18	
Bereich	475-583	1983			0,29
Schnackenburg-Krümmel (Mittelwert aus 33 Untersuchungen)					

Einleitern seine Vorteile und ermöglicht den Behörden, die Einhaltung von Grenzwerten zu überprüfen. Dagegen sind zur Klärung radioökologischer Fragestellung und zur Erfassung der Grundbelastung eines Flusses Einzelproben in ausreichender Zahl zur Ermöglichung einer statistischen Auswertung vorzuziehen.

Durch die Stichprobenahme ist die sofortige Trennung des gelösten und ungelösten Anteils der Probe sowie die Probenvorbereitung (Zugabe inaktiver Trägersubstanz, Ansäuern etc.) innerhalb weniger Stunden nach der Probenahme möglich, ein Umstand, der für die Radioaktivitätsbestirnmung im "Ultraspurenbereich" von hoher Bedeutung ist.

Die Untersuchung von reinen Phasen (also Wasser und Schwebstoffe getrennt) gibt die Möglichkeit, Übergänge vom Wasser zu Schwebstoffen sowie Sedimenten zu beschreiben. Um die Anreicherung in Fischen zu bestimmen, muß die Summe des gelösten und ungelösten Radionuklidgehaltes bekannt sein. Im vorliegenden Bericht werden beide Werte (gelöster Anteil und Gesamtgehalt) für die einzelnen Wasserproben angegeben.

In den Tabellen 8, 9.1 und 9.2 sind die Ergebnisse radiologischer Wasseruntersuchungen einiger deutscher Gewässer einschließlich der Elbe aufgeführt.

3.2.2 Schwebstoffe

Unter Schwebstoffen oder Seston sind die mit unterschiedlicher Verweildauer suspendierten Feststoffe zu verstehen, die teils anorganischer Natur (Abioseston wie die Ton-, Silt- und Feinsandfraktion), teils organischer Natur (Bioseston wie Phytoplankton, Zooplankton oder auch totes organisches Material) sind. Im Schwebgut tritt überwiegend feinkörniges Material auf (Siltund Tonfraktion). Der feinkörnige Anteil ist im Normalfall wesentlich höher als bei Gewässersedimenten.

Da der Übergang, gelöst - kolloidal gelöst - dispers, fließend ist, muß zur experimentellen Durchführung ein reproduzierbarer Bezugspunkt gesetzt werden, ab wann Stoffe als "gelöst" und ab wann sie als "ungelöst" zu betrachten sind. In der vorliegenden Arbeit wurde die Trennung mit Durchlaufzentrifugen bei 10.000 U/min und einem Probendurchsatz von 50 1 Wasser pro Stunde vorgenommen. Mit diesem Verfahren werden alle Teilchen mit einer Größe von annähernd 0,5 μ abgetrennt. Mit dem angewandten Verfahren ist es möglich, in einigen Stunden für - spektrometrische Schwebstoffuntersuchungen - ausreichendes Probenmaterial zu gewinnen. Hinsichtlich der Trennleistung ist das angewandte Verfahren der Druckfiltration (μ = 0,4) gleichwertig.

Schwebstoffe werden vor allem durch niederschlagsbedingte Erosion, aber auch durch Abwassereinleitung in die Gewässer eingetragen. Vor allem in den Sommermonaten steigt der im Wasser selbst gebildete Anteil des Biosestons (Plankton mit hohem Algenanteil). Angaben über jahreszeitliche Verteilung der Sestonanteile sind der Spezialliteratur zu entnehmen. In der vorliegenden Arbeit wurde die Trockensubstanz der Schwebstoffe vermessen. Einige Proben wurden zusätzlich verascht. Der Glühverlust, ein Hinweis auf die ursprüngliche organische Substanz, betrug 14 - 37 %.

An ruhigen Gewässerabschnitten (Buhnenfeldern, Hafenbekken, Stauhaltungen) können sich die Schwebstoffe absetzen, sie bilden somit einen Bestandteil der Sedimente. Durch das nächste Hochwasser werden sie zum großen Teil wieder mobilisiert und flußabwärts verfrachtet. Im Tidebereich ist das Verhalten der Schwebstoffe durch das ständige Wechseln von Absetzvorgängen bei der Kenterung Hochwasser - Niedrigwasser - Hochwasser und den dazwischenliegenden Remobilisierungsprozessen bei auf- und ablaufendem Wasser äußerst komplexer Natur. Im vorliegenden Untersuchungsprogramm wurde mit der Festlegung des Zeitpunktes der Probenahme auf 2 - 3 Stunden nach Kenterung Hochwasser ein Bezugspunkt für immer ähnliche Turbulenz im Wasser gesetzt.

Im Übergangsbereich Süßwasser - Brackwasser südlich von Brunsbüttel bewegt sich nach LUCHT /24/ eine Schwebstoffwolke, bedingt durch Ausflockung und Absterben von Gewässerorganismen der beiden sich hier überlappenden Flußbereiche. Der Transport der ungelösten Stoffe erfolgt vor allem suspendiert in der Wasserphase und nur zu einem geringen Anteil am Gewässerboden.

Die bei der Einleitung in das Gewässer (Fallout, Abwasser) meist gelöst vorkommenden Radionuklide lagern sich - soweit sie als Kationen vorliegen - an die ungelösten Stoffe an. Es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen den beiden Phasen ein, das vom Element und Parametern wie Salzgehalt des Gewässers und Oxydationsstufe des Radionuklids abhängig ist.

Während Radionuklide wie Cs-134/137 und Co-58/60, Zr/Nb-95, Ce-144 sich stärker an Schwebstoffe anlagern, liegen Radionuklide wie H-3, Sr-90, Rutheniumisotope und I-131 weitgehend in der wäßrigen Phase vor. Bei denjenigen Radionukliden, die sich in den Schwebstoffen stärker anreichern, ist die Untersuchung der Schwebstoffe ein schnelles und genaues Verfahren zur Erkennung der Belastung eines Gewässers mit diesen Nukliden (z.B. nach Kernwaffenversuchen).

3.2.3 Sedimente

Wasser - Schwebstoffe - Sedimente lassen sich als eine durch vielfältige Wechselwirkung verknüpfte Einheit fassen.

Wasser und gelöste Stoffe
ungelöste Stoffe
Sedimente und Interstitialwasser

Die Sedimente setzen sich aus einem mineralischen und einem organischen Anteil zusammen.

Anorganischer Anteil:

Fraktion	Korngröße (mm)
Kies	>2
Sand, Kleinkies	0,063 - 2
Silt, Schluff	0,002 - 0,063
Grobsilt	0,020 - 0,063
Mittelsilt	0,0063- 0,020
Feinsilt	0,002 - 0,0063
Ton	<0,002

(Illit, Chlorit, Montmorillonit, Kaolinit)

Organischer Anteil:

Mikroorganismen, Detritus (totes organ. Material)

Radionuklide, die gelöst in ein Gewässer gelangen, lagern sich, vor allem wenn es sich um Kationen handelt, bevorzugt an Teilchen mit kleiner Korngröße (Ton- und Siltfraktion und Partikel organischen Ursprungs) an. Die Fähigkeit der feinkörnigen Mineralien der Schluff- und Tonfraktion (Schichtmineralien) zur Anreicherung von Spurenstoffen wird ausführlich in der Literatur beschrieben, vergl. /36/.

Im feinkörnigen Anteil der Sedimente wird also auch eine verstärkte Anreicherung von Radionukliden wie Cs-134, Cs-137, Co-58, Co-60, Zr/Nb-95, Ru- 106, Sb-125 und Ce-144 erwartet (vergl. z.B. /34, 44/).

Die Anreicherung oder der Übergang der Radionuklide von der gelösten Phase zur an Feststoffe gebundenen Phase läßt sich durch den Übergangsfaktor K_d ausdrücken.

$$K_d = \frac{\text{Aktivitätskonzentration im Sediment [pCi/kg] Trockensubstanz}}{\text{Aktivitätskonzentration im Wasser [pCi/l] gelöst}}$$

Zur Ermittlung des Übergangsfaktors wird im vorliegenden Bericht die mittlere Konzentration des betreffenden Radionuklids im Gewässer über einen Zeitraum von mehreren Jahren eingesetzt.

Andere für die Form des Übergangs gebräuchliche Beschreibungen wie z.B. der sogenannte Anreicherungsfaktor werden in /34/ diskutiert.

Es gibt nun die Möglichkeit, entweder die gesamte genommene Probe oder eine Feinfraktion zur Messung heranzuziehen.

Bisher wurden für routinemäßig durchgeführte Überwachungsprogramme gesonderte Untersuchungen des feinkörnigen Anteils nicht gefordert. So soll nach den vom Bundesminister des Inneren herausgegebenen Meßanleitungen /17/ die Gesamtprobe untersucht werden. Allerdings sollen bei der Probenahme Probenahmestellen mit möglichst hohem feinkörnigen Sedimentanteil ausgesucht werden. Die dann gewonnene Gesamtprobe ist allerdings nicht repräsentativ für den betreffenden Gewässerabschnitt. Da Proben mit überdurchschnittlich hohem Ton- und Schluffanteil (<0,063 mm), demnach überdurchschnittlich hohem Radionuklidanteil, untersucht werden, liegt die mittlere Konzentration der Radionuklide im untersuchten Flußabschnitt deutlich niedriger.

Die Messung der Gesamtprobe erlaubt, die mögliche Strahlenexposition des Menschen konservativ zu berechnen ("konservativ" im Sinne des Strahlenschutzes heißt, daß die wirkliche Strahlenbelastung niedriger ist als der Wert, den man unter Berücksichtigung der Meßwerte erhält).

Bei Untersuchungen u.a. zum Schwermetallgehalt von Schwebstoffen und Sedimenten wird üblicherweise nicht die Gesamtprobe, sondern die Feinfraktion <0,063 mm oder <0,02 mm untersucht (siehe z.B. Sondermeßprogramm der ARGE-Elbe "Schwermetaildaten der Elbe" /25/). Mit dieser Verfahrensweise wird derjenige Teil der Sedimente/Schwebstoffe untersucht, an den die Schwermetalle wirklich gebunden sind. Subjektive Einflüsse bei der Probenahme ("möglichst fein-

körnig") werden aufgehoben, ein Trend sollte deutlicher zu erkennen sein.

Die Radionuklide verhalten sich wie die oben diskutierten Schwermetalle. Da der an grobkörnige Partikel gebundene Anteil von Schwermetallen / Radionukliden gering ist, kann man nach Kenntnis der Korngrößenverteilung auch den Gesamtgehalt abschätzen.

In dem hier diskutierten Untersuchungsprogramm wurden die Gesamtproben untersucht, bei denen durch Naßsieben alle Teilchen mit einer Größe >2 mm entfernt wurden. Die Meßwerte erlauben einen direkten Vergleich mit Meßwerten anderer Institutionen.

Durch den von Probenahmestelle zu Probenahmestelle stark unterschiedlichen Anteil an feinkörnigem Material wird von vornherein eine wesentlich größere Streuung erwartet, als sich bei Einsatz der Korngrößenfraktion < 0,063 mm ergeben hätte. Dieses ist beim Vergleich mit Meßwerten, die an anderen Gewässern gewonnen wurden zu beachten.

Der Sandanteil der Elbesedimente ist im allgemeinen hoch. Es war schwierig, für die Messung vorgesehene Proben mit höherem Anteil feinkörnigen Materials zu erhalten.

Feinkörnige Sedimente haben auch einen hohen Wassergehalt, d.h. ein relativ hohes Verhältnis Frischgewicht/Trockengewicht. Dieser Meßwert wird in der Literatur (u.a. /14/ und /44/) als Kriterium für den Anteil feinkörnigen Material eingesetzt, bleibt aber in der vorliegenden Arbeit unberücksichtigt.

In Ergänzung zur üblichen Angabe der Aktivitätskonzentration in der Einheit Ci pro Gewicht oder Volumen wird bei der Sedimentmessung eine zusätzliche Einheit gebraucht. Man ermittelt - für Berechnungen des Strahlenschutzes - die pro Flächeneinheit vorliegende Radioaktivität in Ci/m^2. Durch Einsatz des letzteren Bezugssystems läßt sich der Anreicherungsfaktor A zum Einsatz in Rechenmodelle /13/ ermitteln.

Tabelle 10: Sedimentuntersuchungen anderer deutscher Gewässer durch NWA (Weser/Ems) [31] und BfG (Rhein) [2] - Jahresmittelwerte in pCi/kg Trockensubstanz

Gewässer	Bereich der Probenahme	Jahr der Probenahme	**Co-60**	**Cs-134**	**Cs-137**	**Ce-144**
			pCi/kg			
Rhein	Koblenz	1976	260	210	780	
		1977	30	50	440	170
		1978	80	50	510	650
		1979	116	-	480	287
		1980	180		560	210
		1981				
		1982				
		1983				
Weser	Habehausen	1977	240	10	620	100
	(Tidewehr)	1978	220	< 10	620	380
		1979	140	< 10	580	150
		1980	40	8 *	380	160 *
		1981	120	7	420	80 *
		1982	49	8 *	470	290
		1983				
Unterweser	Nordenham	1977	< 20		350	
		1978	< 20		50	< 100
		1979	< 10	< 50	140	< 200
		1980	< 7	< 5	210	< 100
		1981	< 10 *	7	310	190 *
		1982	9 *	< 8	290	< 40
		1983	11	< 4	260	< 30
Ems	Hanekenfähr	1974	< 20		740 +	
		1975	< 20		530	
		1976	< 10		480 +	
		1977	< 20		310	
		1978	< 20		480 +	620
		1979	< 5	< 10	410	300
		1980	< 4		370	150
		1981	< 3	< 5	300	100 *
		1982	< 4	< 4	210	65 *
		1983				
	Knock	1981	21	< 6	540	470
	(Außenems)	1982	24	9 *	300	170
		1983	47	19	440	80 *

Bemerkungen: + es liegt nur eine einzige Bestimmung vor
* Werte lagen z.T. unterhalb der Nachweisgrenze. Bei der Mittelung wurden die Werte der Nachweisgrenze eingesetzt.

Zur Gewinnung von Sedimentproben stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, die schon von der Probenahme her deutlich abweichende Resultate erwarten lassen.

1. Probenahme mit Bodengreifern

2. Probenahme an trockengefallenen Uferstreifen

3. Probenahme mit künstlichen, in das Gewässer eingelassenen Absetzbehältern

Im hier durchgeführten Meßprogramm wurde nach der Methode 1 und 2 gearbeitet.

Vergleichswerte der Sedimentuntersuchungen anderer deutscher Gewässer sind in der Tabelle 10 zusammengestellt (Werte der Elbe vergl. Tabellen A 34 - A 37).

3.2.4 Fische (Brassen)

Die Untersuchung von Fischen gibt zum einen Aufschluß über die Langzeitsituation eines Gewässers und zum anderen wichtige Daten zur Beurteilung der Belastung - hier Strahlenbelastung - durch den Fischverzehr. Die Nahrungskette Wasser - Fisch - Mensch ist ein nach der StrlSchV und der daraus resultierenden Berechnungsgrundlage /13/ überaus bedeutender potentieller Belastungspfad.

Die Aufnahme der in dem Wasser und dem Futter vorliegenden Radionuklide ist von vielen Faktoren wie Alter der Fische, Nahrungsangebot, Art der Radionuklide, Gehalt des Gewässers an inaktiven Isotopen desselben Elementes oder eines homologen Elementes etc. abhängig. Das komplizierte ökologische Gefüge vom Wasser zum Primärproduzenten bis schließlich zum Fried- und Raubfisch läßt sich vereinfachend darstellen, in dem man nur die Nuklidkonzentrationen im Wasser (gelöster

und ungelöster Anteil) und im Endglied der aquatischen Nahrungskette betrachtet.

ausgedrückt als Konzentrationsfaktor K.

$$K = \frac{\text{Konzentration des Radionuklids im Fisch [pCi/kg]}}{\text{Konzentration des Radionuklids im Wasser [pCi/l] gesamt}}$$

Es ist bekannt, daß Fische z.B. Schwermetalle und radioaktive Stoffe anreichern, d.h. daß in 1 kg Fischfleisch eine größere Menge dieses Elementes vorhanden ist als in 1 l Wasser. Nun sollte man nicht annehmen, daß Fische quasi mit einem "feinmaschigen Sieb" alle Radionuklide aus dem Gewässer heraussieben, sondern daß sich ein Gleichgewicht zwischen der Konzentration das Radionuklides im Gewässer und im Fisch einstellt.

Die Lage des Gleichgewichtes der beiden bedeutenden Radionuklide Sr-90 und Cs-137 wird durch die Konzentration der entsprechenden homologen Elemente Calcium und Kalium beeinflußt. In Gewässern mit erhöhten Konzentrationen der Elemente Caicium und Kalium werden von Fischen geringere Mengen der im Wasser vorliegenden Radionuklide, hier der Strontium- bzw. Caesiumisotope, aufgenommen.

Bisher lassen sich in Fischen deutscher Binnengewässer nur diejenigen Radionuklide nachweisen, die seit fast 30 Jahren durch die Kernwaffenversuche in die Umgebung gelangt sind. Dieses sind die Nuklide Sr-90, Cs-137 und, in praktisch gleicher Konzentration wie im umgebenden Wasser, das H-3. Auf die Erfassung der beiden künstlichen Radionuklide Sr-90 und Cs-137 konzentrieren sich auch die allgemein durchgeführten Programme der Immissionsüberwachung, zumal beide Radionuklide auch im Abwasser kerntechnischer Anlagen auftreten und bei der Beurteilung der Genehmigung einer Abwassereinleitung eine zentrale Rolle spielen.

Tabelle 11: Untersuchung von Elbfischen (außer Brassen) durch andere Institutionen [1,2) - Angaben in pCi/kg Fischfleisch (vor 1977 u.U. Bezug auf Gesamtfisch)

Bereich der Probenahme	Jahr der Probenahme	Art	**Sr-90** pCi/kg	**CS-137** pCi/kg
Ostemündung	1969	Aal	5,8	20
Unterelbe	1973	Butt	21,5	
		Butt	24,5	
		Kaulbarsch	14,4	16,4
		Kaulbarsch	19,7	12,9
Stade	1976	Kaulbarsch	29	18
Glückstadt		Kaulbarsch	29	22
		Kaulbersch	43	25
Böschrücken		Kaulbarsch	26	19
Cuxhaven		Kabeljau	3,7	35
		Flundern	4,5	20
Elbe im Bereich		Plötze		71
der DDR		Aland		49
		Aal		126
Glückstadt	1977	Flundern	0,5	37
Cuxhaven		Flundern	0,7	37
		Dorsch	1,5	26
Neuwerk		Dorsch	1,4	19
Geesthacht	1978	Zander	0,99	62
		Hecht	1,2	29
Tespe		Zander	1,3	62
Böschrücken		Flundern	0,63	
Ostemündung		Flundern	0,79	< 2,6
		Flundern	0,92	
		Kabeljau	1,1	
Cuxhaven		Flundern	0,82	
		Flundern	0,59	
		Kabeljau	0,49	< 1,4
Neuwerk		Flundern	0,59	
		Kabeljau	4,9	31
Bereich	1979	Barsch		33
Geesthacht		Barsch	1,8	42
		Hecht	1,3	15
		Aal	0,81	51
		Döbel	2,3	8,1
		Rotaugen	5,1	8,0
		Zander	0,49	45
		Zander	2,0	40
Glückstadt	1979	Flundern	0,92	12
Böschrücken		Flundern	1,7	21
Ostemündung		Flundern	0,82	29
Ostemündung		Kabeljau	1,1	51
Ostemündung		Flundern	1,3	22
Cuxhaven		Kabeljau	0,94	45
		Flundern	16	22
		Flundern	1,3	17
Gelbsand		Flundern	0,93	59
Bereich	1980	Hecht	1,0	18
Geesthacht		Hecht	1,6	17
		Hecht	1,2	15
		Barsch	2,3	23
		Barsch	17	12
		Barsch	1,7	2,7
Glückstadt		Butt	0,56	18
Böschrücken		Butt	0,67	20
Ostemündung		Butt	8,1	19
		Kabeljau	0,78	27
		Butt	0,64	27
Cuxhaven		Butt	0,64	26
		Kabeljau		20
		Kabeljau	0,73	25
Gelbsand		Butt		15
		Butt	14	18
		Kabeljau	0,89	32

Durch eine Vielzahl von Untersuchungen wurde nachgewiesen, daß Raubfische als Endglied der aquatischen Nahrungskette in der Regel höhere Konzentrationen an Cs-137 aufweisen als Friedfische.

Zur Beurteilung der radioaktiven Belastung der Elbe wurde in diesem Meßprogramm analog zum Sondermeßprogramm Schwermetalle der ARGE-Elbe /25/ die Fischart Brasse (Abramis brama) aus folgenden Gründen ausgesucht.

1. Die Brasse steht im gesamten limnischen Elbebereich in für diese Untersuchungszwecke ausreichendem Maße zur Verfügung.

2. Die Brasse ist relativ ortstreu. Standorttreue Arten wie Hecht standen nicht im ausreichenden Maße zur Verfügung.

3. Für diese Art stehen auch aus anderen Gewässern ausreichend Vergleichswerte zur Verfügung.

4. Die Ernährungsgewohnheiten dieses Fisches repräsentieren eine mittlere Belastung.

Vergleichswerte anderer Fischarten aus der Elbe und Brassen aus anderen deutschen Gewässern sind in den Tabellen 11 und 12 zusammengefaßt.

3.3 Untersuchte Radionuklide

In dem Kapitel 2 wurde gezeigt, welche künstlichen und natürlichen Radionuklide im Gewässer auftreten. Von diesen Nukliden wird Co-60, Sr-90, I-131, Cs-134 und Cs-137 nach den Berechnungsgrundlagen des BMI /13/ eine erhöhte "relevante ökologi-

Tabelle 12: Untersuchung von Brassen (Abramis brama) durch das NLW und andere Institutionen - Angaben in pCi/kg Fischfleisch

Gewässer	Jahr der Probenahme	**Sr-90** pCi/kg	**Cs-137** pCi/kg	Lit
Elbe im Bereich Gorleben	1970	58	5,5	[2]
Elbe im Bereich Lühemündung	1970	79	22	[2]
Unterelbe	1974	30,8	4,2	[2]
		39	6,5	[2]
Elbe im Bereich der DDR			64	[1]
Elbe im Bereich Geesthacht	1978	2,0	7,9	[2]
	1979	2,2	6,2	[2]
	1980	1,8	3,2	[2]
Unterweser	1976	7,9	6	[2]
	1977	1,5	6,9	[2]
	1978	1,5	12	[2]
	1978	1,1	8,8	[3]
	1979	1,6	8,4	[2]
	i979	< 4	8,6	[5]
	1980	1,3	9,6	[2]

sche Wertigkeit" zugeschrieben (vergl. Tab. 13). Deshalb lag der Schwerpunkt dieses Meßprogrammes auf der Bestimmung dieser Nuklide. Tritium ist - bezogen auf Ci/kg Körpergewebe - von geringer "ökologischer Wertigkeit". Im Vergleich zu anderen Radionukliden wird es jedoch im weitaus größeren Umfang an die Umgebung abgegeben. Deshalb wird das Meßprogramm durch Tritiumbestimmungen ergänzt.

Die zusätzlich bestimmten Radionuklide wie Co-57, Co-58, Zr-95, Nb-95, Ru-106, Ce-144 und Ra-226 werden bei der Besprechung der Ergebnisse diskutiert.

In den folgenden Abschnitten werden für die einzelnen Radionuklide wichtige Eigenschaften aufgeführt:

1. Herkunft (die Wertung des Beitrages zur Belastung erfolgt bei der Besprechung der Meßergebnisse)

2. "Belastungspfade", über die sie zu den Menschen gelangen können

3. Halbwertszeit und Art der Strahlung

4. Grenzwerte nach der StrlSchV für die jährliche Aufnahme mit Nahrung und Trinkwasser. Sie gelten nur für den Fall, daß dieses Nuklid als einziges zur Strahlenbelastung beiträgt.

5. Kritische Organe; das sind die Organe, auf die sich die Strahlung - von außen oder vom Körperinneren her - am stärksten schädigend auswirkt

In den Tabellen 13 und 14 werden die "relative ökologische Wertigkeit" und diejenige Strahlenbelastung, die sich aus einer Aktivitätskonzentration des Radionuklides von 1 pCi/l ergibt, aufgeführt. Die Zahlenangaben beider Tabellen beruhen auf den Berechnungsgrundlagen des BMI /13/.

Tabelle 13: Relative ökologische Wertigkeit im Sinne des Rechenmodelles des BMI [l3]

	Ganzkörper	Magen/Darm	Schilddrüse	Knochen
Co-60				
Flußgebiet	10,79	4,83	0,17	1,90
Tidegebiet	60,47	20,78	0,08	10,08
Sr- 89				
Flußgebiet	0,32	0,75	-	1,83
Tidegebiet	0,29	0,64	-	
Sr-90				
Flußgebiet	56,22	0,99	-	100
Tidegebiet	56,22	0,99	-	100
Cs-134				
Flußgebiet	38,00	8,90	11,80	5,05
Tidegebiet	24,08	7,07	3,01	3,69
Cs-137				
Flußgebiet	25,09	11,11	5,32	7,69
Tidegebiet	57,66	19,?3	1,38	10,59
I-131				
Flußgebiet	0,17	0,50	29,95	0,03
Tidegebiet	0,23	0,59	35,22	0,04

Bemerkung: Die Wertigkeit des Sr-90 bei der Belastung des Knochenmarks wird gleich 100 gesetzt.

Tabelle 14: Maximale Jahresdosen in mrem bei 1 pCi/l summiert Über alle Expositionspfade nach [13]

	Ganzkörper	Magen/Darm	Schilddrüse	Knochen
Co-60				
Flußgebiet	8,90E-01	1,19E+00	4,10E-02	8,90E-02
Tidegebiet	4,24E+00	4,37E+00	1,76E-02	4,24E+00
Sr-89				
Flußgebiet	2,66E-02	1,85E-01	-	9,06E-01
Tidegebiet	1,96E-02	1,35E-01	-	6,60E-01
Sr-90				
Flußgebiet	4,64E+00	2,46E-01	-	4,95E+01
Tidegebiet	3,54E+00	2,09E-01	-	4,21E+01
Cs-134				
Flußgebiet	3,13E+00	2,20E+00	2,92E+00	2,50E+00
Tidegebiet	1,69E+00	1,49E+00	6,32E-01	1,55E+00
Cs-137				
Flußgebiet	2,07E+00	2,75E+00	1,32E+00	3,94E+00
Tidegebiet	4,04E+00	4,19E+00	2,89E+00	4,45E+00
I-131				
Flußgebiet	1,39E-02	1,23E-01	7,41E+00	1,38E-02
Tidegebiet	1,64E-02	1,25E-01	7,41E+00	1,64E-02

Vergl. auch WOLTER [27]

Die angegebenen Werte sind als Anhaltswerte zu verstehen (bei Betrachtung eines Einzelfalles sind jeweils ortsspezifische Faktoren zu berücksichtigen).

3.3.1 H-3 (Tritium)

Herkunft: natürlicher Ursprung
Fallout (Kernwaffenversuche)
Kernkraftwerke (Abwasser/Abluft)
Wiederaufbereitungsanlagen
Leuchtpigmente (z.B. Armbanduhren)
Forschung (Markierungsversuche in der Medizin, Biologie etc.)

Bemerkung:

Z.Zt. wird der Hauptanteil des Tritiums der norddeutschen Flüsse durch den Fallout der Kernwaffenversuche verursacht. Der Tritiumgehalt des Fallouts, der zu Zeiten der großen Testserien mehrere tausend pCi/l betrug, sinkt seit Jahren schneller ab als nach der Halbwertszeit des H-3 erwartet wird.

Jeweils im Frühjahr steigen die Werte für kurze Zeit wieder an. Diese und auch andere kurzzeitige, nicht durch Kernwaffenversuche oder Ableitungen von Kernkraftwerken verursachte Erhöhungen des H-3-Gehaltes der Niederschläge, werden in der Literatur diskutiert /12/.

Belastungspfade: Trinkwasser

Bemerkung:

Keine Rückhaltung des H-3 durch die Bodenpassage des Wassers, es sei denn durch Abklingen infolge langer Fließ-

zeiten des Grundwassers. Eine Verringerung des H-3-Gehaltes durch die Trinkwasseraufbereitung ist nicht möglich.

Halbwertszeit: 12,3 a

Art der Strahlung: schwache ß-Strahlung, 18 keV

Grenzwerte nach § 46 der StrlSchV für jährliche Aufnahme mit Nahrung und Wasser:

$7,2 \times 10^{-5}$ Ci = 72 000 000 pCi

Kritische Organe: Ganzkörper

Bemerkung:

Das durch das Trinkwasser aufgenommene H-3 verteilt sich im ganzen Körper. Einbau in Körperzellen, teilweise nur langsamer Austausch.

3.3.2 Sr-89, Sr-90

Herkunft: Fallout (Kernwaffenversuche)
Kernkraftwerke
Wiederauf bereitungsanlagen

Bemerkung:

Sr-90 ist neben dem Cs-137 der überwiegende Bestandteil des alten Fallouts. Sr-89 tritt im frischen Fallout bis einige Monate nach oberirdischen Tests auf.

Das Sr-90 des Fallouts wird zum größten Teil von den oberen 5 - 10 cm des Erdbodens absorbiert. Im Grundwasser ließ es sich nur in seltenen Fällen nachweisen. Beide Nuklide kommen im Abwasser von Druck- und Siedewasserreaktoren vor. Die Berechnungsgrundlagen des BMI /13/ gehen von einem Sr-90-Anteil von 1 % im Jahresmittel am Gesamtgemisch aus.

Belastungspfade: Trinkwasser, Milch, Fische

Halbwertszeit: Sr-89 50,5 d
Sr-90 28,5 a

Art der Strahlung: Sr-89 ß
Sr-90 ß
Y-90 (Tochternuklid des Sr-90) ß

Grenzwerte nach § 46 der StrlSchV für jährliche Aufnahme mit Nahrung und Wasser:

Sr-89 580 000 pCi
Sr-90 17 000 pCi

Kritische Organe: Knochen

Bemerkung:

Aufnahme mit der Nahrung, Resorption im Magen-Darm-Trakt, Einbau in das Knochengerüst durch Substitution des homologen chemischen Elementes Calcium. Die harte ß-Strahlung der Sr-90-Tochter, des Y-90, bewirkt die Zerstörung des roten Knochenmarks.

3.3.3 Cs-134, Cs-137

Herkunft:	Cs-137	Cs-134
	Fallout Kernkraftwerke Wiederaufbereitungs-anlagen (brit. und franz.)	Kernkraftwerke Wiederauf bereitungsanlagen

Der Anteil des Cs-134 bzw. des Cs-137 des Abwassers von Siedewasser- und Druckwasserreaktoren wird nach den Berechnungsgrundlagen /13/ mit 20 bzw. 30 % am Gesamtgemisch der abgegebenen Radionuklide außer H-3 angesetzt.

Der wesentliche Anteil des zur Belastung der norddeutschen Binnengewässer beitragenden Cs-137 stammt aus dem Fallout. Der Cs-137-Gehalt der norddeutschen Küstengewässer ist dagegen im wesentlichen auf britische und französische Wiederaufbereitungsanlagen zurückzuführen.

Cs-134 wird durch das Abwasser der Kernkraftwerke in die Gewässer gebracht. Zur Kenntnis des durch die britischen und französischen Wiederaufbereitungsanlagen verursachten Cs-134-Anteils dient u.a. die vorgelegte Arbeit.

Belastungspfade:	Trinkwasser, Fische, Milch	
Halbwertszeit:	Cs-134	2,06 a
	Cs-137	30,1 a
Art der Strahlung:	Cs-134	ß, γ
	Cs-137	ß, γ

Grenzwerte nach § 46 der StrlSchV für die jährliche Aufnahme mit Nahrung und Wasser:

Cs-134 = 410 000 pCi
Cs-137 = 72 000 pCi

Kritische Organe: Muskulatur, Leber, Ganzkörper

3.3.4 I-131

Herkunft: Nuklearmedizin
Kernkraftwerke
Fallout

Bemerkung:

I-131 kommt im frischen Fallout bis einige Wochen nach oberirdischen Kernwaffenversuchen vor.

Der Anteil im Abwasser von Kernkraftwerken schwankt, lag aber während der Ausführung dieses Meßprogrammes deutlich unter 10 %, dem Wert, den die Berechnungsgrundlagen des BMI /13/ verwenden.

Belastungspfade: Trinkwasser (Uferfiltrat)
Weide - Kuh - Milchpfad

Bemerkung:

I-131 wird durch die Bodenpassage des Wassers und die Trinkwasseraufbereitung nur unwesentlich zurückgehalten.

Halbwertszeit: 8,05 d

Art der Strahlung: ß, γ

Grenzwerte nach § 46 der StrlSchV für jährliche Aufnahme mit Nahrung und Trinkwasser:

$4{,}8 \times 10^{-8}$ Ci = 48.000 pCi

Kritische Organe: Schilddrüse

Bemerkung:

Anreicherung in der Schilddrüse, Einbau in die Hormone Thyroxin, Trijodthyroxin.

4. Probenahmestellen und zeitlicher Ablauf des Untersuchungsprogrammes

In der ersten Phase des Untersuchungsprogrammes wurde die Elbe und zwei ihrer Nebenflüsse im Zeitraum August 1978 bis Juli 1980 radiologisch untersucht.

Die 10 Stellen der Wasserprobenahme erstreckten sich anfangs gleichmäßig über den Süß- und Brackwasserteil der Elbe von Schnackenburg bis Cuxhaven (Tabelle 15).

1980 wurde eine Probenahmestelle im Tidebereich bei Glückstadt eingerichtet, um zusätzliche Daten über den zwischen den Kernkraftwerken Stade und Brunsbüttel gelegenen Übergang Süßwasser-Brackwasser zu erhalten. Um genauere Aussagen über die Belastung durch den Zustrom von radioaktiv kontaminierten Nordseewasser treffen zu können, wurde 1980 eine Probenahmestelle bei Neuwerk in der Außenelbe eingerichtet. Die Untersuchung der Nebenflüsse Jeetzel und Oste erbrachten Vergleichsdaten von Gewässern, die mit Sicherheit nicht durch das Abwasser kerntechnischer Anlagen beeinflußt waren.

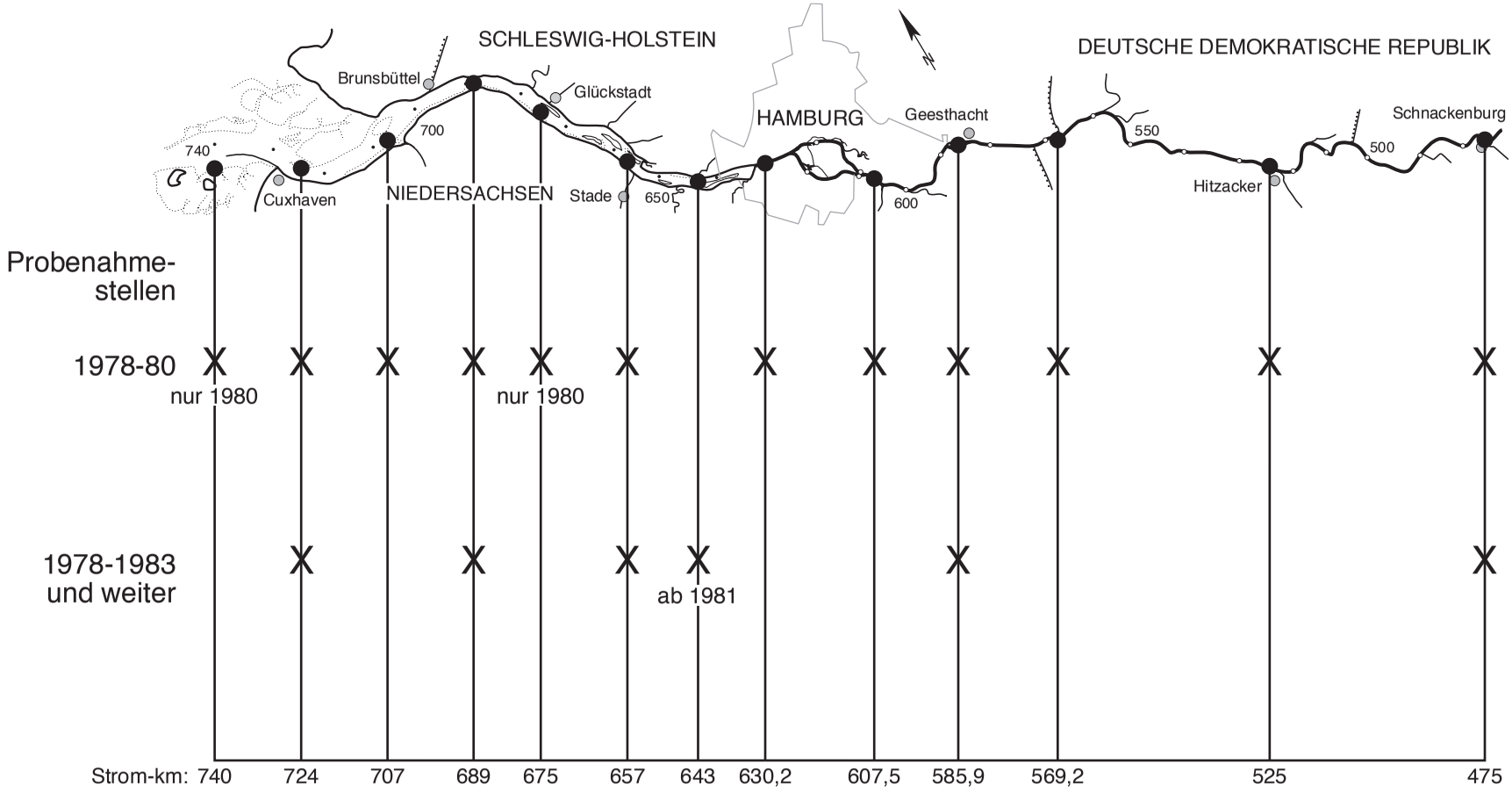
Um eine repräsentative Probenahme zu gewährleisten, wurden die Wasserproben außer in dem Bereich, in dem die Elbe Grenzgewässer ist, als Querprofil-Mischproben genommen. Die ermittelten Werte entsprechen daher der durchschnittlichen Belastung der Elbe am angegebenen Fluß-km und Zeitpunkt.

Im Tidebereich erfolgte die Probenahme 2 - 3 h nach Kenterung Hochwasser. Pro Monat wurden zwei Bereisungen durchgeführt, eine für den tidefreien und eine für den Tidebereich der Elbe. Bei der Sediment- und Fischprobenahme mußten die örtlichen Gegebenheiten berücksichtigt werden (Orte mit erhöhtem feinkörnigen Anteil der Sedimente, Fanggebiet der Fischer etc.). Deshalb decken sich die angegebenen Probenahmestellen von Sedimenten und Fischen nicht direkt mit denen vom Wasser.

Tabelle 15.1 Probenahmestellen des 1978 - 1980 durchgeführten Meßprogramms (Wasser)

Gewässer	Ort der Probenahme	Fluß-km	Bemerkung
Elbe tidefrei	Schnackenburg	475	
	Hitzacker	525	nur 1978/79
	Lauenburg	562,2	
	Geesthacht	585,9	
Elbe Tide-bereich	Oortkaten	607,5	
	Hamburg, Teufelsbrück	630,2	
	Stadersand	657	
	Glückstadt	675	nur 1980
	St. Margarethen	639	
	Ostemündung, Böschrücken	707	
	Cuxhaven	724	
	Neuwerk	740	nur 1980
Jeetzel	Hitzacker		
Oste	Osten		
Probenahmestellen des Folgemeßprogrammes (ab 1981)			
	Ort	km	
Elbe tidefrei	Schnackenburg	475	
	Geesthacht	585,9	
Elbe Tidebereich	Wedel	643	
	Stadersand	657	
	St. Margarethen	689	
	Cuxhaven	724	

Tab. 15.2: Probenahmestellen für Wasser/Schwebstoffe - Meßprogramme ab 1978



Um die Kontinuität der Daten des 1978 - 1980 durchgeführten Meßprogrammes der ARGE-Elbe zu wahren, wurden ab 1981 Längsprofile der Elbe mit je sechs Probenahmestellen von Schnackenburg bis Cuxhaven im vierteljährlichen Rhythmus aufgenommen. Weiterhin wurde das Programm der Sediment- und Fischuntersuchung fortgesetzt.

5. Angewandte Verfahren

5.1 Probenaufbereitung

Zur Untersuchung radioaktiver Stoffe im Gewässer stehen eine Vielzahl von Analysenverfahren und Meßvorschriften zur Verfügung z.B. /9, 16, 17, 22/. Daraus wurden Verfahren ausgewählt, die weitgehend vom Salzgehalt und stark schwankendem Schwebstoffgehalt des Gewässers unabhängig sind, da der Bereich Süßwasser - Brackwasser -Meerwasser möglichst einheitlich untersucht werden sollte.

Die Methoden der Probenahme, Probenvorbereitung und Meßtechnik wurden während des Zeitraumes 1978 - 1983 beibehalten und nur in notwendigen Fällen verändert.

Eine getrennte Erfassung von Wasser und ungelösten Stoffen war erforderlich, um den durch den Einfluß des besonders im Tidebereich stark schwankenden Schwebstoffgehaltes auf die Gesamtaktiviät der Proben zu ermitteln.

Bisherige Untersuchungen im Elbebereich beschränkten sich auf undifferenzierte Gesamtuntersuchungen. Die Ermittlung der Verteilung der Radionuklide zwischen wäßriger und fester Phase war ein wesentlicher Bestandteil des Untersuchungsprogrammes. Voruntersuchungen ließen vermuten, daß in den Schwebstoffen mit Cs-137 zu rechnen war und daß weitere künstliche Radionuklide wie Cs-134, Co-60, Ce-144 nur in Ausnahmefällen nachweisbar wären.

Als Grundsatz der eingesetzten Verfahren galt, für die wesentlichen Radionuklide Nachweisgrenzen zu erreichen, die möglichst einen Faktor 10 unter den in der Elbe erwarteten Aktivitätskonzentrationen lagen /15/.

Die Nachweisgrenzen der Verfahren lagen wesentlich unter den nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen /41/ geforderten Werte. Gleichermaßen liegen sie unter den Nachweisgrenzen der im Entwurf vorliegenden Richtlinie zur allgemeinen Umgebungsüberwachung /50/.

Die Arbeiten konzentrierten sich auf die Erfassung von

1. H-3, Co-60, Sr-90, I-131, Cs-134/137

2. Weitere künstliche γ-Strahler wie Co-57, Co-58, Mn-54, Zr-95, Nb-95, Ru-106, Ce-144

3. Natürliche γ-Strahler wie Tl-208, Pb-214, Bi-214, Ra-226, Ac-228 (in Sedimenten)

Damit wurden die wesentlichen Radionuklide, die im Gewässer auftreten können, erfaßt.

Die Qualitätskontrolle wurde regelmäßig wie folgt durchgeführt:

1. Bearbeitung von Nullproben

   Altes Tiefenwasser wurde zur Kontrolle der H-3-Bestimmung und aqua bidest. zur Kontrolle der Bestimmung der anderen Einzeinuklide nach den u.a. Verfahren untersucht. Nullproben zur Fischuntersuchung sind wegen der weltweiten Kontamination mit Sr-90 und Cs-137 nicht mehr erhältlich.

2. Bearbeitung von Zugabeproben

Zu einer Vergleichsprobe werden solche Konzentrationen der Radionuklide gegeben, die die Konzentrationen der Umweltproben um mehrere Größenordnungen überschreiten. Die Bestimmungen werden nach den u.a. Analysenverfahren durchgeführt. Die Ausbeute und die Reproduzierbarkeit der Analysenverfahren werden so überprüft.

3. Teilnahme an Ringanalysen

Das NLW nahm während der Ausführung dieses Untersuchungsprogrammes an allen Ringanalysen zur Radioaktivitätsbestimmung des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde teil.

5.1.1 Wasser

Da zur Erfassung der in den Schwebstoffen erwarteten Cs-137-Aktivität Schwebstoffmengen von mehr als 3 g gebraucht wurden, mußten bis zu 360 l Wasser pro Probe aufgearbeitet werden (Süßwasserbereich). Im Tidebereich ließ sich das Probevolumen auf 180 l/Probe als Folge des erhöhten Schwebstoffgehaltes senken.

Die gesamte wäßrige Phase wurde nach Abtrennen der Schwebstoffe zur Bestimmung der gelösten Radionuklide eingesetzt:

Sr-90 (60 l), I-131 (10 l), Co-60 (60-120 l),
H-3 (0,25 l), Cs-137 im Süßwasser (120 l), Cs-137 im Brackwasser (60 l).

Die Wasserproben wurden als Querprofile im Tidebereich der Elbe vom Schiff und im Bereich der tidefreien Elbe bei Geesthacht und Lauenburg von Brücken genommen. Weiter oberhalb war die Probenahme nur vom linken Ufer aus möglich.

Tabelle 16: Kurzbeschreibung der Analysenverfahren

1.	γ-spektrometrische Bestimmung ohne Abtrennung der einzelnen Radionuklide in Wasser, Schwebstoffen, Sedimenten und Fischen
1.1	Eindampfen und Trocknen der Probe
1.1.1	60 l Wasser bzw. ca. 3 - 5 l Feuchtschlamm werden eingedampft, getrocknet und direkt mit γ-Detektoren gemessen. Die Auswertung erfolgt nuklidspezifisch
1.1.2	bis zu 5 kg Fisch werden verascht und direkt gemessen
1.2	Mit der Methode nach Guegueniat /19/ werden die Radionuklide Co-58/60, Mn-54, Zn-65, Ru-103/106 etc. an MnO_2 absorbiert. Die Messung des MnO_2 erfolgt in Ge-Bohrlochdetektoren
2.	Cs-134 und Cs-137 in Wasser Adsorption der Cs-Isotope aus 60 - 120 l Wasser an Amoniummolybdat-orthophosphat (AMP) nach Harley /9/, Messung im Ge-Bohrlochdetektor
3.	I-131 in Wasser Mitfällung mit bzw. Adsorption an AgCl aus 10 l, Umfällung zu AgCI/AgI. Messung im Ge-Bohrlochdetektor
4.	Sr-89/90 in Wasser und Fischen
4.1	Sr-90 in Wasser Fällung nach Zugabe von Strontiumträger als Strontiumphosphat mit Fällungshilfsmitteln, Extraktion des Yttriums, Fällung als Yttriumoxalat, Messung des Yttriumoxids mit Phoswichdetektoren (/22/, /18/, modifiziert).
4.2	Sr-89/90 in Fischen Aus den nach 1.1.2 gewonnenen Proben wird nach Zugabe von Strontiumträger das Strontium als Strontiumnitrat (HNO_3) abgetrennt. Nach Reinigungsfällungen wird Yttrium als Oxalat abgetrennt /9/. Messung des Yttriumoxids mit Phoswichdetektoren.
5.	H-3 in Wasser Destillation der Probe, elektrolytische H-3-Anreicherung im alkalischen Medium, Messung mit Flüssigkeitsszintillationsspektrometer.

Tabelle 17: Nachweisgrenzen (NWG = 3s)

Medium	Nuklid	NGW nach REI*	NGW vorliegendes Meßprogramm erreicht im Mittel	eingesetzte Menge Probenmaterial
Wasser (pCi/l)	H-3	5000	20	250 ml
	Sr-90		0,005	60-120 l
	Cs-137	2	0,002-0,004	60-120 l
	I-131	2	0,03	10 l
	Co-60	2	0,001-0,01	60-400 l
Sedimente (pCi/kg) Trockensubstanz	Cs-137	500	4-10	ca. 1 l
	I-131		-	ca. 1 l
	Co-60	500	4-10	ca. 1 l
Schwebstoffe (pCi/kg)	Cs-137		10	1-20 g
	I-131		-	1-20 g
	Co-6O		10	1-20 g
Fisch (PCi/kg Fleisch)	Sr-90		0,2	0,9-4,0 kg
	Cs-137	10	0,1-1	0,9-4,0 kg

* Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen /41/, übliche Nachweisgrenze

Die Wasserproben wurden mit einer Kreiselpumpe, Fördervermögen 150 l/min aus ca. 0,5 m Tiefe gezogen. Die Proben wurden unmittelbar nach der Probenahme in einem mobilen Labor aufgearbeitet. Die Abtrennung der Schwebstoffe erfolgte am Tage der Probenahme mit drei Durchlaufzentrifugen mit einem Wasserdurchsatz von ca.50 l/h und einer Drehzahl von 10 000 min^{-1}. Die Wasserproben zur Sr-90-, I-131- und Cs-134/137-Bestimmung wurden sofort mit inaktivem Träger versetzt.

Ab 1979 stand zur Probenaufbereitung der Laborbus des NLW zur Verfügung (Gewicht inkl. Laboraufbau 11 t). Jeweils 3 - 4 Chemotechniker/Laboranten unter Anleitung durch einen Chemieingenieur und einen Diplomchemiker wurden zur Probenahme und Probenvorbereitung vor Ort eingesetzt.

Die angewandten Verfahren sind in der Tabelle 16 zusammengestellt. Die erreichten Nachweisgrenzen sind in der Tabelle 17 und 18 aufgeführt.

5.1.1.1 H-3

Die Arbeiten erfolgten im ortsfesten Labor: Nach Zugabe von 250 mg $KMnO_4$ werden 500 ml Elbwasser über eine Siebbodenkolonne destilliert (Gesamthöhe 40 cm, 10 Böden, NS 29). Je 250 ml des Destillats werden im alkalischen Medium elektrolysiert /32/, vergl. auch /31/). Nach Beendigung der ca. 5 Tage dauernden Anreicherung wird der Rückstand Mit CO_2 neutralisiert, die Probe (ca. 20 ml) destilliert, das Destillat mit einer Szintillatorflüssigkeit (INSTAGEL) versetzt.

Die 12 während eines Monats bei dem hier durchgeführten Meßprogramm anfallenden H-3-Proben konnten jeweils mit einem Elektrolysenarbeitsgang bearbeitet werden. Der Anreicherungsfaktor betrug ca. 16, d.h. eine anfängliche H-3-Konzentration von 200 pCi/l ergab nach Anreicherung eine Konzentration von 3200 pCi/l im Meßpräparat (vergl. Tabelle 18).

Tabelle 18: Verwendete Flüssigkeitsszintillationszähler - Nachweisgrenzen

	Nulleffekt (cpm)	Zählausbeute (%)	Nachweisgrenze (NWG) (pCi/l)	durch Anreicherung erreichte NWG (pCi/l)
Gerät A	4,1	21,9	250	20
Gerät B	4,1	22,6	250	20

5.1.1.2 Co-60 und andere γ-Strahler

Um in Gewässern mit teils hohem Salzgehalt unter Vermeidung des Eindampfverfahrens (siehe 5.1.1.6) γ-Strahler wie Co-60 in geringen Konzentrationen nachzuweisen, setzten wir ein Adsorptionsverfahren nach Guegeniat /19/ ein: Aus 60 - 120 l Wasser wird nach Abtrennung der Schwebstoffe frisch gefälltes MnO_2 zugegeben und bei pH 8 gerührt. Man läßt den MnO_2-Niederschlag mindestens 1 Woche absetzen. Dann wird der Niederschlag abfiltriert. In dem ca. 3 g schweren Niederschlag sind die Isotope des Mn, Co, Zn, Ag und Ru mit über 60 % Ausbeute angereichert. Das Präparat wird getrocknet (110 °C.), zu Preßlingen mit 10 mm ø gepreßt und direkt zur γ-spektrometrischen Messung eingesetzt.

Das Verfahren wird laufend durch Zugabeproben überprüft und ist auch zur Bestimmung niedriger Konzentrationen des inaktiven Kobalts in Wasserproben geeignet /3/. Das geringe Volumen des Meßpräparates ermöglicht es, Mischproben herzustellen, die einem Probenvolumen bis zu 900 l Wasser entsprechen.

5.1.1.3 Sr-90

Zu dem von Schwebstoffen befreiten Wasser werden 600 mg inaktives Strontium als Träger gegeben. Das Sr wird als Phosphat mit Fällungshilfsmitteln aus 60 - 120 l nach Mundschenk /22/ gefällt. Das Sr wird mit HCl eluiert. Nach Zugabe von 20 mg Yttrium wird eine Flüssig-flüssig-Extraktion des in der Probe vorhandenen Y-90 vorgenommen /18/. Die Y-haltige organische Phase wird verworfen, die Sr-haltige wäßrige Phase wird erneut mit 20 mg Yttrium als Träger versetzt. Nach jeweils 14 Tagen steht das zu bestimmende Sr-90 der Probe mit seinem Tochternuklid Y-90 im Gleichgewicht. Dieses Y-90 wird mit dem zugesetzten inaktiven Yttrium durch anschließende Flüssig-flüssig-Extraktion von der Sr-haltigen Lösung abgetrennt. Das Y wird als Oxalat gefällt und zum Oxid verascht. Das Oxid wird getrocknet,

gewogen und in dünner Schicht auf ein Stahlschälchen (ø 25 mm) aufgetragen und in einem Phoswich-ß-Detektor gemessen.

Die Ausbeute dieses Verfahrens beträgt ca. 50 %. Die Ausbeute des inaktiven Strontiums, das als Träger zugesetzt war, wird über die Röntgenfluoreszensspektroskopie bestimmt. Die Bestimmung der Konzentrationen des Strontiumgehaltes der Ausgangslösung, eine Bestimmung im Spurenbereich, erfolgt mit der Atomabsorptionsspektrometrie (AAS).

5.1.1.4 I-131

10 l der von Schwebstoffen befreiten Lösung werden angesäuert ($HN0_3$, pH = 2) mit 40 mg Jodidträger und 10 ml gesättigte Na_2SO_3-Lösung versetzt und gerührt. Die folgenden Arbeiten werden unter Lichtausschluß vorgenommen. Die Lösung wird mit 1 g frisch gefälltem AgCl versetzt und 2 h gerührt. Man läßt die Probe über Nacht absetzen.

Der Niederschlag wird in NH_3 gelöst, erneut gefällt und anschließend abfiltriert. Der Niederschlag wird mit einer Ammoniaklösung behandelt und mit HNO_3 erneut ausgefällt. Filter und Niederschlag werden 1 h bei 100 °C getrocknet und mit einer hydraulischen Presse zu Meßpräparaten von 10 mm Durchmesser und ca. 20 mm Höhe verarbeitet (zur Vorbereitung der Messung in Bohrlochdektoren vergl. 5.1.1.2).

Die Ausbeute dieses Verfahrens wird regelmäßig durch Zugabe von I-131 zu Kontrollproben überwacht. Die Ausbeute liegt bei 60 %.

5.1.1.5 Cs-134, Cs-137

Zu dem von Schwebstoffen befreiten 60 - 120 l Wasser werden 20 mg eines inaktiven Caesiumträgers gegeben, Die Probe wird mit 10 g Ammoniummolybdatophosphat (AMP) versetzt und 2 h gerührt /9/. Man läßt über Nacht absetzen und trennt den

Rückstand durch Dekantieren und anschließendes Filtrieren ab. Der Rückstand wird umgefällt und getrocknet. Das ca. 1 g schwere Präparat wird mit einer hydraulischen Presse mit einem Druck von $6,3 \cdot 10^7$ Pa zu Preßlingen mit 10 mm ø gepreßt. Da die Stahlform beim hydraulischen Pressen zerbersten kann, müssen die Arbeiten hinter einer Schutzscheibe durchgeführt werden.

Die Preßlinge werden in eine Folie eingeschweißt. Durch Zusammenfügen von Preßlingen können Mischproben erstellt werden, die ca. 300 l Wasser entsprechen. Diese Möglichkeit wurde zur Cs-134-Bestimmung ausgenutzt.

Die chemische Ausbeute dieses Verfahrens wird regelmäßig durch Zugabe von Cs-137 zu Kontrollproben überprüft. Die Ausbeute des gesamten Verfahrens beträgt mehr als 90 %.

5.1.1.6 Eindampfverfahren

Von einigen Proben wurden je 50 l Wasser nach Zugabe von inaktivem Träger mit Hilfe von Oberflächenverdampfern eingedampft. Die Proben wurden anschließend getrocknet, gemahlen und zu Tabletten von 6 cm ø mit einer hydraulischen Presse gepreßt.

Dieses Verfahren ist relativ zeit- und auch kostenintensiv. Pro Arbeitstag können etwa 4 l eingedampft werden. Der Kostenaufwand zum Eindampfen von 50 l beträgt ca. 30,- DM.

Eine wesentliche Zeitersparnis bringt das Eindampfen mit Hilfe von Vakuumrotationsverdampfern (20 l), das ab 1982 im NLW eingesetzt wurde.

5.1.1.7 Rest-ß-Aktivität

0,1 - 1 l der Proben werden mit Oberflächenverdampfern eingedampft.

Der Rückstand wird bei 450 - 500 °C verascht. Bis zu 2 g der Probe werden auf Aluminiumschälchen von 6 cm ø aufgebracht und mit einem Methandurchflußzähler gemessen. Von der ermittelten Gesamt-ß-Aktivität kann die K-40-Aktivität der Probe abgezogen. Diese Aktivität entspricht der Rest-ß-Aktivität. Die K-40-Aktivität kann aus dem flammenphotometrisch ermittelten Gehalt des inaktiven Kaliums der Probe berechnet werden, da das Verhältnis des inaktiven Kaliums zum aktiven Kalium (K-40) konstant ist (1 mg Kalium - 0,77 pCi K-40, vergl. /17/).

5.1.2 Schwebstoffe

Die nach Zentrifugation abgetrennten Schwebstoffe werden 2 h bei 110 °C getrocknet und bei einem Trockengewicht von 6 g zu Tabletten mit 10 mm ø gepreßt. Proben mit einem Gewicht > 6 g werden zu Tabletten mit 3 cm ø oder 6 cm ø gepreßt. Alle Proben werden mit ca. 0,5 g Stearin versetzt, um formstabile Tabletten zu erhalten. Auf eine Veraschung der Proben wurde im Normalfall verzichtet, um auch flüchtige Radionuklide wie I-131 erfassen zu können. Einige Proben wurden nach der Messung zur Verringerung des Probenvolumens (Verbesserung der Nachweisgrenze) bei 450 °C verascht und erneut gemessen.

Da nur mit wenigen Ausnahmen Schwebstoffmengen unter 10 g pro Probe vorlagen, mußte auf eine Sr-90-Bestimmung verzichtet werden. Mit Sicherheit wären nur Werte unterhalb der Nachweisgrenze aufgetreten.

5.1.3 Sedimente

5 l Feuchtschlamm werden nach der Probenahme in Plastikbehälter gefüllt. Durch Sieben werden anschließend im ortsfesten Labor Partikel mit einer Größe von 2 mm entfernt (Naßsiebung mit Vibrationssiebgerät).

Die Proben werden bei 110 °C getrocknet und anschließend zur Erreichung einer hohen Packungsdichte mit einer Zentrifugalmühle zerkleinert. Je 1 l der Probe wird in 1 l-Ringschalen (sog. Marinellibecher) eingefüllt und bis zur Messung fest verschlossen 1 Monat aufbewahrt.

Unter Umgehung der langen Standzeiten können die Proben zwar direkt gemessen werden. Dann ist aber eine Bestimmung des Ra-226 über seine Folgeprodukte Pb-214 und Bi-214 nicht möglich.

Zur Isolierung der Fraktionen unterschiedlicher Korngröße wurde ebenfalls die Vibrationssiebmaschine mit Analysensieben nach DIN 4188 eingesetzt. Ein chemischer Aufschluß der Sedimente erfolgte nicht.

5.1.4 Fische (Brassen)

Die Fische werden möglichst noch am Tage der Probenahme gekühlt zum Zentrallabor in Hildesheim transportiert. Sie werden ausgenommen und kurz in einem Mikrowellenherd angegart, um die anschließende Trennung des Fleisches von den Gräten zu erleichtern. Je nach Zahl der gefangenen Fische werden Mischproben, in diesem Programm aus 0,9 - 3,7 kg Fischfleisch, zusammengestellt. Das Fleisch wird zerkleinert, zur Verringerung des Volumens gefriergetrocknet und im Muffelofen bei 450 °C verascht. Die Asche wird mit 1 g Stearin versetzt und zu Tabletten mit einem Durchmesser von 60 mm hydraulisch gepreßt (Druck bis $3{,}5 \cdot 10^7$ Pa).

Cs-134, Cs-137 und die übrigen g-Strahler werden durch die Aufnahme des γ-Spektrums (Meßzeit 3 Tage) mit ausreichender Empfindlichkeit erfaßt, so daß keine naßchemische Verfahren eingesetzt werden müssen.

Zur Bestimmung des Sr-90 im Fischfleisch sowie in den Gräten wird auf das Standardverfahren nach HARLEY /9/ zurückgegriffen. Fischasche bzw. Grätenasche werden jeweils mit einer Sodaschmelze aufgeschlossen.

600 mg inaktiver Strontiumträger werden zugegeben, das Sr wird als Phosphat und anschließend mit rauchender Salpetersäure als Nitrat abgetrennt. Störende Barium- und Bleiisotope werden durch eine Bariumchromatfällung entfernt. In der Probe vorhandenes Y-90 wird nach Zugabe von inaktivem Y-Träger abgetrennt. Danach werden erneut 20 mg Yttrium als Träger zugegeben. Nach 14 Tagen stehen Sr-90 und Y-90 im Gleichgewicht. Man fällt das Yttrium als Hydroxid, löst auf und fällt anschließend das Oxalat aus. Durch Veraschen bildet man das Yttriumoxid. Es wird auf Stahischälchen (ø = 25 mm) gebracht und zur Ausbeutebestimmung des Yttriums gewogen. Die ß-Strahlung des Y-90 wird mit einem Phoswich-Detektor gemessen. Da Sr-90 und Y-90 unter o.a. Analysenbedingungen im Gleichgewicht stehen, entspricht der ermittelte Y-90-Gehalt dem gesuchten Sr-90-Gehalt der Probe.

Da Sr-89 und Ra-226 im Laufe der o.a. Analyse ohnehin abgetrennt wurden, können diese Nuklide ohne großen zeitlichen Aufwand ebenfalls erfaßt werden. Sr-89 wird nach Abtrennung des Yttriumhydroxids zusammen mit dem Sr-90 und dem inaktiven Sr als Carbonat gefällt und auf Stahlschälchen (60 mm ø) mit einem Methandurchflußzähler gemessen. Der Sr-89-Gehalt läßt sich errechnen, wenn der Sr-90-Gehalt der Probe bekannt ist.

Das Ra-226 fällt bei der Bariumchromatfällung des o.a. Analysenganges zusammen mit dem Barium und Blei aus. Das Chromat wird durch Filtration abgetrennt. Es wird mit dem Filter zusammen getrocknet, zu Preßlingen von 10 mm ø gepreßt und in Folie verschweißt. Nach ca. 4 Wochen steht das Ra-226 mit seinen Folgeprodukten im Gleichgewicht, von denen Bi-214 und Pb-214 zur Bestimmung des Ra-226 über ihre γ-Emissionslinien benutzt werden. Die Messung erfolgt in Bohrloch-Detektoren.

Bei einigen Proben wurde das bei der Gefriertrocknung des Fischfleisches anfallende Wasser aufgefangen. Das Tritium wurde nach dem unter 5.1.1 angegebenen Verfahren bestimmt. So ließ sich die Aktivität des nicht in organische Bestandteile des Fischfleisches eingebauten Tritiums ermitteln.

Bemerkungen (allgemein):

Die durch Gefriertrocknung gewonnene Trockensubstanz läßt sich zur schnellen Ermittlung des Radionuklidgehaltes von Fischfleisch einsetzen. Auch flüchtige Nuklide können erfaßt werden.

Erst seit Mitte 1981 stand dem NLW ein Muffelofen mit katalytischer Nachverbrennung zur Verfügung, der eine gefahrlosere und weniger geruchsintensive Veraschung des Fischfleisches erlaubt.

Bemerkungen zur Sr-90-Bestimmung:

Die bis zu Beginn des Untersuchungsprogrammes (1978) vorliegenden Fischuntersuchungen der Elbe ließen Konzentrationen von ca. 30 pCi/kg Fischfleisch erwarten. Demzufolge wurden anfangs nur die ca. 400 g Fischfleisch entsprechende Aschemenge zur Sr-90-Bestimmung eingesetzt. Späterg als sich herausstellte, daß die wirklichen Sr-90-Konzentrationen um mindestens eine Größenordnung niedriger als erwartet lagen, wurden die eingesetzten Bezugsmengen erhöht (bis maximal 2200 g Fischfleisch), um eine ausreichende Nachweisgrenze zu erreichen (ca. 0,2 pCi/kg Fischfleisch).

Die früher in der Literatur /2/ angegebenen Sr-90-Werte für Elbfisch bezogen sich vermutlich auf Gesamtfisch, d.h. daß die Gräten mit dem erhöhten Sr-90-Gehalt (Knochensucher Sr-90) nicht abgetrennt wurden. Die neueren veröffentlichten Sr-90-Gehalte der Elbfische /2/ liegen um mehr als eine Größenordnung unter den früher publizierten Werten.

5.2 Meßtechnik

Zur Messung von ß- und g-Strahlen stehen dem NLW die Geräte der Abb. 9 und 10 zur Verfügung. Auf die Spektrometer zur Erfassung der a-Strahler wird hier nicht näher eingegangen.

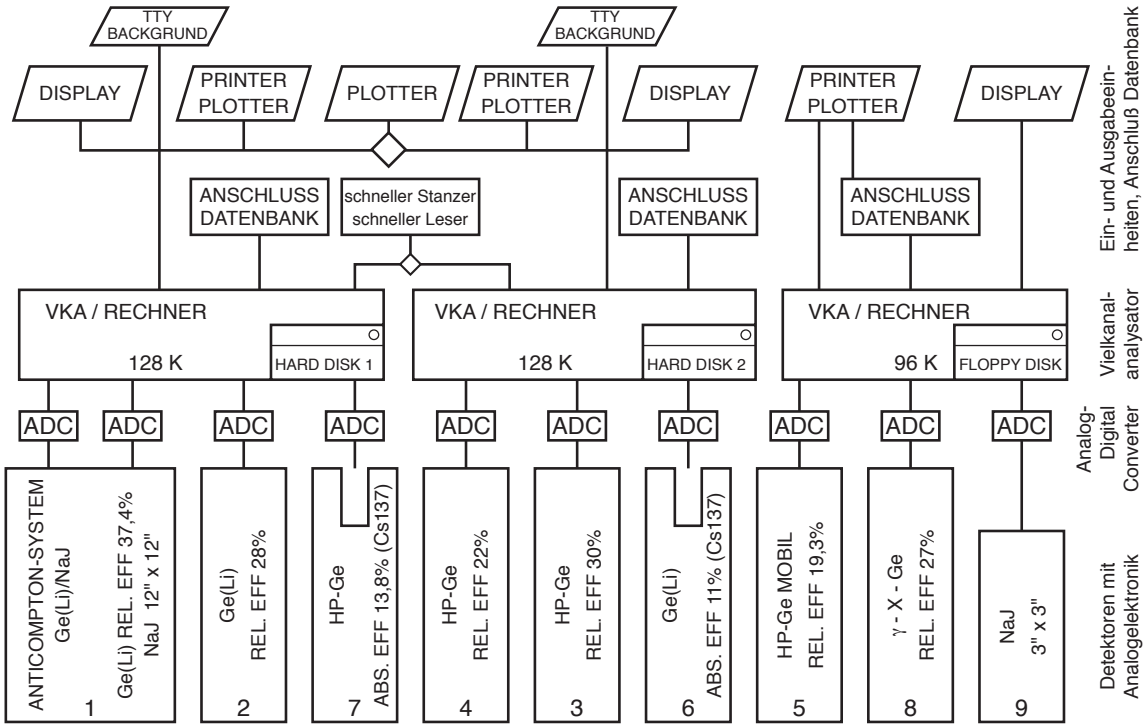


Abb. 9: Meßsystem zur Erfassung von γ-Strahlern

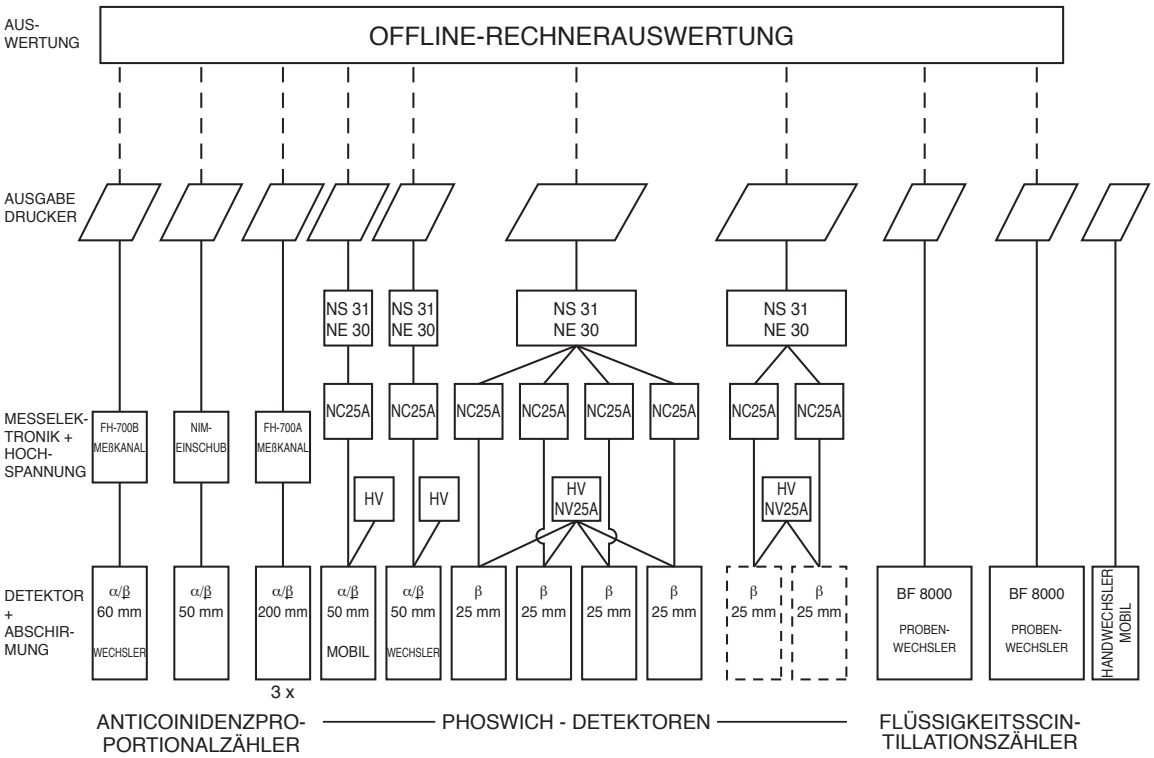


Abb. 10: Meßsystem zur Erfassung von α- und β-Strahlern

Die Geräte werden zur optimalen Ausnutzung für die unterschiedlichen Konzentrationsbereiche der Untersuchung von Abwasser und von Gewässern eingesetzt. Anhand wöchentlich durchgeführter Nullmessungen würden Kontarninationen erkannt werden.

Da die Nachweisgrenze einer Probe der Wurzel aus der Meßzeit umgekehrt proportional ist, wurden für die Proben des Meßprogrammes möglichst lange Meßzeiten - mindestens 1000 min - veranschlagt. Verlängert man die Meßzeit um das Vierfache, so sinkt die Nachweisgrenze um den Faktor zwei. Eine Meßzeitverlängerung auf 4000 min kam jedoch nur für Proben in Betracht, bei der die Herabsetzung der Nachweisgrenze von entscheidender Bedeutung war (Fischasche, Mischproben der Cs-134- und Co-60-Bestimmung).

Zur Kalibrierung der Meßgeräte werden Standardlösungen bzw. -präparate von folgenden Institutionen eingesetzt:

1. Physikalisch-Technische-Bundesanstalt
   Nuklidgemisch
   I-131

2. Amersham-Buchler
   H-3, Sr-89, Sr-90

3. Bundesanstalt für Gewässerkunde
   Proben der Ringanalyse zur Sedimentbestimmung werden nach Bekanntgabe der Ergebnisse benutzt, um Ausbeutefunktionen für die Bohrlochdetektoren aufzunehmen.

5.2.1 γ-Strahler

Früher gebräuchliche NaJ-Detektoren stehen dem NLW zwar zur Verfügung, wurden jedoch in diesem Meßprogramm wegen ihres geringen Energieauflösungsvermögens nicht eingesetzt. Zur

Tabelle 19: Halbleiterdetektoren zur Messung von γ-Strahlen
Detektoren des Meßprogrammes 1978 - 1983

Art des Detektors	Firma	Nr.	EFF % rel. Co-60	EFF % abs. Cs-137	FWHM keV-Co-60	P/C Co-60
Ge(Li)-Voll-kristalle	ORTEC	2	28		2,4	
	HARSHAW	1	32,5		2,1	47:1*
Bohrloch-Ge(Li) (11 mm ø)	SCHLUM-BERGER	6		11	2,3	64:1
Ge-HP**-Voll-kristalle	ORTEC	4	22		1,8	
	ORTEC	3			1,76	62:1
	SCHLUM-BERGER	5	19,3		2,1	45:1
Bohrloch-HP-Ge (11 mm ø)	SCHLUM-BERGER	7		13,8	2,1	95:1
Ge-γ-X	ORTEC	8	26,7		1,84	58:1

Erläuterung

EFF (% rel. Co-60): genormte relative Empfindlichkeit des Halbleiterdetekors gegenüber einem NaJ-Detektor für eine Punktquelle in 25 cm Abstand vom Detektor.

EFF (% abs. Cs-137): absolute Empfindlichkeit für eine Punktquelle im Bohrloch-detektor

FWHM (Co-60): Angabe über das Auflösevermögen eines Detektors; je kleiner der Wert, desto besser die Auflösung, d. h. die Trennung zweier benachbarter Peaks.

P/C (Co-60): Angabe über das Peak zu Compton-Verhältnis. Ein hohes Verhältnis wird angestrebt.

* Ohne Einschaltung des Anticomptonsystems. Mit Einschaltung liegt das Peak zu Compton-Verhältnis bei 300:1.

** High Purity Germanium

Bestimmung der Einzelnuklide standen sechs Germanium-Lithium-(GeLi)-Detektoren oder Reinstgermanium-(HPGe-)-Detektoren (Tab. 19) zur Auswahl.

Da die Nachweisempfindlichkeit pro Volumen eines Meßpräparates mit der Zunahme des Volumens abnimmt, zielte die Probenvorbereitung auf die Herstellung von Meßpräparaten möglichst hoher Dichte hin.

Drei Typen der Meßgeometrie, der räumlichen Anordnung der Probe zum Detektor, kamen in diesem Meßprogramm zur Anwendung:

1. Probe im Detektor (Bohrloch)

   Proben bis zu einem Volumen von 6 ml werden zu Tabletten gepreßt, in Folie verschweißt und in die Bohrlochdetektoren so eingeführt, daß die Mitte des Meßpräparates an der Stelle der höchsten Detektorenempfindlichkeit liegt. Eine Positionierung auf ± 1 mm ist notwendig. Da Bohrlochdetektoren für Probenmengen bis 6 ml ein gegenüber Vollkristallen (true coaxial, closed end) deutlich höhere Nachweisempfindlichkeit besitzen, werden sie in diesem Meßprogramm bevorzugt eingesetzt (Cs-134, Cs-137, I-131, Co-60 über das MnO_2-Verfahren und Schwebstoffe).

   In der Tabelle 19 sind die Nachweisempfindlichkeiten eines HPGe-Detektors (Nr. 3) für verschiedene Einwaagen einer Sedimentprobe aufgeführt. Obwohl die Nachweisempfindlichkeit mit dem Probenvolumen abnimmt, ist selbst bei vollgefülltem Bohrloch die Nachweisempfindlichkeit im Bereich des Cs-137 noch 2,5 mal günstiger als bei einem relativ guten (28 %) GeLi-Vollkristall (Detektor Nr. 2).

2. Proben auf dem Detektor stehend

   Proben mit einem Volumen von 6 - 200 ml werden zu Tabletten mit 60 mm ø gepreßt und in verschlossenen Plastik-

dosen aufbewahrt und zentriert auf dem Detektor stehend gemessen. Die unterschiedliche Dicke der Tabletten wird über Ausbeutekurven berücksichtigt.

Zur Messung der Proben in dieser Meßgeometrie steht ein Ge(Li)-Halbleiterdetektor mit Comptonuntergrundunterdrückung (Detektor Nr. 1 der Tabelle 19) zur Verfügung. Dabei handelt es sich um einen Ge(Li)-Detektor mit 36 % rel. Empfindlichkeit und einen 12" x 12" NaJ-Schirmdetektor. Es werden gleichzeitig das Antikoinzidenz- und das Koinzidenzspektrum aufgenommen und ausgewertet.

Durch dieses Meßverfahren kann der die Auswertung störende Untergrund einer Messung herabgesetzt und dadurch die Nachweisempfindlichkeit um den Faktor 2 - 3 verbessert werden.

Da Cs-134 und Co-60 im Gegensatz zu den meisten anderen umweltrelevanten Nukliden im Comptonspektrum registriert werden, ermöglicht dieses Meßverfahren auch den qualitativ eindeutigen Nachweis dieser Radionuklide.

3. Proben in Marinelli-Bechern

Steht eine ausreichende Probenmenge zur Verfügung, im durchgeführten Meßprogramm nur bei den Sedimenten, wird 1 l der feinvermahlenen Trockensubstanz in 1 l Ringschalen (sogen. Marinelli-Becher) eingefüllt und verschlossen. Zur Messung wird die Ringschale über den Ge- bzw. Ge(Li)-Detektor (Vollkristall) gestülpt.

Während des Hauptprogrammes wurden pro Monat folgende Untersuchungen auf γ-Strahler durchgeführt:

<u>Wasser</u>

12 I-131-Bestimmungen
12 Cs-134- und Cs-137-Bestimmungen
12 γ-Spektren zur Einzeinuklidbestiminung (Co-60 etc)

Schwebstoffe

12 γ-Spektren zur Einzelnuklidbestimmung

Hinzu kamen einige γ-spektrometrische Untersuchungen von Sediment und Fischproben pro Monat. Da pro Messung mindestens 1000 min angesetzt wurden, und da ein Teil der Proben wegen Störung der Messung oder zur Erreichung einer besseren Nachweisgrenze erneut oder länger gemessen werden mußten, wurden einschließlich der Laborkontrollmessungen ca. 3 γ-Detektoren belegt.

Die Detektoren sind an zwei Vielkanalanalysatoren/Rechner mit je 128 KByte Kernspeicher angeschlossen. Die Steuerung und die Auswertung der Messungen erfolgten weitgehend mit Rechnerprogrammen der Lieferfirma. Die benutzten Rechner sind frei programmierbar, so daß gewünschte Änderungen des Programmablaufs ohne Schwierigkeiten einzufügen sind.

Das System ist samt der Ein- und Ausgabeeinheiten und der Speichermöglichkeiten in der Abb. 9 aufgeführt.

5.2.2 ß-Strahler

Nur in den Fällen, in denen die interessierenden Radionuklide keine g-Strahlen aussenden, muß die arbeitsintensive Bestimmung der ß-Strahlern durchgeführt werden (z.B. für H-3, Sr-89 und Sr-90). Außer zur Bestimmung von Einzeinukliden wird die Bestimmung der ß-Aktivität noch zur Ermittlung des Summenparameters Gesamt-ß-Aktivität bzw. Rest-ß-Aktivität eingesetzt (beides nicht als Teil dieses Untersuchungsprogrammes).

Die zur Verfügung stehenden Geräte werden in der Abb. 10 wiedergegeben.

5.5.2.1 Phoswich-Detektoren

Diese Ca-F_2/NaJ-Szintillationsdetektoren gestatten es, nach dem Prinzip der Impulsformanalyse g-, ß und a-Strahler gleichzeitig zu messen.

Vier Detektoren dieser Art (Tab. 20 und Abb. 10) werden zur Bestimmung von Sr-90 über den ß-Strahler Y-90 eingesetzt. In Handprobenwechslern für Schälchendurchmesser von 25 mm können jeweils 4 an einem Arbeitstag fertiggestellte Meßpräparate je 1000 min unter Aufzeichnung der Zerfallskurve gemessen werden. Die Bestimmung des Sr-89 erfolgte mit einem gleichartigen Detektor (50 mm ø) für Schälchen von 50 mm ø (nur bei einigen Fischuntersuchungen durchgeführt).

Tabelle 20 : Detektoren des Meßprogrammes 1978 - 1983

	1	2	3	4
Nulleffekt (cpm)	0,67	1,1	0,48	0,59
Zählausbeute %	39	45	42	42
Nachweisgrenze 3 s bei Einsatz von 60 l Wasser (pCi/l)	0,004	0,004	0,003	0,003

Phoswich-Detektoren zur Bestimmung von Y-90 (Tochternuklid des Sr-90)
Schälchendurchmesser 25 mm
Meßzeit 1000 min

5.2.2.2 Antikoinzidenz-Proportionalmethandurchflußzähler

Diese Geräte werden im NLW zur Bestimmung der Gesamt-ß-Aktivität eingesetzt. Bis zu 2 g der veraschten Proben werden auf Aluminiumschälchen (ø 60 mm) gebracht und 2 x 100 min gemessen. (Die Bestimmung der Gesamt-a-Aktivität erfolgt mit gleichartigen Geräten, allerdings fensterlos und mit Präparateschälchen von 20 cm Durchmesser).

Die Nachweisgrenze der Rest-ß-Bestimmungen liegt bei diesem Verfahren bei 5 pCi/l, wenn der Kaliumgehalt der Probe nicht mehr als 50 mg/l beträgt. Bei höherem Kaliumgehalt -wie im Brackwasser steigt die Nachweisgrenze der Rest-ß-A.ktivität auf mehr als 20 pCi/l.

5.2.2.3 Flüssigkeitszint illationsspektroskopie

Die Tritiumbestimmung erfolgt mit zwei Flüssigkeitszintillationszählern BF 8000. Es werden je 10 ml der angereicherten Probe mit 12 ml Szintillator (INSTAGEL) versetzt und 1000 min gemessen.

Die Geräteeigenschaften sind in Tabelle 18 zusammengestellt.

6. Diskussion der Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden die Einzelheiten des ausgeführten Meßprogrammes und einige statistische Parameter besprochen. Die verwendeten Begriffe sind in der statistischen Fachliteratur, z.B. /20/ näher erläutert, vergl. auch v. Loh /28/.

1. Einzelwerte

2. Zentralwerte

Offensichtlich waren die Meßergebnisse der meisten Parameter nicht normal verteilt. Da wo keine Gaußverteilung vorliegt, beschreibt das arithmetische Mittel und die zugehörenden Standardabweichungen die Daten nur unzulänglich. Die aufgefundenen Meßwerte gehorchen meist einer log-Normalverteilung, d.h. Logarithmen der Werte sind normal verteilt, der Mittelwert oder "Zentralwert" ist das geometrische Mittel. Jeweils bei der Angabe der Meßwerte wird in den Ergebnistabellen vermerkt, welche Verteilung zugrundegelegt wurde.

3. ±3s-Bereich

In diesem Bereich lagen mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,7 % die Aktivitätskonzentrationen während der Zeit der Durchführung des Meßprogrammes.

4. Korrelationskoeffizient

Der Korrelationskoeffizient (R) wurde in einigen Fällen als Maß der Abhängigkeit zweier Größen bestimmt (z.B. Cs-137-Gehalt vom Chloridgehalt). Hierbei ist zu beachten, daß die Korrelation ein rein rechnerischer Wert ist und nichts über die Ursache des Zusammenhanges aussagt. Zur Deutung der Angaben sei vermerkt, daß R = 0 keinen Zusammenhang und R = 1 einen funktionellen Zusammenhang bedeutet.

Die Signifikanz der Korreiationsangabe kann anhand statistischer Tabellen wie z.B. in /20/ mit dem Wert von R und der angegebenen Zahl der Wertepaare überprüft werden.

5. Regressionskurven

In Fällen mit einer Korrelation zweier Meßgrößen wurde die Funktion mit dem höchsten Korrelationskoeffizienten (linear oder nicht linear) ausgesucht /28/ und der Konfidenzbereich errechnet. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß Extrapolationen auf Werte außerhalb des Bereiches der Meßwerte nicht statthaft sind.

In den Tabellen und Zeichnungen zur statistischen Auswertung der Messungen wurde z.T. die Einheit fCi/l, pCi/l verwandt (1 fCi = 1/1000 pCi).

Eine Zusammenstellung der Zentralwerte für die Radioaktivitätsbelastung mit den Nukliden H-3, Sr-90, I-131 und Cs-137 ist in Tabelle A 31 angegeben.

6.1 Chemische Parameter im Wasser

6.1.1 $K^{\pm}$, $Ca^{2\pm}$, $Sr^{2\pm}$, $Cl^{=}$, gelöster Anteil

Tab.: A 2 - A 5, A 16 - A 19, Abb.: A 1 - A 4, A 18 - A 21

Diese Ionen wurden aus folgenden Gründen bestimmt:

1. Bestimmung der Höhe des Einflusses des Nordseewassers im Elbeästuar an den verschiedenen Probenahmestellen und Klärung von Zusammenhängen von Nordseewasser und radioaktiver Kontamination.

2. Bestimmung der Elemente Ca^{2+} und K^{+}zur Beurteilung von Anreicherungsvorgängen der homologen Nuklide Sr-90 und Cs-137.

3. Ermittlung des Sr^{2+}-Gehaltes der Wasserproben zur Korrektur der Ausbeutebestimmung bei Zugabe von inaktivem Sr^{2+} zur Meßprobe.

4. Aufzeigen des Zusammenhanges der K^{+}- und Cl^{-}-Konzentration im gesamten Elbebereich als Hilfsmittel für zukünftige Rest-ß-Bestimmungen.

Im Bereich Schnackenburg (km 475) bis Glückstadt (km 675) schwanken diese Parameter in einem relativ engen Bereich, so daß sie für die folgenden Betrachtungen als weitgehend einheitlich angesehen werden können. Ab km 689 macht sich durch schwankenden Salzgehalt der Brackwassereinfluß bemerkbar.

In diesem Bereich überlagern sich Seewasser- und Süßwassereinfluß. Auf die Meßwerte und die Auswertungen wird bei der Besprechung der radioaktiven Parameter Bezug genommen. Es sei nur angemerkt, daß zwischen K^+ und Cl^- im Brackwasserbereich, aber auch etwas geringer im Süßwasserbereich, der Elbe eine Korrelation besteht. Vereinfachend werden deshalb für die Betrachtung der Korrelation von Meßwerten mit dem Salzgehalt die Chloridkonzentrationen eingesetzt (vergl. Abb. A 18 A 19). Zwischen Chlorid und Strontium besteht ebenfalls eine Korrelation (vergl. Abb. A 20 - A 21).

6.1.2 Ungelöste Stoffe in mg/l

Tab. A 6.1, A 6.2, A 20 und Abb. A 5

Die Zentralwerte 1978 - 1980 liegen im tidefreien Bereich zwischen 15 und 26 mg/l. Im Tidebereich in der Höhe der Ostemündung wird mit 47 mg/l der höchste Zentralwert der Elbe gefunden. Hier wird ein Teil der Schwebstoffwolke des Brackwasserbereiches erfaßt. Fast doppelt so hoch lag der Zentralwert für die Probenahmestelle im Tidebereich der Oste. Für diese Stelle wird auch der größte ±3s-Bereich registriert (99,75 % der Werte liegen zwischen 13 und 459 mg/I).

6.2 Gelöste Radionuklide

6.2.1 H-3

Tab. A 7.19 A 7.29 A 21 und Abb. A 69 A 139 A 22

1978 - 1980:

Der Tritiumgehalt der Elbe sinkt vom Süßwasserbereich über das Brackwasser zum Nordseebereich hin ab. Während die Elbe

im Bereich Schnackenburg bis Stade (km 475 bis km 657) mit 200 - 218 pCi/l überall ähnliche Mittelwerte und +3s-Streubereiche zeigt, sinken die Mittelwerte im Brackwasserbereich bis auf 90 pCi/l bei Neuwerk (km 740). Auffallend niedrig liegen die Mittelwerte der untersuchten Nebenflüsse Jeetzel und Oste (92 bzw. 149 pCi/l).

Die deutlich unter den derzeitigen H-3-Konzentrationen der Niederschläge liegenden Werte der Jeetzel deuten darauf hin, daß wesentliche Anteile des Jeetzelwassers "älteres" Wasser ist, d.h. Grundwasser mit einer mehrjährigen Aufenthaltszeit im Boden.

Im Süßwasserbereich der Elbe macht sich der direkte Einfluß des Fallouts stärker bemerkbar. Wie seit Ende der großen Testserien von Kernwaffen weltweit festgestellt, sank der H-3-Gehalt der Niederschläge auch in Norddeutschland ab /5/. In analoger Weise sank der H-3-Gehalt im Süß- und Brackwasserbereich (Abb. 2 und Abb. A 13).

Das tritiumarme Meerwasser, hier das Nordseewasser, stellt ein großes Reservoir an Verdünnungswasser für das über die Niederschläge und die Gewässer zugeführte Tritium dar. Tritiumarmes Nordseewasser (August 1980 ca. 50 pCi/l /40/) dringt mit der Tide in das Elbeästuar ein. Die Abhängigkeit des H-3-Gehaltes vom Salzgehalt ist deutlich. Der Korrelationskoeffizient für die Abhängigkeit des H-3 vom Chlorid für den Bereich St.-Margarethen bis Neuwerk (1978 - 1980) ist mit R = 0,91 bei n = 53 hochsignifikant, vergl. Tab. A 41 und Abb. A 22. Für den Bereich des Süßwassers (km 475 - 657) läßt sich natürlich kein Zusammenhang mit der Chloridkonzentration erkennen.

Eine in anderem Zusammenhang (1978 - 1979) im Bereich Schnackenburg (km 483, vergl. Tab. A 33) durchgeführte Untersuchung mit höherer Frequenz der Probenahme (alle 14 Tage) zeigte für den entsprechenden Zeitraum mit 220 pCi/l praktisch gleiche Werte (vergl. den Mittelwert der monatlichen Probenahme in diesem Meßprogramm: 216 pCi/l).

Legt man einen mittleren Abfluß (MQ) von 712 m^3/s bei dem Pegel Neu-Darchau zugrunde, so wurden in den letzten Jahren ca. 5000 Ci/a H-3 der Nordsee zugeführt. Der Anteil, der auf Abwassereintrag von Kernkraftwerken zurückgeführt werden kann, betrug in den Jahren 1978 - 1980 weniger als drei Prozent der Gesamtfracht.

1981 - 1983:

Die H-3-Konzentrationen sanken sowohl im Süßwasser als auch im Brackwasser ab. In den beiden Bereichen sanken die Konzentrationen schneller, als nach dem radioaktiven Zerfall alleine zu schließen wäre (Abb. A 13). Offensichtlich nähern sich die Konzentrationen in den beiden Bereichen an.

Zusammenfassung:

Der H-3-Gehalt der Elbe wird im wesentlichen durch den radioaktiven Fallout bedingt. Der H-3-Gehalt des Süßwasserbereiches ist deutlich höher als der des Brackwasserbereiches. In beiden Bereichen herrscht eine deutlich fallende Tendenz.

Der H-3-Gehalt der Elbe liegt in der Höhe anderer norddeutscher Flüsse. Vergleichsweise liegt der H-3-Gehalt der süddeutschen Flüsse bei dem Dreifachen.

6.2.2 Cs-137

Tab. A 8.1, A 8.2, A 23 und Abb. A 7, A 14, A 19, A 26

1978 - 1980:

Der gelöste Cs-137-Gehalt des Süßwasserbereiches der Elbe (km 475 - 657) liegt mit Zentralwerten von 0,010 - 0,018 und Spannwerten ±3s von 0,002 - 0,075 pCi/l weitgehend einheitlich.

Eine zeitliche Tendenz ist nicht zu erkennen. Dieses wird am Beispiel der Probenahmestelle Schnackenburg in der Abb. A 14 dokumentiert.

Für die Probenahmestelle km 675 an der Grenze des Brackwassers, liegen nur 5 Meßwerte vor. Deshalb bleibt der niedrige Zentralwert (0,008 pCi/l) unberücksichtigt.

Mit zunehmendem Anteil von Nordseewasser steigt der Cs-137-Gehalt an und erreicht bei Neuwerk (km 740) einen Zentralwert von 0,36 pCi/l. Die ±3s-Spannweite an den Stellen mit stark schwankendem Salzgehalt, z.B. bei St. Margarethen (km 689) sind besonders groß. So liegen die Werte mit 99,7 % Wahrscheinlichkeit im Bereich von 0,002 - 0,35 pCi/l.

Die Chloridkonzentration wird wiederum als Indikator für den Einfluß des Meerwassers eingesetzt. Der Korrelationskoeffizient für die Abhängigkeit Cs-137 (gelöst) von Chlorid beträgt R = 0,91 (n = 42), der Zusammenhang ist also hochsignifikant (vergl. Tab. A 41 und Abb. A 23). Zur Berechnung dieser Abhängigkeit wurden alle Meßwerte der Probenahmestellen von St. Margarethen bis Neuwerk (km 689 - 740) eingesetzt.

Eine zeitliche Tendenz läßt sich aus den Meßwerten nicht erkennen, ebenfalls keine stoßweise Belastung durch Einleiter (Abb. A 14 - A 15).

Der Gesamtinhalt der Wasserproben an Cs-137 (gelöster und ungelöster Anteil) wird weiter unten diskutiert.

<u>1981 - 1983:</u>
Die Zentralwerte lagen im Süßwasserbereich ähnlich wie 1978 - 1980. Nur im stark vom Nordseewasser beeinflußten Bereich bei Cuxhaven stieg der Zentralwert von 0,22 auf 0,33 pCi/l an.

Zusammenfassung:
Der Gehalt des gelösten Cs-137 im Süßwasserbereich der Elbe ist weitgehend einheitlich, er liegt in der Größenordnung von Werten von Referenzmeßstellen, die nicht von kerntechnischen Anlagen beeinflußt sind.

Der Cs-137-Gehalt dieses Bereiches (Schnackenburg - Glückstadt) wird im wesentlichen durch den Fallout der Kernwaffenversuche hervorgeruf en.

Der Brackwasserbereich wird deutlich durch Meerwasser mit erhöhtem Cs-137-Gehalt der britischen bzw. französischen Wiederaufbereitungsanlagen beeinflußt. Eine signifikante Korrelation des Cs-137 mit dem Salzgehalt (Cl^-) ist gegeben.

6.2.3 Cs-134

Tab. A 9 und Abb. A 24

Cs-134, ein Aktivierungsprodukt, das mit Abwasser von Kernkraftwerken und Wiederaufbereitungsanlagen in die Gewässer gelangen kann, ließ sich nur im Brackwasserbereich der Unterelbe nachweisen.

1978 -1980:

Bei Einzelmessungen reichte die Nachweisgrenze zur Erfassung des Cs-134 nur in wenigen Fällen aus. In großvolumigen Mischproben des Brackwasserbereiches von der Ostemündung (km 707) bis Neuwerk (km 740) ließ sich in allen Fällen Cs-134 nachweisen.

Der gelöste Cs-134-Gehalt betrug 1/16 - 1/24 des gelösten Cs-137-Gehaltes. Wie bei dem Cs-137 war eine Abhängigkeit vom Salzgehalt (Cl^-) gegeben. Der Korrelationskoeffizient betrug R = 0,89 bei 8 Wertepaaren für die Probenahmestellen Ostemündung bis Neuwerk (1979 - 1980), vergl. Tab. A 41.

Für die Probenahmestelle St. Margarethen (km 689), an der nur an einigen Probenahmetagen ein Brackwassereinfluß vorlag, reichte die Nachweisgrenze nur in einem Fall zur Erfassung von Cs-134 aus. Die Nachweisgrenze der Cs-134-Bestimmung lag bei ca. 0,001 - 0,002 pCi/l je nach eingesetztem Probevolumen. Die Meßwerte stiegen stromabwärts bis zu

0,029 pCi/l bei Neuwerk (km 740). Bei einer am 04.05.1981 durchgeführten Bereisung ließ sich Cs-134 auch in einer Einzelprobe (Volumen 60 l) mit 0,019 pCi/l und einem Cs-134/ Cs-137-Verhältnis von 1 : 29 nachweisen.

Abb. A 43 gibt ein γ-Spektrum einer Cs-134/137-Bestimmung (Ausgangsvolumen 120 l) wieder.

1981 - 1983:

In diesen Jahren ließ sich Cs-134 bei Cuxhaven mit 0,007 - 0,026 pCi in den meisten Einzelproben nachweisen.

Zusammenfassung:

Cs-134 läßt sich mit einer Nachweisgrenze von ca. 0,002 pCi/ l nur im von Nordseewasser beeinflußten Teil der Elbe nachweisen. Es besteht eine signifikante Korrelation zum Salzgehalt.

Das Cs-134 in der Untereibe wird wie das Cs-137 zum wesentlichen Teil aus britischen und französischen Wiederaufbereitungsanlagen stammen. Das mit dem Abwasser kerntechnischer Anlagen in dem Süßwasserbereich der Elbe gelangende Cs-134 ließ sich selbst mit den eingesetzten empfindlichen Analysenverfahren aufgrund der geringen eingeleiteten Mengen nicht nachweisen.

6.2.4 I-131

Tab. A 10.1, A 10.2, Abb. A 17

1978 - 1981:

I-131 ließ sich nur in einigen Fällen, vornehmlich im Süßwasserbereich bis zur Grenze des Brackwasserbereiches nachweisen. Dabei fällt auf, daß die Nachweisgrenzen an der Probenahmestelle Schnackenburg (km 475) am häufigsten überschritten wird (Maximalwert 0,4 pCi/l). Hier liegt eindeutig eine Vorbelastung der Elbe vor.

Eine Angabe der Zentralwerte ist wegen des hohen Anteils der Werte unterhalb der schwankenden Nachweisgrenze problematisch.

In Abb. A 42 ist das g-Spektrum einer I-131-Bestimmung dargestellt.

1981 - 1983:

Im gesamten Süßwasserbereich stieg der I-131-Gehalt mit den Jahren 1981 - 1983 an. Mit wenigen Ausnahmen lagen die Werte oberhalb der Nachweisgrenze von 0,02 pCi/l. Die höchsten Einzelwerte und auch der höchste Zentralwert lagen bei Schnackenburg, so daß eindeutig von einer Vorbelastung gesprochen werden kann (Größenordnung 5 Ci/a).

Die Zentralwerte sinken zum Brackwasserbereich hin ab. Vereinzelt traten auch im Brackwasserbereich, bei St. Margarethen, Werte oberhalb der Nachweisgrenze auf.

Zusammenfassung:
I-131 ließ sich vor 1981 nur in einigen Fällen, ab 1981 aber sehr häufig, im Süßwasserbereich der Elbe nachweisen. Die Maximalwerte erreichten 193 pCi/l. Im allgemeinen liegen die Meßwerte um 0,1 - 0,2 pCi/l.

Ein Einfluß kerntechnischer Anlagen läßt sich nicht erkennen. Er ist auch bei der derzeit niedrigen I-131 Abgabe des Kernkraftwerkes Stade für den Süßwasserbereich nicht zu erwarten. Die Ursache der derzeitigen I-131-Belastung ist in der medizinischen Anwendung dieses Nuklids zu sehen. Sie stellt eine eindeutige Vorbelastung der Elbe dar.

6.2.5 Weitere γ-Strahler

1978 - 1980:
Neben den oben diskutierten Radionukliden wurden im Elbwasser keine weiteren gelösten künstlichen g-Strahler festgestellt.

Am Anfang des Programmes wurden Einzelproben ausgehend von 120 l Wasser nach der MnO_2-Methode γ-spektrometrisch gemessen (Bohrlochdetektoren). Zur Verbesserung der Nachweisgrenze wurden im weiteren Verlauf des Meßprogrammes Mischproben der Meßpräparate hergestellt, die Ausgangsvolumen bis 900 l Wasser entsprachen. Obwohl die Nachweisgrenzen für Co-60 um 0,002 pCi/l, Co-58 um 0,01 pCi/l, Ce-144 um 0,01 pCi/l und Ru-106 um 0,04 pCi/l niedrig lagen, ließen sich diese Nuklide nicht nachweisen.

1980 - 1983:
Tab. A 16

In gelöster Form traten im Mai 1981 als Folge des chinesischen Kernwaffenversuchs vom Oktober 1980 an den meisten Probenahmestellen die kurzlebigen Radionuklide Zr-95, Nb-95 und Ce-141, an einigen noch zusätzlich das Ce-144 auf. Weitere, nach Kenntnis der Aktivitätskonzentrationen des Fallouts erwartete Radionuklide wie Ru-103 und Ru-106, ließen sich nicht nachweisen. Ab November 1981 waren die Aktivitäten dieser kurzlebigen Nuklide im Fallout und im Gewässer weitgehend abgeklungen.

Bei Cuxhaven ließ sich vereinzelt das Sb-125 nachweisen, das wahrscheinlich seinen Ursprung in den brit./franz. Wiederaufbereitungsanlagen hat. Die hier diskutierten Radionuklide sind, zumal sie nur über eine kurze Zeitspanne auftraten, aus dem Blickwinkel des Strahlenschutzes unbedeutend.

6.2.6 Sr-90

Tab. A 11.1, A 11.2, A 24 und Abb. A 8, A 16

1978 - 1980:
Die Zentralwerte des Sr-90-Gehaltes liegen im Süß- und Brackwasserbereich weitgehend einheitlich, wobei die Spannweite ±3s im Bereich 0,05 - 2,9 pCi/l liegt. Die gemessenen Maximalwerte reichen bis 1,20 pCi/l an der Stelle St. Margarethen

(km 689). Eine zeitliche Tendenz läßt sich nicht erkennen. Eine Korrelation zum Salzgehalt, wie bei dem Cs-137, besteht für den Brackwasserbereich nicht. Da Sr-90 sich nur vergleichsweise gering an die ungelösten Stoffe anlagert, erfolgt hier nur die Angabe des gelösten Anteils.

1981 - 1983:
Die Zentralwerte im Süß- und Brackwasserbereich und die Spannweiten lagen ähnlich wie 1978 -1980. Im stark vom Meerwasser beeinflußten Bereich bei Cuxhaven wurden deutlich höhere Werte gefunden, die wahrscheinlich auf die britischen und französischen Wiederaufbereitungsanlagen zurückzuführen sind.

Zusammenfassung:
Die Elbe ist in ihrem gesamten Bereich ähnlich wie andere deutsche Flüsse (vergl. Tab. 8) im wesentlichen durch den Fallout älterer und neuerer Kernwaffenversuche belastet. Einleitungen kerntechnischer Anlagen lassen sich bei den Schwankungen dieses hohen Fallout-Anteils nicht erkennen, da die Aufstockung zu gering ist.

6.2.7 K-40 (pCi/l)
Tab. A 2.1, A 2.2 und A 17, Abb. A 18 - A 19
Da der Anteil des K-40 an inaktivem Kalium festliegt, kann über den Umrechnungsfaktor 1 mg K = 0,77 pCi /17/auf die vorliegende K-40-Aktivität geschlossen werden. Die Zentralwerte des gelösten K-40-Gehaltes betragen 1978 - 1980 8,6 - 10,2 pCi/l für den Süßwasserbereich, sie steigen bis 206 pCi/l bei Neuwerk im Brackwasserbereich an (1980 - 1983: 10 - 12 pCi/l ini Süßwasser, 140 pCi/l in Cuxhaven).

Noch geringer als der K-40-Gehalt des Süßwasserbereiches der Elbe sind mit 4,5 bzw. 6,9 pCi/l die Gehalte der Nebenflüsse Jeetzel und Oste. Die Korrelation des inaktiven Kaliums bzw. K-40 mit dem Chlorid ist im Süßwasserbereich der Elbe gering, im Brackwasserbereich der Elbe dagegen deutlich.

6.2.8 Ra-226 (pCi/l)

Ra-226 wurde im Rahmen dieses Meßprogrammes für Wasser nicht bestimmt. Messungen von nach dem Eindampfverfahren gewonnenen Proben anderer Meßprogramme des NLW ergaben Werte von <1 pCi/l.

Messungen von Feldt /14/ ergaben Ra-226-Konzentrationen von 0,03 - 0,22 pCi/l im unfiltrierten Elbwasser.

6.3 An Schwebstoffe angelagerte Radionuklide

6.3.1 Cs-137

6.3.1.1 Cs-137 in Schwebstoffen (pCi/g) Trockensubstanz

Tab. A 12.1, A 12.2, A 25 und Abb. A 9, A 25

1978 - 1980:

Die Zentralwerte sind für den gesamten Elbebereich von Schnackenburg bis Cuxhaven weitgehend einheitlich. Sie liegen zwischen 0,28 - 0,60 pCi/g Trockensubstanz. Für die Probenahmestelle Neuwerk (km 740) liegen nur 5 Meßwerte vor. Hier, an der am stärksten vom Meerwasser beeinflußten Probenahmestelle, wird mit 0,21 pCi/g T.S. der niedrigste Zentralwert gefunden. Cs-137 ließ sich praktisch in allen Schwebstoffproben nachweisen. Ein Zusammenhang des Cs-137-Gehaltes mit dem Salzgehalt (Cl^- oder K^+) ließ sich im untersuchten Brackwassergebiet St. Margarethen bis Cuxhaven nicht erkennen. Der Korrelationskoeffizient für die Abhängigkeit des Cs-137-Gehaltes der Schwebstoffe betrug nur R = 0,17 bei n = 44 (vergl. Abb. A 25).

Für Neuwerk, die am stärksten Meerwasserbeeinflußte Probenahmestelle, liegen zu wenig Meßwerte vor, um eine signifikante Aussage treffen zu können.

1981 - 1983:
Die Zentralwerte sanken im Süßwasserbereich im Betrachtungszeitraum auf Werte um 0,3 pCi/g ab. Die Zentralwerte im Brackwasserbereich blieben praktisch unverändert (0,64 - 0,66 pCi/g).

Zusammenfassung:
Der Cs-137-Gehalt der Schwebstoffe ist im gesamten Süßwasser- und Brackwasserbereich weitgehend einheitlich. Das Cs-137 der Schwebstoffe des Süßwasserbereiches der Elbe stammt zum wesentlichen Teil aus dem Fallout der Kernwaffenversuche, über die Herkunft des Cs-137 der Schwebstoffe des Brackwasserbereiches können anhand der Meßergebnisse keine Aussagen getroffen werden (keine Korrelation mit dem Chloridgehalt, keine bzw. nur seltene Nachweismöglichkeit für das Cs-134 wegen zu geringer Schwebstoffmenge). Da jedoch der Schluß zulässig ist, daß der gelöste und der ungelöste Anteil des Cs-137-Gehaltes der Wasserprobe gleichen Ursprungs ist, wird auch der Cs-137-Gehalt der Schwebstoffe im Brackwasserbereich der Unterelbe vornehmlich aus britischen und französischen Wiederaufbereitungsanlagen stammen. Der Cs-137-Gehalt der Schwebstoffe im limnischen Bereich der Elbe liegt in der gleichen Höhe wie der anderer deutscher Gewässer.

6.3.1.2 Cs-137 im Wasser, ungelöster Anteil (pCi/l)
Tab. A 13.1, A 13.2, A 26 und Abb. A 10, A 26

Wird der Cs-137-Gehalt der Schwebstoffe statt auf die Trockensubstanz auf das eingesetzte Wasservolumen bezogen, so erhält man die Aktivitätskonzentration in pCi/l. Die Zentralwerte liegen im gesamten untersuchten Elbebereich weitgehend einheitlich zwischen 0,006 - 0,016 pCi/l; ein erhöhter Wert tritt mit 0,030 pCi/l in der Höhe der Ostemündung auf (km 689), an einer Stelle mit überdurchschnittlich hohem Gehalt an ungelösten Stoffen. Als sogenannte Übergangsfaktoren des gelösten Cs-137 in die ungelösten Stoffe wurden für die Elbe die Faktoren der Tab. A 32 ermittelt. Dabei wurden die Zentralwerte der Tabellen A 8 und A 25 zugrundegelegt.

Eine Zunahme des Cs-137 im Brackwasserbereich führt demnach nicht zu einer verstärkten Anreicherung des Cs-137 an den Schwebstoffen. Die hohe Salzkonzentration vermindert die Fähigkeit der Schwebstoffe, Ionen wie das gelöste Cs-137 zu absorbieren.

6.3.1.3 Cs-137, Verhältnis ungelöster/gelöster Anteil

Tab. A 15, A 27 und Abb. A 11

Das Verhältnis des ungelösten zum gelösten Cs-137-Anteil liegt bei Zentralwerten von 0,50 - 1,0 im Süßwasserbereich der Elbe von Schnackenburg (km 475) bis Stade (km 657), ca. 30 - 50 % des Cs-137 liegen hier gebunden an Schwebstoffen vor. Eine Erhöhung des Cs-137-Anteils in den ungelösten Stoffen finden wir an den Probenahmestellen am Übergang zum Brackwasser (km 675 und 689), während im Brackwasser selbst das Verhältnis sich stark zu dem gelösten Cs-137-Anteil hin verschiebt. So beträgt schließlich bei Neuwerk (km 740) der Zentralwert des Verhältnisses ungelöster/gelöster Cs-137-Anteil nur noch 0,03; d.h. es liegen nur noch 3 % des Gesamt-Cs-137-Gehaltes gebunden an Schwebstoffe vor.

6.3.2 Weitere γ-Strahler in Schwebstoffen (Cs-134, Co-60, etc.)

Tab. A 29.1 und A 29.2

In den Schwebstoffen ließen sich nur im Mai und im August 1981 neben dem Cs-137 kurzlebige Radionuklide, verursacht durch den chinesischen Kernwaffenversuch im Herbst 1980 nachweisen. Es wurden neben den Radionukliden Zr-95 und Nb-95 vereinzelt Ce-144, Ce-141, Ru-103 und Sb-125 gefunden. Ähnliche Konzentrationen dieser Nuklide des Fallouts wurden vom NLW zur gleichen Zeit in anderen norddeutschen Flüssen nachgewiesen. In Abb. A 44, dem γ-Spektrum einer Probe vom 05.05.1981, treten die künstlichen Radionuklide Ce-144, Zr-/Nb-95 und Cs-137 deutlich hervor.

In seltenen Fällen ließ sich das nicht aus dem Fallout stammende Nuklid Co-60 nachweisen.

Der Gehalt an natürlichen Radionukliden wie z.B. Be-7, K-40 und Pb-214 lag um eine bis mehrere Größenordnungen über denen der künstlichen Radionuklide.

6.4 Summe des gelösten und ungelösten Anteils

6.4.1 Cs-137

Tab. A 14.1, A 14.2, A 28 und Abb. A 12

1978 - 1980:

Die Zentralwerte des Gesamtgehaltes des Cs-137 der Wasserproben bewegen sich im Süßwasserbereich der Elbe im Bereich 0,019 - 0,027 pCi/l. Im Brackwasserbereich steigen die Werte seewärts bis auf 0,39 pCi/l bei Neuwerk an.

Die Zentralwerte des gesamten und des gelösten Cs-137 unterscheiden sich in dem Brackwasserbereich unterhalb der Ostemündung nur geringfügig.

Hier liegt der weitaus größte Teil des Cs-137 in gelöster Form vor. Im schwebstoffreichen Tidebereich ist jedoch der Anteil des pro Liter an die Schwebstoffe gebundenen Cs-137 wesentlich höher. Demnach beeinflußt der jeweilige, im Tidebereich stark vom Zeitpunkt der Probenahme abhängende Schwebstoffgehalt maßgebend die Meßergebnisse des Cs-137-Gesamtgehaltes.

Legt man den mittleren Abfluß von 712 m^2/s (MQ) beim Pegel Neu-Darchau zugrunde, so wurden pro Jahr, ohne Berücksich-

tigung der Einleitungen der Kernkraftwerke Stade und Brunsbüttel, ca. 0,6 Ci in die Nordsee verfrachtet (Eintrag durch die beiden Kernkraftwerke siehe Tabellen 5.1 und 5.2).

Eine ergänzend zu diesem Meßprogramm durchgeführte Untersuchung des Elbwassers zeigte, daß nach dem Verfahren der Probeneindampfung (je 50 l) mit Nachweisgrenzen von 0,02 - 0,04 pCi/l nur in wenigen Fällen eine sichere Identifizierung des Cs-137-Gehaltes der Gesamtprobe ermöglicht wird (Tab. A 33).

6.4.2 Übrige γ-Strahler

Da in den Schwebstoffen in den Jahren 1978 - 1980 außer Cs-137 keine künstlichen Radionuklide gefunden wurden, wird für die anderen Nuklide keine Summe von gelöstem und ungelöstem Anteil angegeben. Auch die Meßergebnisse der nach dem Eindampfverfahren bearbeiteten Proben (Tab. A 33) bestätigen, daß der Gehalt des Elbewassers an γ-Strahlern außer Cs-137 und u. U. I-131 sehr gering ist.

6.4.3 Gesamt- und Rest-ß-Aktivität

Im NLW wurden außerhalb dieses Programmes Wasserproben der Probenahmestellen Schnackenburg (km 475), Stade (km 657) und Cuxhaven (km 724) auf ihre Rest-ß-Aktivität untersucht.

Die im Zeitraum Januar 1980 bis Dezember 1983 ermittelten Rest-ß-Konzentrationen der Monatsmischproben lagen unterhalb der Nachweisgrenze von 5 pCi/l im Falle der Probenahmestellen Stade und Schnackenburg bzw. unter 15 pCi/l im Falle der Probenahmestelle Cuxhaven (Brackwasserbereich).

Die Gesamt-ß-Aktivität der gemessenen Proben war auf deren Kaliumgehalt (K-40) zurückzuführen. Die mittleren K-40-Aktivitätskonzentrationen betrugen ca. :

Probenentnahmestelle Schnackenburg	8 pCi/l
Probenentnahmestelle Stade	7 pci/l
Probenentnahmestelle Cuxhaven	108 pci/l

An der Probenentnahmestelle Geesthacht (km 585,9) werden regelmäßig die Gesamt-ß- und Rest-ß-Aktivitätskonzentrationen überwacht /45/.

Als mittlere Jahreswerte der Gesamt-ß-Konzentrationen wurden Werte zwischen 10 und 30 pCi/l ermittelt. Die jährlichen Mittelwerte der Rest-ß-Konzentrationen bewegten sich zwischen 5 pCi/l und 11 pCi/l. Berücksichtigt man den Meßfehler der Rest-ß-Messung, der in der Größenordnung der Nachweisgrenze liegt, so wird deutlich, daß die hier gemessene ß-Aktivitätskonzentration ebenso wie bei den anderen 3 Probenahmestellen in Schnackenburg, Stade und Cuxhaven weitestgehend vom Kaliumgehalt des Wassers hervorgerufen wird.

6.5 Sedimente

Tab. A 34 - A 38, Abb. A 29 - A 41

Die Aktivitätskonzentrationen beziehen sich auf die Trockensubstanz der Gesamtprobe. Es wurden Proben mit möglichst hohem feinkörnigen Anteil ausgesucht. Da jedoch die Sedimente des untersuchten Elbebereiches meist einen wesentlich höheren Sandanteil mit geringer Nuklidanreicherung haben, wird der mittlere Aktivitätsgehalt der jeweiligen Flußabschnitte deutlich niedriger liegen.

Zwei Spektren (Abb. A 40 und A 41) dienen als Beispiel der γ-spektrometrischen Bestimmungsmethode. Die Spitzen (Peaks) weisen auf die γ-strahlenden Nuklide hin, deren Gehalt über Kalibrierkurven unter Berücksichtigung der Halbwertszeit und der Zerfallswahrscheinlichkeit berechnet wird.

6.5.1 Cs-137

Nach ihrem Cs-137-Gehalt lassen sich die Sedimente der Elbe in 5 Gruppen aufteilen (vergl. Tab. A 39):

1. Süßwasser

1.1 Tidefreier Bereich, Schnackenburg-Geesthacht

Cs-137 läßt sich als einziges der γ-strahlenden Spalt- oder Aktivierungsprodukte im gesamten untersuchten Bereich der Elbe praktisch immer nachweisen. Im tidefreien Bereich betrug der Zentralwert für die Jahre 1978 - 1983 200 pCi/kg TS.

Der Übergangsfaktor K_d Sediment/Wasser (gelöster Anteil) betrug im Mittel ca. 14000. Er liegt damit im Mittel wie im Rhein bei Koblenz /34/. Die große Streuung der Einzelwerte der Übergangsfaktoren von 2700 bis 73000 läßt sich durch den unterschiedlichen Feinkornanteil der Sedimentproben erklären. Vergleichsweise hohe Cs-137-Konzentrationen treten immer dann auf, wenn auch hohe Gehalte an natürlichen Radionukliden wie Ra-226, Pb-214, Ac-228, Tl-208 und, mit Einschränkungen, K-40 gefunden werden.

Die recht gute Korrelation des Cs-137-Gehaltes (vergl. Tab. A 29 - A 31) mit den untersuchten natürlichen Radionukliden, läßt darauf schließen, daß Cs-137 an die Feinfraktionen der Sedimente (Ton, Schluff), die im verstärktem Maße auch die natürlichen Radionuklide enthalten, gebunden ist. Die Ergebnisse einer Untersuchung zur Abhängigkeit des Cs-137 von der Korngrößenverteilung bestätigt diese Annahme.

Der mittlere Übergangsfaktor liegt hier wie auch in den anderen untersuchten Elbebereichen ca. um den Faktor 2 - 3 niedriger als der für das Verhältnis Schwebstoffe/Wasser ermittelte Faktor K_d (vergl. Tab. A 32). Dieses läßt sich aus dem gegenüber den Schwebstoffen erhöhten aktivitätsarmen, grobkörnigen Anteil der Sedimente erklären.

Die Abhängigkeit des Cs-137 vom Gehalt der Probe an organischem Material (Bestimmung über den Glühverlust) wird z.Zt. am hier diskutierten Probenmaterial näher untersucht.

1.2 Tidebereich Hamburg

Wahrscheinlich durch erhöhten Feinkornanteil der Sedimente bedingt, liegt der Zentralwert mit 380 pCi/kg T.S. fast doppelt so hoch wie im tidefreien Bereich. Hohe Cs-137-Gehalte werden nur gemeinsam mit hohen Gehalten natürlicher Radionuklide gefunden.

Der Übergangsfaktor Sediment-Wasser betrug im Mittel 25000. Er liegt höher als im tidefreien Bereich der Elbe. Dieses läßt sich durch höheren Feinkornanteil der Proben aus diesem Bereich erklären.

1.3 Tidebereich Stade

Wahrscheinlich durch vergleichsweise hohen Sandanteil der Sedimente bedingt, lag der Zentralwert der Jahre 1977 - 1983 mit 86 pCi/kg T.S. ausgesprochen niedrig (die Spannweite ±1s betrug 47 - 147 pCi/kg T.S.). Der Übergangsfaktor Sediment-Wasser lag im Mittel bei 6000, also deutlich niedriger als im stromaufwärts gelegenen Bereich. Dieses ist ein weiterer Hinweis auf die geringe Aufnahmefähigkeit der Sedimente im Bereich Stade für gelöste Radionuklide. Eine Anreicherung des mit dem Abwasser des Kernkraftwerkes Stade eingeleiteten Cs-137 läßt sich nicht erkennen.

2. Brackwasserzone

2.1 Bereich Brunsbüttel

Der Zentralwert der Sedimente steigt in diesem Flußbereich gegenüber dem Bereich Stade deutlich an (290 pCi/kg T.S.).

Durch den Einfluß des Nordseewassers bedingt, werden hier stark schwankende Cs-137-K.onzentrationen im Wasser gefunden, die ebenfalls zu Meßwerten führen, die im Vergleich zum Bereich Stade erhöht sind. Der Übergangsfaktor in diesem Bereich mit stark schwankendem Süß- und Meerwassereinfluß beträgt im Mittel ebenfalls 6000 (Bereich 1400 - 9800).

2.2 Bereich Cuxhaven

Trotz der um mehr als das Zehnfache im Vergleich zum Süßwasserbereich höheren Cs-137-Konzentration im Wasser unterscheiden sich die Zentralwerte der Sedimente des Brackwassers nur wenig von denen des Süßwassers. Für die Jahre 1980 - 1983 betrug der Zentralwert 280 pCi/kg T.S. Eine steigende oder fallende Tendenz läßt sich nicht erkennen. Die Zentralwerte der verschiedenen untersuchten Elbebereiche sind in Abb. A 37 zusammengestellt. Wie auch bei der Untersuchung der Schwebstoffe, wirkt der hohe Salzgehalt (K^+) der Anreicherung des Cs-137 in den Sedimenten entgegen. Der Übergangsfaktor K_d beträgt im Mittel nur 1000 (Bereich der Werte 500 - 1400).

In der Tabelle A 38 ist die Anhängigkeit der Anreicherung des Cs-137 in den Fraktionen unterschiedlicher Korngrößen dargestellt. Sie wurden nur für eine einzige Probe ermittelt. Die Probe bestand zu 86,6 % aus dem Fraktionsanteil >0,063 mm Durchmesser mit geringem Cs-137-Gehalt. Ebenso wie die natürlichen Radionuklide Ac-228, Pb-214 (als Tochter des Ra-226) und TI-208 steigt der Cs-137 in den Feinfraktionen (<0,063 mm) um mehr als den Faktor 10 an. Der Zusammenhang Korngröße/Radionuklidgehalt ist offensichtlich. Noch durchzuführende Untersuchungen sollen helfen, den Zusammenhang Korngrößenverteilung/Cs-137-Gehalt/natürlicher Radionuklidgehalt für den Elbebereich weiter aufzuhellen.

Da das Feuchtgewicht der Sedimente in diesem Meßprogramm nicht bestimmt wurde, kann die Aktivität/m^2 Gewässerboden

nur abgeschätzt werden. Bei einem Wassergehalt der Sedimente von 30 % und einer Aktivitätskonzentration von 300 pCi/kg T.S. sind in den obersten 10 cm des Sedimentes 20.000 pCi/m^2 enthalten.

6.5.2 Cs-134

Cs-134 ließ sich in der Mehrzahl der Sedimentproben des Brackwasserbereiches nachweisen. Die Untersuchungen des Wassers zeigen, daß das Cs-134 überwiegend mit dem Nordseewasser in das Elbeästuar gebracht wird. Das Verhältnis der mittleren Cs-137/Cs-134-Konzentration der Sedimente der Elbe in diesem Bereich entspricht ungefähr dem für die gelösten Nuklide gefundenen Verhältnis.

Die Werte des Süßwasserbereiches lagen unterhalb der Nachweisgrenze; das mit dem Abwasser des KKS abgegebene Cs-134 führt zu keiner meßbaren Anreicherung in den Elbesedimenten.

6.5.3 Weitere künstliche Radionuklide

Im Süßwasserbereich der Elbe ließen sich die relativ langlebigen Radionuklide des Fallouts (Ru-106, Sb-125, Ce-144) nur vereinzelt, besonders in den Jahren 1980 - 1981, nachweisen.

Die gleichen Radionuklide, aber zusätzlich noch Co-60 und Cs-134 werden verstärkt ab 1982 im Brackwasserbereich, besonders bei Cuxhaven, nachgewiesen. Diese Nuklide zeigen untereinander eine recht gute Korrelation (Abb. A 35 - A 38).

Zumindest bei Co-60 und Cs-134 steht fest, daß sie von den britischen/französischen Wiederaufbereitungsanlagen herrühren.

Der Beitrag, den diese Spalt- und Aktivierungsprodukte zur Strahlenbelastung bei dem Aufenthalt auf den Sedimenten leisten, ist minimal.

Die gefundenen Meßwerte liegen deutlich unter den Nachweisgrenzen, die für die Überwachung kerntechnischer Anlagen für erforderlich gehalten werden.

Kurzlebige Radionuklide des Fallouts wie Ru-103 und Zr/Nb-95 wurden nicht erfaßt. Sie lagen unterhalb der Nachweisgrenze.

Der ß-Strahler Sr-90 wurde im Zuge dieses Meßprogrammes nicht bestimmt, da die Anreicherung des Sr-90 in Gewässersedimenten bekannterweise gering ist (die Gehalte werden, abgeschätzt, bei ca. 30 pCi/kg Trockensubstanz liegen; Meßwerte von Feldt /14/ für den Bereich Elbe km 650 - 693 lagen im Mittel bei 12 - 21 pCi/kg T.S.)

Da das Sr-90 nur ein ß-Strahler ist, trägt es nicht zur Strahlenbelastung bei Aufenthalt auf den Gewässersedimenten bei.

6.5.4 Natürliche γ-Strahler

Tab. A37

Durch Radionuklide der Uran-238- und Thorium-232-Zerfallsreihen und K-40 wurden die Spektren der Sedimentproben sehr linienreich, so daß künstliche Radionuklide wie Cs-137 nur mit Mühe nachzuweisen waren. Ein typisches Sedimentspektrum ist in Abb. A 40 wiedergegeben. Die Höhe der Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide Ra-226, Pb-214, Bi-214, Ac-228, Tl-208 und K-40 entsprach denen anderer Gewässer und zeigt keinen anthropogenen Einfluß.

Die Aktivitätskonzentrationen von Ra-226 und seiner ebenfalls radioaktiven Zerfallsprodukte (z.B. Pb-214, Bi-214), sowie von Ac-228, Tl-208 und in geringerem Maße von K-40 sind offensichtlich maßgebend von der Korngrößenverteilung abhängig. Das erklärt die großen Schwankungen, die sich bei der Untersuchung der Gesamtproben ergaben. Die Korrelation von einzelnen natürlichen Radionukliden wurde untersucht (vergl. A 32 - A 33).

In den Ergebnistabellen werden Konzentrationswerte für das Ra-226 und dessen Tochternuklid Pb-214 angegeben. Bei den Auswertungen wurden bei der Ra-226-Bestimmung mögliche Störungen durch andere natürliche Radionuklide (U-235) nicht berücksichtigt; die angegebenen Ra-226-Werte sind damit sicherlich etwas überschätzt. Dennoch werden, um Vergleiche mit nach gleichem Verfahren gemessenen Werten zu ermöglichen, diese Werte angegeben. Genauere Werte für das Ra-226 sollte die Bestimmung des Pb-214, eines Tochternuklids des Ra-226, liefern. Allerdings ist nicht gewährleistet, daß sich das Gleichgewicht Ra-226/Pb-214 wirklich eingestellt hat. Die Pb-214-Gehalte entsprechen dem Ra-226, sind aber als leicht unterschätzt anzusehen. Die beiden Auswerteverfahren korrelieren gut (Abb. A 34).

6.5.5 Zusammenfassung (Sedimentbelastung)

Von langlebigen künstlichen γ-strahlenden Radionukliden ließ sich regelmäßig das Cs-137 in den Sedimenten nachweisen. Co-60, Cs-134, Ce-144, Ru-106 und Sb-125 traten nur vereinzelt in meßbaren Konzentrationen auf.

Offensichtlich wird der Süßwasserbereich der Elbe im wesentlichen durch die Radionuklide des Fallouts belastet. Typische Radionuklide, die eine Belastung durch kerntechnische Anlagen aufzeigen (Cs-134 und Co-60) werden im Süßwasserbereich nur selten gefunden.

Die Cs-137-Konzentrationen des Brackwasserbereiches, einhergehend mit einer leichten Co-60-, Ru-106-, Sb-125- und Cs-134-Kontamination, werden im wesentlichen durch die Abwassereinleitung der britischen und französischen Wiederaufbereitungsanlagen verursacht.

6.6 Fische (Brassen)

Tab. A 39, A 40

Brassen kommen nur im Süßwasser vor. Deshalb wurden die Proben nur im Bereich km 479 - 667 genommen. Überall lagen

im Mittel ähnliche Ca^{2+} , K^{+} sowie Sr-90- und Cs-137-Gehalte im Wasser vor.

6.6.1 Cs-137

Die Werte des Fischfleisches liegen für die Jahre 1979-1983 zwischen 2 und 9,4 pCi/kg. Der Mittelwert lag im unteren Bereich der von verschiedenen Autoren für Fische diskutierten Werte /13/.

Die Anreicherungsfaktoren sind in der Tabelle A 40 aufgeführt. Sie liegen deutlich niedriger als der Wert der Berechnungsgrundlagen des BMI /13/ (d.h. 1000) und entsprechen den Angaben von Feldt /14/.

6.6.2 Weitere γ-Strahler

Trotz Einsatz äußerst empfindlicher Meßverfahren, Probenmengen bis 4 kg und langer Meßzeiten (z.B. 4000 min auf Anticompton-System s.o.), ließen sich keine weiteren künstlichen Radionuklide (z.B. Co-60, Cs-134) nachweisen.

6.6.3 Sr-90 in Fischfleisch

Die Konzentrationen im Fischfleisch lagen zwischen 0,8 und 5 pCi/kg Fleisch. Der Mittelwert betrug 2,2 pCi/kg. Wird für den gesamten untersuchten Elbebereich eine mittlere Sr-90-Konzentration von 0,4 pCi/l zugrundegelegt, so erhält man einen mittleren Anreicherungsfaktor Fischfleisch/Wasser von ca. 7. Der Wert liegt ebenfalls deutlich unter dem Wert der Berechnungsgrundlagen des BMI /13/.

6.6.4 Sr-90 in Gräten

Sr-90 reichert sich bevorzugt in den Gräten der Fische an. Die angegebenen Meßwerte gelten für Grätenasche. Die Meßwerte machen deutlich, wie wichtig eine möglichst vollständige Trennung von Fleisch und Gräten bei der Aufbereitung der Probe sind. Die Sr-90-Bestimmung in Gräten braucht kein Bestandteil eines Routinemeßprogrammes zu sein.

7. Zusammenfassung

Die Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe der Länder Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein (ARGE ELBE) hat in den Jahren 1978 bis 1983 ein Schwerpunktmeßprogramm zur Erfassung der Belastung der Elbe mit radioaktiven Stoffen durchgeführt. Das Untersuchungsgebiet erstreckte sich auf den gesamten zur Bundesrepublik Deutschland gehörenden Elbabschnitt von Schnackenburg bis zur Nordsee. Untersucht wurden jeweils das Wasser, die Schwebstoffe, die Sedimente und Elbfische (vor allem Elbbrassen) auf alle derzeit relevanten künstlichen Radionuklide.

Bisher wurden im Bereich der Elbe behördliche Überwachungs-Meßprograinme im Einflußbereich von kerntechnischen Anlagen und Untersuchungen im Rahmen von Forschungsprogrammen, z.B. durch das Isotopenlaboratorium der Bundesforschungsanstalt für Fischerei in Hamburg durchgeführt. Diese Untersuchungsprogramme erstrecken sich in der Regel auf ausgewählte Elbabschnitte. Diese bereits vorliegenden Untersuchungsergebnisse und Vergleichsdaten von anderen deutschen Gewässern wurden für die Bewertung der Situation an der Elbe mit zugrunde gelegt. Das Schwerpunkt-Meßprogramm der ARGE ELBE stellt somit eine Ergänzung zu den bisherigen Untersuchungen dar, wobei erstmalig nach einheitlichen Kriterien der gesamte zur Bundesrepublik gehörende Elbabschnitt untersucht wurde.

Die Analysen wurden im radiochemischen Labor des Niedersächsischen Landesamtes für Wasserwirtschaft in Hildesheim durchgeführt. Um die zum Teil sehr niedrigen Aktivitätskonzentrationen meßtechnisch erfassen zu können, wurden im Rahmen dieses Programmes Methoden der Probenvorbereitung und der Analytik mit höchster Nachweisgenauigkeit erarbeitet und eingesetzt. Die angewendeten Methoden von der Probenahme bis zur Auswertung sind in diesem Bericht ausführlich dargestellt.

Zusammenfassend haben die fünfjährigen systematischen Untersuchungen folgendes ergeben:

- Der derzeit mengenmäßig bedeutendste Eintrag künstlicher Radionuklide erfolgt immer noch durch den Fallout der teils Jahrzehnte zurückliegenden oberirdischen Kernwaffenversuche. Dementsprechend ist die Vorbelastung der Elbe bei Schnackenburg hauptsächlich durch die Radionuklide des Fallouts, vor allem durch Tritium (H-3), Strontium-90 (Sr-90) und Caesium-137 (Cs-137) geprägt.

- Die Elbe weist bei Schnackenburg eine Vorbelastung mit Jod-131 (I-131) aus der medizinischen Anwendung auf.

- Im Längsprofil der Elbe von Schnackenburg bis zur Elbmündung wurden im Rahmen der systematischen Untersuchungen keine meßbaren Aufstockungen festgestellt, die auf regionale Einträge künstlicher Radionuklide hinweisen. Dies gilt auch für die an der Elbe gelegenen Kernkraftwerke. Der aus der Emissionsmessung genau bekannte Eintrag künstlicher Radionuklide mit dem Abwasser aus den Kernkraftwerken Stade und Brunsbüttel ist so gering, daß er zu keiner meßbaren Aufstockung in der Elbe führt. Dies wird auch durch die theoretische Berechnung der Aufstockung bestätigt.

- Im limnischen Bereich der Elbe wurden für die untersuchten Medien Wasser, Schwebstoffe, Sedimente und Fische Radioaktivitätsgehalte festgestellt, die in gleicher Höhe liegen wie bei deutschen Fließgewässern, die nicht von kerntechnischen Anlagen beeinflußt sind.

- In der Brackwasserzone der Elbe von Glückstadt bis Scharhörn wurde ein Anstieg der Caesium-137-Konzentrationen im unfiltrierten Elbwasser um den Faktor rd. 10 festgestellt. Dieser Anstieg des Caesiums-137-Gehaltes ist eindeutig auf die Einmischung des durch den Einfluß der britischen und französischen Wiederaufbereitungsanlagen im Vergleich zum Elbwasser deutlich höher belasteten Nordseewassers zurückzuführen. Die Caesium-137-Gehalte sind jeweils streng mit

dem Chloridgehalt korreliert. Der Chloridgehalt dient dabei als Leitparameter zur Abschätzung des eingemischten Nordseeanteiles. Der Caesium-137-Eintrag aus der Nordsee in die Brackwasserzone der Elbe ist auch durch unabhängig durchgeführte Untersuchungen des Isotopenlaboratoriums der Bundesforschungsanstalt für Fischerei 1981 (Lit. 14) nachgewiesen.

Die Radioaktivitätsbeiastung der Elbe wird - aufbauend auf den im Rahmen dieses Schwerpunkt-Meßprogrammes gewonnenen Erkenntnissen - künftig im Rahmen des Standard-Meßprogrammes der ARGE ELBE überwacht.

8. Literaturverzeichnis

1 Ettenhuber, E., Röhnsch, W.
IAEA - SM, - 198/15, S. 473

2 Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung
Jahresberichte des Bundesministers des Innern, Bände 1969 - 1980

3 Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Hildesheim
z.T. unveröffentlicht, Stand der Auswertung 01.01.1984

4 Haberer, K.
Radionuklide im Wasser
Verlag Karl Thiemig, München 1969

5 Deutscher Wetterdienst, Offenbach
persönliche Mitteilung

6 Klechovsky, V. M., Polikarpov, G. G. u. Aleksakhin, R. M.
Radioecology
Verlag John Wiley and sons, New York
ISBN 0 - 470 - 49035 - 7

7 Kolb
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
persönliche Mitteilung

8 Aurand, K.
zitiert in 4, S. 195

9 Harley, J.
HASL - Procedures Manual, Health and Safety Laboratory, New York 1976
Loseblattsammlung

10 Zum Winkel, K.
Nukearmedizin
Springer Verlag Berlin, Heidelberg 1975

11 Koelzer, W.
Kernenergie, Begriffe, Hinweise, Tabellen
Karlsruhe, Gesellschaft für Kernforschung mbH

12 IAEA
Behaviour of Tritium in the Environment
IAEA, STI/PUB 498
Wien 1979
ISBN 92 - 0 -020079 - 6

13 Allgemeine Berechnungsgrundlagen für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer
GMBL. 30, Nr. 21, S. 371 -346, 15.08.1979

14 Feldt, W., Kellermann, H. J., Kanisch, G., Lauer, R., Melzer, M., Nagel, G., Brinkmeier, G.
Radioökologische Studien an der Elbe
Berichte aus dem Isotopenlaboratorium der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg, Heft 2 ISSN 0720 - 6046

15 Städe, W.
Anforderung an die bei der von Gewässern anzuwendenden Meßverfahren aus der Sicht einer Landesmeßstelle.
4. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität, März 1981 veranstaltet vom Bundesgesundheitsamt.

16 Mundschenk,H.
Eine Schnellmethode zur quantitativen Bestimmung von J-131 in Flußwasser
DGM 15 (S. 105 - 113) 1972

17 BMI (Hrsg.)
Meßanleitung für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt
Herausg. Leitstellen für die Überwachung der Umweltradioaktivität im Auftrage des Bundesminister des Innern, Nov. 83

18 Fukai, R., Statham, G., Asari, K.
A rapid method for Strontium-90 Analysis by HDEHP - Solvent Extraction
XXIVe Congres - Assemblée pléniére de Monaco (CIESM), 1974.

19 Guegueniat, P., Gandon, R., Lucas, Y.
Determination of radionuclides of Ce, Co, Fe, Ru, Zn, and Zr in seawater by preconcentration of colloidal manganese dioxide
IAE Reference methods of marine radioactivity studies II, 1975 p. 137 - 145
Technical reports series no. 169

20 Sachs, L.
Angewandte Statistik
Springer Verlag Berlin, Heidelberg
4. Auflage

21 Aurand, K. et al.
Die natürliche Strahlenexposition des Menschen
Georg Thieme Verlag, Stuttgart

22 Bundesanstalt für Gewässerkunde
Analysen und Meßanleitungen zur Bestimmung der Radioaktivität in Oberflächengewässer-, Schwebstoff- und Sedimentproben
Koblenz, Oktober 1980

23 Brüssermann, K.
Zur Sedimentation in Fließgewässern
Manuskript Vortrag in "Radioökologie und Strahlenschutz", Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin e.V.
Berlin 1981

24 Lucht, F.
Hydrographie des Elbe-Aestuars
Arch. Hydrobiol. Supp. XXIX, II S. 1 - 96 1964

25 Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe
Schwermetalldaten der Elbe von Schnackenburg bis zur See
Hamburg 1980

26 Debertin, K.
Meßanleitung für die Bestimmung von Gammastrahlen - Emissionsraten mit Germanium-Detektoren
PTB-Berichte Ra - 12, Braunschweig 1980
ISSN 0341 - 6747

27 Wolter, K.
Die Bestimmung der bei einer radioökologischen Modellrechnung zu berücksichtigende Radionuklide
Tagungsbericht Radioaktivität und Umwelt, 12. Jahrestagung, Norderney 1978, Fachverband für Strahlenschutz e.V.

28 von Loh, J.
Mathematisch-statistische Auswertung von Gewässergütedaten
Mitteilung aus dem Niedersächsischen Landesamt für Wasserwirtschaft Hildesheim

29 Biblis-Studie
Band 11 und 12
Herausg. Der Hessische Minister des Inneren

30 Kautsky, H.
Strömungen in der Nordsee - Radioisotope aus Wiederaufbereitungsanlagen signalisieren den Weg
Umschau 77,S. 433 - 438 (1977)

31 Krause, J.W. und Mundschenk, H.
Elektrolytische Anreicherung und Bestimmung von Tritium in Grund- und Oberflächengewässern
Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen DGM 22, S. 76 - 94 (1978)

32 Schneider, E.
Firmenschrift Elektrolytische Tritiumanreicherung
E. Schneider's WtW
Feinmechanische Werkstätte
1060 Wien, Stumperg. 45

33 Städe, W., J. von Loh, S. Otto, D. Reents
Automatisierung der radiologischen Gewässerüberwachung
Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität 1983 S. 50 -69
Hrsg. Bundesminister des Inneren 1984

34 Mundschenk, H.
Zur Sorption von Cäsium an Schwebstoff bzw. Sediment des Rheins
Beispiel der Nuklide Cs-133, Cs-134 und Cs- 137 Teil 1, Naturmessungen
DGM 27, S. 12 - 20 (1983)

35 Feldt, W., G. Kanisch, M. Kanisch, R. Lauer
Radioökologische Studien an der Elbe
Teil II: Plutonium, Tritium, Heft 3, September 1983

36 Hellmann, H.
Zum Begriff der Anreicherung in der Umweltschutzdiskussion
DGM 27, S. 146 - 153, (1983)

37 Mundschenk, H., Krause E.
Über Verteilung und Verhalten des Tritiums im Wasserkreislauf
Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität 1981
Hrsg. Bundesminister des Inneren 1982

38 Krause, W. J.
Die Tritiumbefrachtung der Nordsee unter besonderer Berücksichtigung der Deutschen Bucht
DGM 26, S. 101 - 109, (1982)

39 Nieders. Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
Gewässerüberwachungssystern Niedersachsen - Radioaktivitätsmeßnetz der Oberflächengewässer
Hannover 1982

40 Wedekind, Ch.
Tritium distribution in the North Sea and the Baltic Sea in 1980/1981 as well as in the surface water of the North Atlantic in 1979 Dt. hydrog. Z. 35 (1982)

41 Hrsg. Bundesminister des Inneren
Richtlinie zur Emissions- und Imrnissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen
Gemeinsames Ministerialblatt Nr. 32 (1979), S. 668

42 anonymous
Annual Survey of radioactive discharges in Great Britain 1980, Dept. of the Environment, London
Report No. ISSN 0144-834 X (1981)

43 Ancellin, J. et Bovard, P.
Données radioécologiques concernant le site marin de La Hague.
Marine Radioecology (Proc. 3rd NEA Seminar Tokyo, 1979) OECD (1980) 187

44 Brisbin, I. J. et al
Patterns of radiocesium in the Sediinents of a stream channel contaminated by production reactor effluents
Health Physics Vol 27, S. 19 - 27 (1974)

45 Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe
Wassergütedaten der Elbe, jährliche Berichte bearbeitet von Wassergütestelle Elbe, Hamburg

46 Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe
Gewässerökologische Studie der Elbe von Schnackenburg bis zur See.
Hamburg, 1984

47 R.-D. Wilken
pers. Mitteilung, GKSS-Forschungszentrum, Geesthacht (1983)

48 Mundschenk, H.
Über die Auswirkung des Kernwaffenversuches der Volksrepublik China vom 16.10.1980 im Bereich der Bundeswasserstraßen
DGM 27, S. 158 - 167

49 Aurand, K., Gans, I., Rühle, H. und Wolter, R.
Radioaktive Stoffe im Abwasser durch Anwendung von Radionukliden
Bericht über eine Erhebung in Berlin (West)
Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, Bericht 32 - 76

50 Bundesminister des Inneren
Richtlinie für die Überwachung der allgemeinen Umgebungsaktivität -in Vorbereitung -

	1978					1979									1980				
Monat	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)																			
475	22.08.	19.09.	16.10	28.11	12.12.	10.04.	09.05.	05.06.	09.07.	22.08.	24.09	08.10	12.11.	03.12.	25.03.	08.04.	19.05	09.06.	07.07.
525	22.08.	18.09.	16.10	28.11.	12.12.	09.04.	09.05.	05.06.	09.07.	22.08.	24.09.	08.10.	12.11.	03.12.					
569,0	15.08.	18.09.	17.10.	27.11.	11.12.	09.04.	08.05.	05.06.	09.07.	22.08.	24.09.	08.10.	12.11.	03.12.	25.03.	09.04.	19.05.	09.06.	
585,9	15.08.	18.09.	17.10	27.11.	11.12.	09.04.	08.05.	05.06.	09.07.	29.08.	24.09.	08.10.	12.11.	04.12.	24.03.	09.04.	19.05.	09.06.	07.07.
607,5	22.08.	04.10.	23.10.	06.11.	18.12.	02.04.	07.05.	19.06.	02.07.	03.09.	10.09.	15.10.	29.10.	04.12.	24.03.	09.04.	19.05.	23.06.	07.07.
630,2	22.08.	04.10.	23.10.	06.11.	19.12.	02.04.	07.05.	19.06.	02.07.	03.09.	10.09.	15.10.	29.10.	26.11.	24.03.	09.04.	19.05.	09.06.	07.07.
657	08.08.	02.10.	24.10.	14.11.		03.04.	07.05.	19.06.	02.07.	04.09.	11.09.	17.10.	29.10.	26.11.	11.03.	05.04.	03.06.	24.06.	25.08.
675															11.03.	05.04.	03.06.	24.06.	25.08.
689	17.08.	03.10.	24.10	13.11.		03.03.	07.05.	19.06.	02.07.	04.09.	11.09.	16.10.	30.10.	11.12.	11.03.	05.04.	03.06.	24.06.	25.08.
707		04.10.	24.10.	13.11.		03.03.	07.05.	19.06.	02.07.	04.09.	11.09.	16.10.	30.10.	11.12.	11.03.	05.04.	03.06.	24.06.	25.08.
724	01.09.	04.10.	24.10.	12.11.		03.03.	07.05.	19.06.	08.07.	04.09.	11.09.	16.10.	30.10.	11.12.	11.03.	05.04.	03.06.	24.06.	25.08.
Neuwerk															17.03.	21.04.	03.06.	23.06.	25.08.
Jeetzel	22.08.	18.09.	16.10.	28.11.	12.12.	09.03.	09.05.	05.06.	09.07.	22.08.	24.09.	08.10.	12.11.	03.12.		09.04.	19.05.	09.06.	07.07.
Oste	01.09.	04.10.	24.10.	07.11.	18.12.	03.03.	07.05.	19.06.	03.07.	03.09.	11.09.	16.10.	30.10.	11.12.			02.06.	24.06.	

Tabelle A 1.1 : Datum der Probenahme

Elbe und Nebenflüsse 1978 - 1980

Tab. A 1.1

Monat:	1981			1982				1983			
	5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11
Stelle (km)											
475	04.05.	24.08.	16.11.	15.03.	19.06.	23.08.	11.10.	21.02.	16.05.	01.08.	28.11.
525											
562,2											
585,9	04.05.	24.08.	16.11.	15.03.	29.06.	23.08.	11.10.	21.02.	16.05.	01.08.	28.11.
607,5											
630,2											
643	04.05.	25.08.	17.11.	22.02.	29.06.	24.08.	12.10.	22.02.	17.05.	02.08.	28.11.
657	04.05.	25.08.	17.11.	22.02.	29.06.	24.08.	12.10.	22.02.	17.05.	02.08.	28.11.
675											
689	04.05.	25.08.	17.11.	22.02.	29.06.	24.08.	12.10.	22.02.	17.05.	02.08.	28.11.
707											
724	04.05.	25.08.	17.11.	22.02.	29.06.	24.08.	12.10.	22.02.	17.05.	02.08.	28.11.
Neuwerk											
Jeetzel											
Oste											

Tabelle A 1.2 : Datum der Probenahme

Elbe 1981 - 1983

Monat	1978					1979									1980				
	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)																			
475	—	10	15	—	15	10	11	14	12	17	21	12	17	12	11	12	8,9	10	14
525	—	12	12	—	14	9,7	9,8	14	12	16	27	12	16	12	—	—	—	—	
569,0	—	11	12	—	15	9,1	10	14	11	14	14	11	14	11	9,6	—	—	9,9	7,0
585,9	—	12	12	—	16	9,1	9,9	14	12	15	14	11	15	12	9,8	11	8,4	10	12
607,5	12	11	15	14	14	9,4	10	13	10	16	15	12	13	15	9,6	11	8,2	12	11
630,2	12	9	17	14	14	9,2	10	14	20	15	14	12		16	9,9	11	8,4	9,9	12
657	—	12	15	14	—	9,6	10	14	11	15	15	12	14	17	11	9,7	9,5	10	11
675	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—			10	9,6	8,9	10	11
689	—	18	21	29	—	10	10	24	18	58	49	13	14	16	11	10	13	24	26
707	12	50	86	120	—	18	79	110	91	220	140	150	170	71	51	52	58	110	110
724	200	196	170	240	—	79	170	200	150	260	210	240	280	200	110	130	150	230	220
Neuwerk	—	—	—	—	—	—	—	—	—						320	270	270	320	230
Jeetzel	—	6	12	—	7	8,5	7,4	6,5	4,9	4,9	4,6	5,1	8,4	4,4	5,4	6,4	5,2	4,7	
Oste	—	9	10	9	10	9,2	8,4	8,2	6,6	7,5	7,3	39	6,9	8,6	7,6			6,8	

Tabelle A 2.1 : Kalium (mg/l) Wasser (gelöster Anteil)

Elbe und Nebenflüsse 1978 - 1980

Stelle (km)	Zentral-wert (Log.) 1978-80	Spann-weite 3 s	1981			1982				1983				Zentralwert 1981-1983	Spannweite 3 s
	Monat:		5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11		
475	12,9	10,3-16,2	12	15	16		14	17	20	19	11	18	16	15,5	8,7-27,8
525	13,5														
569,0	11,3														
585,9	11,7	6,6-20,9	11	15	13		13	15	18	16	10	20	15	14,3	7,6-26,9
607,5	12,0														
630,2	12,3														
643			11	13	13	11	13	15	17	14	10	15	13	13,0	8,2-20,8
657	12,1	6,7-21,9	11	12	12	11	13	16	17	15	9,7	15	14	13,1	7,7-22,3
675	9,9														
689	18,5	4-96	12	13	13	11	46	84	79	13	17	80	50	27,2	2,0-370
707	85,9														
724	182	67,4-490	150	150	130	150	250	250	250	130	140	240	210	180	77-420
Neuwerk	271														
Jeetzel	6,1														
Oste	9,1														

Tabelle A 2.2 : Kalium (mg/l) Wasser (gelöster Anteil)

Elbe 1981 - 1983

Tab. A 2.2

	1978					1979									1980				
Monat	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)																			
475		96	84		77	85	62	68	89	81	88	72	100	94	96	84	85	98	110
525		93	84		69	77	62	65	89	79	81	72	100	90					
569,0		96	86		63	80	62	65	89	76	78	70	97	95	96		73	94	
585,9		93	84		66	77	62	62	89	93	76	70	97	92	96	96	75	93	110
607,5	77	75	84	95	55	55	62	93	82	71	74	75	90	26	95	96	76	100	100
630,2	75	78	89	86	58	57	62	97	82	74	75	72	87	22	94	98	93	97	100
657		93	81	86		52	60	97	84	76	76	67	87	90	97	82	87	91	88
675															92	80	85	89	79
689		90	89	92		55	60	90	95	110	105	72	82	90	90	82	85	103	86
707	60	115	130	132		59	110	130	130	155	150	147	150	108	118	120	120	182	130
724	230	174	184	169		110	150	180	150	165	155	159	180	176	168	190	200	273	220
Neuwerk															345	320	320	344	230
Jeetzel		87	86		56	92	79	62	78	55	53	60	84	82	95	110	81	84	100
Oste		63	58	60		39	46	53	51	40	40	88	57	60	53			50	

Tabelle A 3.1 : Ca^{2+} (mg/l) Wasser, gelöster Anteil

Elbe und Nebenflüsse 1978 - 1980

Stelle (km)	Zentral-wert (Log.) 1978-80	Spann-weite 3 s	1981			1982				1983			
	Monat :		5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11
475	86,4	50-123							140		91	150	130
525	80,1												
569,0	81,3												
585,9	84,2	42-126							140		90	130	130
607,5	77,9												
630,2	78,7												
643									120		84	130	120
657	82,0	45-120							120		80	120	120
675	85,0												
689	86,8	44-130							160		87	160	140
707	125												
724	180	73-286							300		170	280	250
Neuwerk	312												
Jeetzel	79,1												
Oste	54,1												

Tabelle A 3.2 : Ca^{2+} (mg/l) Wasser

Elbe 1981 - 1983

	1978					1979									1980				
Monat	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)																			
475		160	150		240	84	130	190	170	250	310	160	230		140	130	110	160	190
525		140	110		190	86	120	170	170	240	250	140	210						
569,0		140	110		160	84	110	160	160	210	240	130	190		130			140	
585,9		140	110		200	82	110	160	160	230	230	130	200		130	130	98	140	160
607,5	130	95	150	140	160	140	110	160	120	220	210	160	170	170	120	140	96	160	150
630,2	120	100	150	140	170	88	110	170	130	210	210	150	170	190	130	140	94	140	170
657		170	170	180		98	120	210	150	280	260	260	170	230		110	140	180	140
675																130	140	190	140
689		600	580	830		100	150	710	390	2400	2000	230	200	240		160	340	860	850
707	56	2350	4250	5700		660	3400	5000	3800		6700	7000	8300	3100		2300	2600	5250	5400
724	9600	9000	8000	11000		3400	7650	8550	7000	11200	9900	9550	11900	9000		6500	7600	10700	9900
Neuwerk															15400	12700	13700	15400	10800
Jeetzel		68	80		88	84	94	120	120	94	94	92	68	68	100	110	90	100	80
Oste		55	80	54	55	50	48	56	58		64	1550	290					160	

Tabelle A 4.1 : Chlorid (mg/l) Wasser

Elbe und Nebenflüsse 1978 - 1980

Tab. A 4.1

Stelle (km)	Zentral-wert (Log.) 1978-80	Spann-weite 3 s	1981			1982				1983			
	Monat :		5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11
475	167	60-465	160	170	150								300
525	160												
569,0	146												
585,9	145	57-365	150	140	130								250
607,5	145												
630,2	143												
643			170	130	130							280	270
657	171	65-451	160	160	160	130						350	330
675	155												
689	438	25-7600	250	250	170	180						3600	2100
707	3800												
724	8492	3450-20900	7600	6800	6500	7000						7100	9800
Neuwerk	13043												
Jeetzel	91,4												
Oste	98,6												

Tab. A 4.2

Tabelle A 4.2: Chlorid (mg/l) Wasser

Elbe 1981 - 1983

	1978					1979									1980				
Monat	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)																			
475						0,41	0,45	0,63	0,43	0,69	0,68	0,41	0,55	0,35	0,54	0,44	0,47	0,84	0,72
525						0,44	0,44	0,58	0,45	0,56	0,54	0,37	0,49	0,35					
569,0						0,41	0,43	0,52	0,45	0,60	0,52	0,44	0,49	0,33	0,42			0,81	
585,9			0,5			0,40	0,45	0,53	0,41	0,63	0,45	0,36	0,48	0,33	0,43	0,41	0,45	0,81	0,66
607,5			0,5		0,33	0,40	0,46	0,52	0,42		0,69	0,31	0,38	0,44	0,43	0,42	0,43	0,86	0,64
630,2			< 0,5		0,33	0,40	0,43	0,55	0,43		0,47	0,31	0,38	0,45	0,40	0,38	0,43	0,81	0,64
657			0,5			0,42	0,48	0,54	0,43			0,31	0,37	0,45	0,37	0,33	0,51	0,53	0,40
675																0,45	0,47	0,73	0,35
689			0,5	0,75		0,44	0,48	0,78	0,56		1,0	0,36	0,32	0,33	0,35	0,34	0,81	0,58	0,51
707			2,0	1,85		0,94	2,2	2,5	2,9		2,3	2,2	3,1	1,0	0,96	0,94	2,1	3,3	2,1
724			2,5	2,90		1,74	4,0	3,6	2,7		1,1	2,9		2,5		2,0	4,6	6,0	3,7
Neuwerk																	8,0	9,1	3,9
Jeetzel						0,41	0,39	0,27	0,21	0,18	0,12	0,17	0,23	0,15	0,29	0,28	0,28	0,37	0,37
Oste			< 0,5	0,12	0,20	0,18	0,33	0,18	0,18		0,12	0,72	0,17	0,15	0,21			0,23	

Tabelle A 5.1 : Sr^{2+} (mg/l) Wasser, gelöster Anteil

Elbe und Nebenflüsse 1978 - 1980

Stelle (km)	Zentral-wert (Log.) 1978-80	Spann-weite 3 s	1981			1982				1983				Zentralwert * 1981-1983	Spannweite 3s
	Monat :		5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11		
475	0,54	0,24-1,18	0,72	0,74	0,58		0,39	0,58	0,98	0,48	0,54	0,69		0,61	0,27-1,4
525	0,47														
569,0	0,49														
585,9	0,47	0,23-0,99	0,66	0,74	0,53		0,38	0,52	0,86	0,44	0,48	0,68		0,60	0,26-1,3
607,5	0,46														
630,2	0,44														
643			0,68	0,59	0,53	0,38	0,36	0,52	0,81	0,49	0,47	0,63		0,53	0,25-1,2
657	0,42	0,24-0,73	0,65	0,61	0,53	0,38	0,33	0,50	0,79	0,48	0,45	0,62		0,52	0,24-1,2
675	0,49														
689	0,51	0,16-1,6	0,64	0,60	0,53	0,39	0,47	1,0	2,3	0,44	0,49	1,6		0,70	0,12-4.2
707	1,86														
724	2,88	0,73-11,4	4,5	5,2	2,8	2,8	1,3	4,0	5,0	2,4	1,6	4,7		3,1	0,72-13
Neuwerk															
Jeetzel														Bemerkung:* Werte bis August 1983	
Oste															

Tabelle A 5.2 : Sr^{2+} (mg/l) Wasser (gelöster Anteil)

Elbe 1981 - 1983

Tab. A 5.2

	1978					1979									1980				
Monat	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)																			
475	18	25	18			12	21	38	39	43	24	70	17	17	9,7	16	18	38	49
525	4	13	14			11	28	17	49	46	23	140	59	8,4			23		
569,0	38		18		17	25	23	20	45	23		20	12	5,2	8,1			34	
585,9		13	15	11	14	41		17	27	18	18	3	7,7	11	16	16		22	25
607,5	34	28			16	11	20	21	29	14	18	17	40	14	14	14	16	7,6	25
630,2	19	12			12	92	20	23	21	19	23	17	17	15	15	13	17	13	26
657	46	13				18	60	87	74	25	120	23	41	77	25	26	97	9,5	20
675															17	37	57	15	31
689	33	62				90	67	25	31	27	78	109	134	145	13	8,9	42	42	48
707	24	50				23	23	17	17	16	21	17	30	44	33	21	32	30	37
724	15	28				27	16	19	15	18	16	29	47	22	39	24	22	41	63
Neuwerk															39		34	45	55
Jeetzel	13		16			33	42	18	18	10		15	4,8	4,2	9,3	22	15	35	90
Oste						75	38	142	103	77	72	80	223	100	39			37	

Tabelle A 6.1 : **Schwebstoffe (mg/l)**

Elbe und Nebenflüsse 1978 - 1980

Tab. A 6.1

Stelle (km)	Zentral-wert (Log.) 1978-80	Spann-weite 3 s	1981			1982				1983				Zentralwert 1981-1983	Spannweite 3 s
Monat :			5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11		
475	24,6	4,7-128	22	31	11	13	20	41	12	18	15	28	27	20	5,5-72
525	25,6														
569,0	18,1														
585,9	15,1	2,5-92	35	33	13	11	71	17	26	9,5	31	34	6,3	21	2,4-180
607,5	17,6														
630,2	18,9														
643			25	33	26	6,8	60	96	76	18	35	55	83	37	3,5-390
657	36,2	3,3-390	26	23	29	18	25	49	38	29	22	28	31	28	12-63
675	31,5														
689	47,2	4,1-540	121	18	86	25	19	20	15	49	33	12	35	31	3,5-280
707	25,7														
724	25,9	7,1-94	17	28	77	25	10	17	17	32	10	14	22	21	3,6-120
Neuwerk	43,8														
Jeetzel	17,3														
Oste	77,6														

Tab. A 6.2

Tabelle A 6.2 : Schwebstoffe (mg/l)

Elbe 1981 - 1983

	1978					1979									1980				
Monat	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)																			
475	240	250	240	210	240	220	230	190	190	230	210	250	200	200	200	180	190	200	230
525	260	230	220	210	230	220	210	230	210	220	190	230	200	190					
569,0	260	210	200	210	180	220	220	210	240	190	190	220	180	190	190		180	190	
585,9	230	230	230	200	210	220	220	210	230	200	200	230	180	190	180	180	180	190	190
607,5	260	210	220	210	220	210	210	200	210	190	200	210	210	180	180	180		190	200
630,2	240	210	210	220	190	210	210	230	230	170	200	210	220	180	150	210	180	190	200
657		230	210	210		210	210	200	210	190	200	210	210		180	180	180	190	180
675															180	180	190	200	170
689	240	200	210	220		190	190	210	200	170	170	200	210	160	180	180	180	190	190
707	190	220	170	190		180	180	180	160	130	150	140	150	170	170	170	180	160	150
724	130	150	160	150		160	160	160	140	110	120	130	100	130	150	140	140	120	120
Neuwerk															70	100	90	80	110
Jeetzel	70	100	100	80	80	150	130	110	80	80	70	90	70	80	80	110	80	80	110
Oste	130	180	170	160	170	140	140	160	140	140	140	160	120	140	140			160	

Tabelle A 7.1 : H-3 (pCi/l) Wasser

Elbe und Nebenflüsse 1978 - 1980

Tab. A 7.1

Stelle (km)	Zentral-wert 1978-80	Spann-weite 3 S	1981			1982				1983				Zentralwert * 1981-1983	Spannweite 3 S
Monat :			5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11		
475	216	148-283	180	170	150	140	150	150	150	120	130	130	120	146	86-206
525	218														
569,0	205														
585,9	205	147-264	170	170	150	150	150	130	130	110	120	130	110	141	81-201
607,5	205														
630,2	203														
643			160	160	150	140	130	130	130	120	110	120	110	135	84-186
657	200	155-245	150	160		140	150	120	120	110	120	130	120	133	82-184
675	184														
689	194	140-250	150	160	150	130	140	130	130	120	120	110	120	134	86-182
707	169														86-182
724	137	82-192	110	120	120	100	80	85	85	100	95	70	78	97	46-151
Neuwerk	90														
Jeetzel	92														
Oste	149														

Bemerkung: * Werte bis August 1983

Tabelle A 7.2 : H-3 (pCi/l) Wasser

Elbe 1981 - 1983

Tab. A 7.2

	1978					1979									1980				
Monat	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)																			
475	0,019		0,022			0,006	0,009	0,022	0,013	0,019	0,012		0,005	0,009	0,009	0,006	0,008	0,006	0,012
525	0,024	0,018	0,020			0,012	0,007	0,021	0,013	0,015	0,005	0,005	0,011	0,013					
569,0	0,067	0,016	0,021		0,019	0,009	0,011	0,025	0,015	0,059	0,014	0,009	0,018	0,018	0,008		0,007	0,015	
585,9	0,045	0,027	0,021	0,025	0,018	0,011	0,017	0,020	0,018	0,018	0,019	<0,004	0,017	0,013	0,009	0,011	0,005	0,012	0,016
607,5	0,017	0,021			0,012	0,018	0,008	0,029	0,012	0,014	0,022	0,017	0,006	0,017	0,009	0,021		0,019	0,008
630,2	<0,04	0,015			0,016	0,013	0,016	0,022	0,011	0,019	0,014	0,007	0,010	0,022	0,008	0,014	<0,004	0,011	0,011
657	0,030	0,020				0,013	0,018	0,031	0,010	0,008	0,029	0,014	0,014	0,028	0,010	0,011	0,019	0,008	0,008
675															0,018	0,007	<0,004	0,011	0,015
689		0,042	0,24			0,017	0,022	0,015	0,021	0,056	0,056	0,009	0,008	0,033	0,009	0,017	0,022	0,045	0,027
707						0,025	0,11	0,29	0,11	0,21	0,24		0,14	0,12		0,080	0,071	0,17	0,13
724						0,13	0,27	0,16	0,21	0,28	0,20	0,24	0,23	0,33	0,12	0,16	0,15	0,39	0,31
Neuwerk															0,36	0,33		0,56	0,26
Jeetzel	<0,04	<0,04	0,019			0,009	0,010	0,008	0,005			<0,004	0,006	0,007	0,004	0,009	0,007	0,008	0,004
Oste						0,061	0,047	0,039	0,019			0,042	0,010	0,009	0,063			<0,004	

Tabelle A 8.1 : **Cs-137 (pCi/l) Wasser gelöster Anteil**

Elbe und Nebenflüsse 1978 - 1980

Tab. A 8.1

Stelle (km)	Zentral-wert (Log.) 1978-80	Spann-weite 3 s	1981			1982				1983				Zentralwert 1981-1983	Spannweite 3 s
	Monat :		5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11		
475	0,010	0,002-0,044	0,015	0,022	0,009	0,009	0,012	0,017	0,025	0,009	0,013	0,009	0,015	0,013	0,004-0,040
525	0,011														
569,0	0,015														
585,9	0,014	0,008-0,024	0,044	0,023	0,009	0,010	0,011	0,017	0,030	0,012	0,014	0,018	0,012	0,016	0,004-0,071
607,5	0,014														
630,2	0,012														
643			0,019	0,030	0,008	0,015	0,062	0,022	0,020	0,006	0,016	0,009	0,026	0,017	0,002-0,13
657	0,014	0,009-0,023	0,019	0,021	0,018	0,015	0,023	0,019	0,020	0,008	0,013	0,021	0,023	0,018	0,007-0,045
675	0,008														
689	0,025	0,002-0,35	0,026	0,039	0,018	0,026	0,066	0,18	0,065	0,036	0,031	0,098	0,051	0,046	0,006-0,34
707	0,14														
724	0,22	0,16-0,31	0,66	0,37	0,22	0,33	0,50	0,49	0,19		0,25	0,39	0,31	0,35	0,11-1,1
Neuwerk	0,36														
Jeetzel	0,006														
Oste	0,21														

Tabelle A 8.2 : Cs-137 (pCi/l) Wasser gelöster Anteil

Elbe 1981 - 1983

Ort	km	Zeitraum der Probenahme	Cl^- mg/l	K^+ mg/l	Cs-134 pCi/l	Cs-137 pCi/l	Relation Cs-134/ Cs-137
St. Margarethen	689	Mai-Sept. 1979	760	24	< 0,001	0,019	
		Sept.-Dez. 1979	820	34	0,004	0,058	1: 15
		März-Juli 1980	390	16	< 0,002	0,024	
		04.05.81	250	12	< 0,005	0,026	
		25.08.81	250	13	< 0,005	0,039	
		17.11.81	170	13	< 0,005	0,018	
		23.02.82	180	11	< 0,005	0,026	
		26.06.82		46	< 0,003	0,066	
		24.08.82		84	< 0,005	0,18	
		11.10.82		79	< 0,003	0,065	
		21.02.83		13	< 0,004	0,036	
		16.05.83		17	< 0,004	0,031	
		02.08.83	240	80	< 0,003	0,098	
		28.11.83	2100	50	< 0,003	0,051	
Oste-Mündung	707	April-Sept. 1979	4600	108	0,011	0,18	1: 16
		Sept.-Dez. 1979	6030	127	0,011	0,21	1: 19
		Mai-Juli 1980	3400	73	0,0032	0,079	1: 24
Cuxhaven	724	April-Sept. 1979	9800	165	0,017	0,28	1: 16
		Sept.-Dez. 1979	10300	230	0,019	0,31	1: 16
		März-Juni 1980	7500	155	0,013	0,23	1: 18
		04.05.81	6500	150	0,019	0,66	1: 35
		25.08.81	6800	150	0,02	0,37	1: 19
		17.11.81	6500	130	0,007	0,22	1: 31
		23.02.82	7000	150	0,026	0,33	1: 12
		26.06.82		250	0,016	0,50	1: 31
		24.08.82		250	0,020	0,49	1: 24
		11.10.82		250	0,008	0,19	1: 24
		21.02.83		130			
		16.05.83		140	0,018	0,25	1: 14
		02.08.83	7100	240	0,015	0,39	1: 26
		28.11.83	9800	210	< 0,003	0,31	
Neuwerk	Außenelbe	März-Aug. 1980	13600	290	0,029	0,53	1: 18

Tabelle A 9 : Unterelbe 1979 - 1983

Untersuchungen von Misch- und Einzelproben

Cs-134 im Wasser (pCi/l) gelöster Anteil

Monat	1979									1980				
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)														
475	0,03	< 0,03	0,4	< 0,2	< 0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	< 0,03	0,10	0,08	0,02	0,22
525	0,04	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,04	0,05	< 0,04	< 0,2	< 0,03					
569,0	0,02	< 0,03	0,08	< 0,03	< 0,04	< 0,05	< 0,05	< 0,2	< 0,2			< 0,03	0,06	
585,9	0,04	< 0,2	< 0,2	< 0,03	< 0,05	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,2	0,08	< 0,02	0,04	0,02	< 0,03
607,5	< 0,2	< 0,02	0,06	< 0,04	0,15	< 0,06	< 0,04	< 0,04	< 0,03	0,09	< 0,04		< 0,02	0,06
630,2	< 0,03	< 0,2	0,06	< 0,03	< 0,03	< 0,05	< 0,06	0,03	0,05	< 0,2		0,03	< 0,04	0,05
657	< 0,2	< 0,2	0,11	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,04	< 0,03	0,04	< 0,02	< 0,02	0,02	< 0,03	< 0,02
675										< 0,03	0,04	0,03		< 0,02
689	0,04	< 0,02	< 0,1	< 0,2	< 0,05	< 0,08	< 0,04	0,07	< 0,2	< 0,2		0,05	< 0,02	< 0,02
707	< 0,04	< 0,03	< 0,03	< 0,04	< 0,06	< 0,06	< 0,05	< 0,04	< 0,03	< 0,03		< 0,02	< 0,03	< 0,02
724	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,06	< 0,02	< 0,03	< 0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Neuwerk										< 0,03	< 0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Jeetzel	< 0,2	< 0,2	< 0,03	< 0,03	< 0,06	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,2	< 0,03	< 0,1	< 0,03	< 0,02	< 0,02
Oste	< 0,04	< 0,03	< 0,2	< 0,03	< 0,06	< 0,04	< 0,04	< 0,05	< 0,02	< 0,2			< 0,03	

Tabelle A 10.1 : J-131 (pCi/l) Wasser, gelöster Anteil

Elbe und Nebenflüsse 1979/1980

Stelle (km)	Zentral-wert (Log.) 1978-80	Spann-weite 3 S	1981			1982				1983				Zentralwert 1981-1983	Spannweite 3 S
	Monat :		5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11		
475	0,08		0,12	0,07	0,20	0,13	0,50	0,20	0,55	0,39	0,10	0,20	0,39	0,21	0,03-1,7
525															
569,0															
585,9	< 0,04		<0,03	0,04	0,06	0,17	0,35	0,50	1,3	0,07	0,06	0,22	1,2	0,17	0,003-9,2
607,5															
630,2															
643			0,17	0,04	0,20	0,06	0,18	0,17	0,22	0,06	0,08	0,13	0,21	0,12	0,02-0,74
657	< 0,04		0,09	0,05	0,08	0,30	0,15	0,09	0,12	<0,02	0,16	0,10	0,09	0,09	0,01-0,74
675															
689	< 0,04		0,04	0,04	0,07	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	0,07	0,13	<0,02	<0,02	0,04	0,005-0,26
707															
724	< 0,04		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Neuwerk															
Jeetzel															
Oste															

Tabelle A 10.2: J-131 (pCi/l) Wasser (gelöster Anteil)

Elbe 1981 - 1983

	1978					1979									1980				
Monat	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)																			
475	0,50	0,47	0,62			0,84	0,87	0,07	0,46	—	0,51	0,86	0,25	0,33	0,49	0,57	0,46	0,54	0,41
525	0,05	0,08	0,45			0,64	0,77	0,43	0,47	0,40	0,26	0,51	0,13	0,39					
569,0	0,03	0,07	0,30	0,34	0,32	0,83	0,39	0,35	0,56	0,13		0,36	0,25	0,26	0,30		0,53	0,59	
585,9	0,38	0,54	0,36	0,39	0,39	0,96	0,63	0,47	0,23	0,09		0,46		0,37	0,32	0,39	0,46	0,50	0,45
607,5	0,60	0,14			0,16	0,67	0,56	0,48	0,55	0,40	0,37	0,39	0,47	0,32	0,39	0,27		0,43	0,42
630,2	0,05	0,35			0,48	0,47	0,71	0,55	0,58	0,25	0,40	0,48	0,43	0,18	0,44	0,41	0,37	0,55	0,43
657						0,66	0,44	0,49	0,66	0,19	0,25	0,33	0,48	0,16	0,54	0,55	0,36	0,49	0,43
675															0,59	0,49	0,47		0,58
689		0,19				0,85	0,64	1,2	0,52	0,28	0,18	0,35	0,30	0,13	0,37	0,22	0,45	0,52	0,56
707		0,40				0,94	0,82	0,31	0,66	1,1	0,35	0,10	0,53	0,42	0,59	0,43	0,52	0,65	0,42
724		0,43				0,19	0,59	0,55	0,16		0,38	0,34	0,36	0,28	0,55		0,98	0,65	0,80
Neuwerk															0,34		0,77	0,66	0,63
Jeetzel	0,21		0,36			0,83	0,47	0,19	0,11	0,10	0,09	0,14	0,13	0,13	0,10		0,17	0,24	0,37
Oste					0,56	0,93	0,69	0,42	0,44	0,37	0,31	0,13	0,16	0,26	0,56			0,26	

Tabelle A 11.1 : Sr-90 (pCi/l) Wasser, gelöster Anteil

Elbe und Nebenflüsse 1978 - 1980

Stelle (km)	Zentral-wert (Log.) 1978-80	Spann-weite 3 s	1981			1982				1983				Zentralwert * 1981-1983	Spannweite 3 s
	Monat:		5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11		
475	0,45	0,07-2,9	0,79	0,78	0,72	0,55	0,38	0,43	0,41	0,60				0,56	0,21-1,4
525	0,35														
569,0	0,32														
585,9	0,40	0,09-1,8	0,59		0,68	0,66	0,39	0,48	0,47	0,51				0,53	0,29-0,96
607,5	0,37														
630,2	0,42														
643			0,57	0,64	0,67	0,51	0,38	0,48	0,38	0,53				0,51	0,27-0,97
657	0,38	0,11-1,4	0,56	0,80	0,79	0,45	0,24	0,39	0,52	0,61				0,51	0,16-1,7
675	0,51														
689	0,40	0,06-2,4		0,74	0,70	0,48	0,41	0,50	0,53	0,57				0,55	0,29-1,0
707	0,49														
724	0,43	0,08-2,3		1,4	1,1	0,44	0,58	(1,1)	0,64	1,3				0,86	0,22-3,3
Neuwerk	0,68														
Jeetzel	0,19														
Oste	0,35														

Bemerkung:
* Werte bis Februar 83

Tabelle A 11.2 : Sr-90 (pCi/l) Wasser (gelöster Anteil)

Elbe 1981 - 1983

	1978					1979									1980				
Monat	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)																			
475	0,79		0,64			0,76	0,3	0,55	0,48	0,31	0,30	0,29	0,75	0,47	0,36	0,52	0,35	0,42	0,29
525	0,6	0,45	0,58			0,40	0,45	0,37	0,36	0,51	0,39	0,41	0,21	0,65					
569,0	0,66		0,74		0,65	0,77	0,6	0,65	0,52	0,16		0,58	0,43	0,28	0,46		0,49	0,36	
585,9		0,44	0,69	0,46	1,0	0,89		0,8	0,61	0,41	0,42	<1,5	0,63	0,57	0,32	0,30			0,52
607,5	0,77	0,65			0,60	0,59	0,43	0,52	0,47	0,40	0,42	0,39	0,32	0,48	0,48	0,54	0,51	0,30	0,56
630,2	0,47	0,42			0,51	0,48	0,42	0,47	0,4	0,21	0,24	0,3	0,51	0,35	0,60	0,29	0,28	0,24	0,49
657	0,57	0,30				0,83	0,36	0,41	0,36	0,20	0,39	0,2	0,48	0,30	0,24	0,31	0,33	<0,1	<0,07
675															0,32	0,39	0,43	0,35	0,50
689	1,0	1,1				0,51	0,29	1,1	0,72	0,57	0,50	0,68	0,59	0,44	0,66	0,94	0,51	0,79	0,66
707	0,83	0,89				0,62	0,62	0,60	0,60	0,68	0,37	0,60	0,80	0,73	0,70	0,55	0,64	0,31	0,61
724	0,65	0,57				0,83	0,53	0,50	0,54	0,63	0,49	0,64	1,0	0,63	0,60	1,0	0,26	0,41	0,76
Neuwerk															0,42		<0,2	0,24	0,2
Jeetzel	1,1	<0,06				0,65	0,3	0,4	0,77	0,71		0,46	0,38	0,61	0,32	0,20	0,57	0,54	0,74
Oste	1,0					1,3	1,5	0,90	1,1	0,80	0,65	0,61	0,86	1,3	0,89			0,80	

Tabelle A 12.1 : **Cs-137 (pCi/g Trockensubstanz) in Schwebstoffen**

Elbe und Nebenflüsse 1978 - 1980

Tab. A 12.1

Stelle (km)	Zentral-wert (Log.) 1978-80	Spann-weite 3 s	1981			1982				1983				Zentralwert 1981-1983	Spannweite 3 s
	Monat :		5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11		
475	0,43	0,15-1,2	<0,02	0,39	0,38	0,51	0,77	0,31	0,33	0,32	0,31	0,22	0,24	0,27	0,017-4,5
525	0,42														
569,0	0,48														
585,9	0,59	0,15-2,3	0,42	0,42	0,51	0,51	0,29	0,22	0,21	0,32	0,37	0,35	<0,2	0,33	0,12-0,91
607,5	0,47														
630,2	0,37														
643			0,24	0,23	0,38	0,45	0,12	0,38	0,77	0,24	0,34	0,62	0,36	0,34	0,072-1,5
657	0,28	0,05-1,7	0,28	0,21	0,32	0,60	0,44	0,14	0,50	0,34	0,38	0,37	0,55	0,35	0,096-1,3
675	0,41														
689	0,63	1,8-0,22	0,70	0,81	0,62	0,53	0,78	0,68	0,69	0,66	0,73	0,49	0,45	0,64	0,36-1,1
707	0,60														-
724	0,59	0,21-1,7	0,76	0,78	0,61	0,86	0,96	0,72	0,79	0,68	0,59	0,26	0,57	0,66	0,23-1,9
Neuwerk	0,21														
Jeetzel	0,41														
Oste	0,94														

Tabelle A 12.2 : Cs-137 (pCi/g Trockensubstanz) in Schwebstoffen

Elbe 1981 - 1983

Tab. A 12.2

	1978					1979									1980				
Monat	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)																			
475	0,014		0,011			0,009	0,006	0,021	0,019	0,015	0,007	0,020	0,013	0,005	0,004	0,008	0,006	0,016	0,014
525	0,002	0,006	0,008			0,004	0,014	0,006	0,025	0,028	0,009	0,057	0,013	0,006					
569,0	0,025		0,011		0,011	0,020	0,014	0,011	0,023	0,004		0,012	0,005	0,002	0,004		0,011	0,012	
585,9		0,006		0,005	0,014	0,036		0,01	0,016	0,007	0,008	<0,004	0,005	0,006	0,005	0,005		0,009	0,013
607,5	0,026	0,018			0,010	0,007	0,009	0,011	0,014	0,005	0,008	0,007	0,013	0,005	0,007	0,008	0,008	0,002	0,016
630,2	0,009	0,005			0,006	0,004	0,008	0,011	0,008	0,004	0,006	0,005	0,009	0,005	0,008	0,004	0,005	0,003	0,013
657	0,026	0,004				0,014	0,022	0,036	0,027	0,005	0,047	0,005	0,02	0,023	0,006	0,008	0,031	<0,001	<0,001
675															0,005	0,014	0,025	0,005	0,015
689	0,033	0,065				0,046	0,020	0,028	0,022	0,016	0,039	0,073	0,079	0,064	0,008	0,008	0,021	0,033	0,031
707	0,020	0,045				0,014	0,015	0,011	0,010	0,011	0,008	0,01	0,024	0,032	0,020	0,011	0,020	0,009	0,02
724	0,010	0,027				0,022	0,009	0,010	0,008	0,011	0,008	0,019	0,047	0,010	0,023	0,024	0,006	0,017	0,048
Neuwerk															0,017		<0,007	0,009	0,01
Jeetzel	0,015		<0,001			0,021	0,001	0,007	0,014	0,007		0,007	0,002	0,003	0,003	0,004	0,010	0,019	0,007
Oste						0,097	0,058	0,13	0,11	0,062	0,047	0,049	0,19	0,13	0,034			0,029	

Tabelle A 13.1 : Cs-137 (pCi/l) Wasser, ungelöster Anteil

Elbe und Nebenflüsse 1978 - 1980

Stelle (km)	Zentral-wert (Log.) 1978-80	Spann-weite 3 s	1981			1982				1983				Zentralwert 1981-1983	Spannweite 3 s
	Monat:		5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11		
475	0,010	0,002-0,051	<0,001	0,026	0,004	0,007	0,015	0,013	0,004	0,006	0,005	0,006	0,007	0,0064	0,0005-0,081
525	0,011														
569,0	0,009														
585,9	0,008	0,001-0,052	0,015	0,036	0,007	0,005	0,021	0,004	0,006	0,003	0,011	0,012	<0,001	0,0074	0,0004-0,15
607,5	0,008														
630,2	0,006														
643			0,006	0,022	0,010	0,003	0,007	0,037	0,058	0,004	0,012	0,034	0,022	0,013	0,0007-0,24
657	0,010	0,0003-0,39	0,007	0,008	0,009	0,011	0,011	0,007	0,019	0,010	0,008	0,010	0,017	0,010	0,004-0,027
675	0,013														
689	0,030	0,003-0,26	0,78	0,014	0,053	0,019	0,008	0,014	0,010	0,037	0,024	0,006	0,016	0,023	0,0004-1,2
707	0,015														
724	0,016	0,002-0,11	0,12	0,020	0,047	0,022	0,010	0,012	0,013	0,022	0,006	0,004	0,012	0,017	0,001-0,27
Neuwerk	0,009														
Jeetzel	0,005														
Oste	0,070														

Tabelle A 13.2: Cs-137 (pCi/l) Wasser (ungelöster Anteil)

Elbe 1981 - 1983

	1978					1979									1980				
Monat	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)																			
475	0,033		0,033			0,017	0,015	0,043	0,032	0,034	0,019		0,018	0,014	0,013	0,014	0,014	0,022	0,026
525	0,026	0,024	0,028			0,016	0,021	0,037	0,038	0,043	0,014	0,062	0,024	0,019					
569,0	0,092		0,032		0,030	0,029	0,025	0,036	0,038	0,063		0,021	0,023	0,020	0,012		0,018	0,027	
585,9		0,033		0,030	0,032	0,047		0,030	0,034	0,025	0,027	<0,008	0,022	0,019	0,014	0,016		0,021	0,029
607,5	0,043	0,039			0,022	0,025	0,015	0,040	0,026	0,019	0,030	0,021	0,019	0,023	0,016	0,029		0,021	0,024
630,2		0,020			0,022	0,017	0,024	0,033	0,019	0,023	0,020	0,012	0,019	0,027	0,016	0,018	0,009	0,014	0,024
657	0,056	0,024				0,027	0,040	0,062	0,037	0,013	0,076	0,019	0,016	0,051	0,016	0,019	0,050	0,009	0,009
675															0,024	0,021	0,029	0,016	0,030
689		0,11				0,063	0,047	0,043	0,043	0,072	0,095	0,081	0,087	0,097	0,017	0,025	0,043	0,78	0,058
707						0,039	0,12	0,30	0,12	0,22	0,25		0,16	0,15		0,091	0,091	0,18	0,15
724						0,13	0,28	0,17	0,22	0,29	0,21	0,26	0,28	0,34	0,14	0,18	0,17	0,41	0,36
Neuwerk															0,38			0,57	0,27
Jeetzel						0,030	0,011	0,015	0,019	0,011		0,011	0,008	0,010	0,007	0,013	0,017	0,027	0,011
Oste			0,12			0,16	0,11	0,17	0,13	0,081	0,087	0,091	0,20	0,14	0,097			0,033	

Tabelle A 14.1 : Cs-137 (pCi/l) Wasser, gelöster u. ungelöster Anteil

Elbe und Nebenflüsse 1978 - 1980

Tab. A 14.1

Stelle (km)	Zentralwert (Log.) 1978-80	Spannweite 3 s	1981			1982				1983				Zentralwert 1981-1983	Spannweite 3 s
	Monat:		5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11		
475	0,021	0,006-0,069	0,016	0,048	0,013	0,016	0,027	0,030	0,029	0,015	0,018	0,015	0,022	0,021	0,006-0,070
525	0,027														
569,0	0,027														
585,9	0,023	0,006-0,088	0,059	0,059	0,016	0,015	0,032	0,021	0,036	0,015	0,025	0,030	0,013	0,025	0,005-0,13
607,5	0,024														
630,2	0,019														
643			0,025	0,052	0,018	0,018	0,070	0,059	0,078	0,010	0,028	0,043	0,048	0,034	0,005-0,25
657	0,025	0,003-0,20	0,026	0,029	0,027	0,026	0,034	0,026	0,039	0,018	0,021	0,031	0,040	0,028	0,014-0,058
675	0,023														
689	0,055	0,012-0,25	0,81	0,053	0,071	0,045	0,074	0,020	0,075	0,068	0,055	0,10	0,067	0,074	0,005-1,1
707	0,16														
724	0,24	0,090-0,65	0,67	0,39	0,27	0,36	0,51	0,51	0,21		0,26	0,43	0,32	0,37	0,13-1,1
Neuwerk	0,39														
Jeetzel	0,013														
Oste	0,11														

Tabelle A 14.2: Cs-137 (pCi/l) Wasser (gelöster u. ungelöster Anteil)

Elbe 1981 - 1983

Tab. A 14.2

	1978					1979									1980				
Monat	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7
Stelle (km)																			
475	0,74		0,50			1,5	0,66	0,95	1,4	0,79	0,58		2,6	0,55	0,44	1,3	0,75	2,7	1,2
525	0,083	0,33	0,40			0,33	2,0	0,28	1,9	1,9	1,8	11,4	1,2	0,46					
569,0	0,37		0,52		0,58	2,2	1,3	0,44	1,5	0,07		1,3	0,27	0,11	0,50		1,6	0,80	
585,9	1,5	0,22		0,20	0,78	3,3		0,5	0,89	0,39	0,42	1	0,29	0,46	0,55	0,45		0,75	0,81
607,5	0,87	0,86			0,83	0,39	1,1	0,38	1,2	0,35	0,36	0,41	2,2	0,29	0,78	0,38		0,10	2,0
630,2		0,33			0,38	0,31	0,5	0,50	0,72	0,21	0,41	0,71	0,90	0,23	1,0	0,28	1,3	0,27	1,2
657		0,20				1,1	1,2	1,2	2,7	0,62	1,6	0,36	1,4	0,82	0,60	0,72	1,6	0,12	0,12
675															0,62	2,0	6,2	0,45	1,0
689		1,5				2,7	0,74	1,9	1,0	0,28	0,69	8,1	9,8	1,9	0,89	0,45	0,95	0,73	1,1
707						0,56	0,14	0,04	0,09	0,05	0,03		0,17	0,23		0,14	0,28	0,05	0,15
724						0,17	0,03	0,06	0,04	0,04	0,04	0,08	0,20	0,03	0,19	0,15	0,04	0,04	0,15
Neuwerk															0,05			0,02	0,04
Jeetzel	3,7		0,05			2,3	0,10	0,87	2,8	1,4		1,8	0,33	0,42	0,75	0,44	1,4	2,3	1,7
Oste						1,6	1,2	3,3	0,57	3,3	1,2	1,2	19	26	0,53			4,1	

Tabelle A 15 : Cs-137 im Wasser, Verhältnis ungelöster/gelöster Anteil

Elbe und Nebenflüsse 1978 - 1980

km	Zr-95											Nb-95											Ru-103										
	81			82				83				81			82				83				81			82				83			
	5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11	5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11	5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11
475	0,11		<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	<0,004	<0,006	0,91		<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	<0,001	<0,004	<0,006	<0,04		<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,004	<0,01	<0,003	<0,006
585,9	0,12		<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,003	<0,005	0,89		<0,02	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01	<0,004	<0,01	<0,003	<0,005	<0,03		<0,02	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01	<0,003	<0,01	<0,003	<0,005
643	0,05		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,02	<0,005	<0,005	0,38		<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,003	<0,02	<0,003	<0,005	<0,03		<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,003	<0,02	<0,003	<0,005
657	0,24		<0,02	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<0,008	<0,01	<0,01	<0,006	<0,1		<0,03	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<0,006	<0,006	<0,01	<0,006	<0,03		<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,006	<0,01	<0,006
689	0,2		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,006	<0,02	<0,01	<0,008	<0,4		<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,02	<0,01	<0,008	<0,03		<0,02	<0,01	<0,005	<0,095	<0,01	<0,005	<0,03	<0,01	<0,006
724	0,02		<0,01	<0,01	<0,008	<0,01	<0,01	<0,008	<0,02	<0,01	<0,006	0,15		<0,02	<0,01	<0,007	<0,01	<0,01	<0,006	<0,02	<0,01	<0,006	<0,03		<0,02	<0,01	<,007	<0,005	<0,01	<0,005	<0,03	<0,01	<0,006

km	Sb-125											Ce-141											Ce-144										
475	<0,01		<0,05	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,005	<0,005	<0,003	<0,006	<0,004		<0,02	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,003		<0,002	<0,005	<0,02		<0,005	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	<0,005	<0,004	<0,006
589,9	<0,01		<0,003	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01	<0,004	<0,005	<0,003	<0,005	0,19		<0,02	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01	<0,003		<0,003	<0,005	0,08		<0,005	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,004	<0,005	<0,005	<0,006
643	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,003	<,005	<0,03		<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,003		<0,003	<0,005	0,035		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,005	<0,006
657	<0,01		<0,006	<0,01	<0,05	<0,05	<0,01	<0,006	<0,006	<0,01	<0,006	0,13		<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,004		<0,01	<0,005	<0,002		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,006	<0,01	<0,006
689	<0,01		<0,03	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01	<0,008	<0,01	<0,01	<0,008	0,2		<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005		<0,01	<0,005	<0,002		<0,008	<0,01	<0,007	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,008
724	0,01		0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,007	<0,01	<0,01	0,013	0,1		<0,02	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,006	<0,004		<0,005	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,008	<0,01	<0,01	<0,01

Tabelle A 16 :

Meßobjekt: Wasser
Bezug: pCi/l gelöst
Gewässer: Elbe

Probe-nahme-stelle (km)	Zentral-wert (LOG-Ver-teilung	Spannweite 1 SIG	Spannweite 3 SIG	N Werte	Meßwerte MIN	Meßwerte MAX
475	12,9	16,2 10,3	25,7 6,49	17	8,90	21,0
525	13,5	17,9 10,1	31,6 5,75	12	9,70	27,0
569,0	11,3	14,0 9,11	21,6 5,92	15	7,00	15,0
585,9	11,7	14,2 9,69	20,9 6,60	17	8,40	16,0
607,5	12,0	14,5 9,86	21,4 6,70	19	8,20	16,0
630,2	12,3	15,8 9,59	26,0 5,82	18	8,40	20,0
657	12,1	14,8 9,97	21,9 6,73	17	9,50	17,0
675	9,85	10,8 9,01	12,8 7,56	5	8,90	11,0
689	18,5	32,0 10,7	95,5 3,60	17	10,0	58,0
707	85,9	156 47,4	511 14,4	18	12,0	220
724	182	253 131	490 67,4	18	79,0	280
Neuwerk	271	310 236	406 181	5	230	320
Jeetzel	6,10	8,13 4,58	14,4 2,58	16	4,40	12,0
Oste	9,05	14,1 5,82	34,1 2,40	15	6,60	39,0

Tabelle A 17: Kalium (mg/l) Wasser (gelöster Anteil)

Probenahmestelle (km)	Zentralwert (LIN-Verteilung	Vertrauensgrenzen 1 - SIGMA Absolut	%	3 - SIGMA Absolut	%	Spannweite 1 SIG	3 SIG	N	Meßwerte MIN	MAX
475	86,4	12,3	14,2	36,8	42,5	98,7 74,2	123 49,7	17	62,0	100
525	80,1	11,7	14,6	35,2	43,9	91,8 68,4	115 44,9	12	62,0	100
569,0	81,3	12,9	15,8	38,6	47,5	94,2 68,5	120 42,7	15	62,0	97,0
585,9	84,2	14,0	16,7	42,1	50,0	98,2 70,2	126 42,1	17	62,0	97,0
607,5	77,9	18,9	24,2	56,6	72,6	96,8 59,1	135 21,4	19	26,0	100
630,2	78,7	19,2	24,4	57,7	73,3	98,0 59,5	136 21,0	19	22,0	98,0
657	82,0	12,5	15,3	37,5	45,8	94,5 69,5	120 44,5	17	52,0	97,0
675	85,0	5,61	6,60	16,8	19,8	90,6 79,4	102 68,2	5	79,0	92,0
689	86,8	14,3	16,5	42,9	49,4	101 72,5	130 43,9	17	55,0	110
707	125	30,0	24,1	90,1	72,2	155 94,8	215 34,7	18	59,0	182
724	180	35,6	19,8	107	59,5	215 144	286 72,7	18	110	273
Neuwerk	312	47,3	15,2	142	45,5	359 264	454 170	5	230	345
Jeetzel	79,1	16,6	21,1	49,9	63,2	95,7 62,4	129 29,1	17	53,0	110
Oste	54,1	12,5	23,1	37,6	69,4	66,7 41,6	91,7 16,5	14	39,0	88,0

Tabelle A 18: Ca^{2+} (mg/l) Wasser, gelöster Anteil

Probe-nahme-stelle (km)	Zentral-wert (LOG-Ver-teilung	Spannweite 1 SIG	Spannweite 3 SIG	N Werte	Meßwerte MIN	Meßwerte MAX
475	167	235 119	465 60,0	16	84,0	310
525	160	227 113	457 56,0	11	86,0	250
569,0	146	197 109	356 60,0	13	84,0	240
585,9	145	197 106	365 57,5	16	82,0	230
607,5	145	182 115	289 72,5	19	95,0	220
630,2	143	186 111	311 66,3	19	88,0	210
657	171	237 124	451 65,1	16	98,0	280
675	155	185 130	263 91,3	4	130	190
689	438	1133 170	7569 25,4	16	100	2400
707	3800	7123 2027	25038 577	16	56,0	8300
724	8492	11466 6289	20905 3450	17	3400	11900
Neuwerk	13043	15131 11243	20364 8353	5	10800	15400
Jeetzel	91,4	108 77,3	151 55,3	17	68,0	120
Oste	98,6	288 33,7	2461 3,95	12	48,0	1550

Tabelle A 19: Chlorid (mg/l) Wasser

Probenahmestelle (km)	Zentralwert (LOG-Verteilung	Spannweite 1 SIG	Spannweite 3 SIG	N Werte	Meßwerte MIN	Meßwerte MAX
475	0,54	0,70 0,41	1,18 0,24	14	0,35	0,84
525	0,47	0,56 0,39	0,82 0,27	9	0,35	0,58
569,0	0,49	0,62 0,38	1,00 0,24	11	0,33	0,60
585,9	0,47	0,60 0,37	0,99 0,23	15	0,33	0,81
607,5	0,46	0,61 0,35	1,08 0,20	15	0,31	0,86
630,2	0,44	0,57 0,34	0,95 0,21	15	0,31	0,81
657	0,42	0,51 0,35	0,73 0,24	13	0,31	0,54
675	0,49	0,71 0,34	1,50 0,16	4	0,35	0,73
689	0,51	0,74 0,35	1,59 0,16	15	0,32	1,00
707	1,86	2,94 1,17	7,39 0,47	15	0,94	3,30
724	2,88	4,55 1,82	11,4 0,73	13	1,10	6,00
Neuwerk	5,96	10,8 3,27	35,9 0,99	3	3,90	9,10
Jeetzel	0,24	0,35 0,17	0,72 0,08	14	0,12	0,41
Oste	0,20	0,33 0,13	0,87 0,05	13	0,12	0,72

Tabelle A 20: Sr^{2+} im Wasser (mg/l)

Probe-nahme-stelle (km)	Zentral-wert (LOG-Ver-teilung	Spannweite 1 SIG	Spannweite 3 SIG	N Werte	Meßwerte MIN	Meßwerte MAX
475	24,6	42,7 14,2	128 4,73	17	9,70	70,0
525	25,6	57,9 11,3	296 2,21	13	4,00	140
569,0	18,1	32,7 10,0	107 3,08	13	5,20	45,0
585,9	15,1	27,7 8,29	92,3 2,48	16	3,00	41,0
607,5	17,6	26,4 11,7	59,4 5,22	17	7,60	40,0
630,2	18,9	30,7 11,7	81,1 4,42	17	12,0	92,0
657	36,2	79,9 16,4	390 3,35	16	9,50	120
675	31,5	54,9 18,0	167 5,93	5	15,0	57,0
689	47,2	106 20,9	542 4,10	16	8,90	145
707	25,7	37,0 17,8	76,9 8,60	16	16,0	50,0
724	25,9	39,8 16,8	94,2 7,12	16	15,0	47,0
Neuwerk	43,8	55,8 34,4	90,5 21,2	4	34,0	45,0
Jeetzel	17,3	39,4 7,56	206 1,45	15	4,20	42,0
Oste	77,6	140 42,9	459 13,1	11	37,0	223

Tabelle A 21: Schwebstoffe (mg/l)

Probenahmestelle (km)	Zentralwert (LIN-Verteilung	Vertrauensgrenzen 1 - SIGMA Absolut	%	3 - SIGMA Absolut	%	Spannweite 1 SIG	3 SIG	N	Meßwerte MIN	MAX
475	216	22,4	10,4	67,3	31,2	238 193	283 148	19	180	250
525	218	18,5	8,48	55,4	25,4	236 199	273 162	14	190	260
569,0	205	22,4	10,9	67,2	32,8	227 182	272 138	17	180	260
585,9	205	19,5	9,52	58,6	28,6	225 186	264 147	19	180	230
607,5	205	18,9	9,20	56,6	27,6	224 186	262 148	18	180	260
630,2	203	22,4	11,0	67,1	33,0	226 181	270 136	19	150	240
657	200	15,1	7,53	45,2	22,6	215 185	245 155	16	180	230
675	184	11,4	6,20	34,2	18,6	195 173	218 150	5	170	200
689	194	19,7	10,2	59,2	30,6	214 174	253 135	18	160	240
707	169	21,1	12,5	63,3	37,5	190 148	232 106	18	130	220
724	137	18,4	13,4	55,2	40,2	156 119	192 82,0	18	100	160
Neuwerk	90,0	15,8	17,6	47,4	52,7	106 74,2	137 42,6	5	70,0	100
Jeetzel	92,1	21,8	23,6	65,3	70,8	114 70,4	157 26,9	19	70,0	150
Oste	149	16,5	11,1	49,6	33,2	166 133	199 99,8	16	120	180

Tabelle A 22: H-3 (pCi/l) Wasser

Probe-nahme-stelle (km)	Zentral-wert (LOG-Ver-teilung	Spannweite 1 SIG	Spannweite 3 SIG	N Werte	Meßwerte MIN	Meßwerte MAX
475	10,1	16,4 6,15	43,9 2,30	15	5,00	22,0
525	11,4	19,1 6,87	53,0 2,47	12	5,00	24,0
569,0	15,1	25,7 8,86	74,6 3,05	16	7,00	67,0
585,9	14,1	23,5 8,48	65,0 3,07	19	4,00	45,0
607,5	14,2	22,4 9,03	55,4 3,64	16	6,00	29,0
630,2	12,1	19,1 7,70	47,3 3,11	16	4,00	22,0
657	14,4	23,2 8,99	59,8 3,49	16	8,00	31,0
675	8,24	14,6 4,64	46,2 1,47	5	4,00	18,0
689	24,9	60,0 10,3	349 1,77	16	8,00	240
707	139	216 89,4	521 37,0	12	25,0	290
724	222	314 157	630 78,4	14	120	390
Neuwerk	364	538 245	1181 112	4	260	560
Jeetzel	6,42	9,02 4,57	17,8 2,31	13	4,00	19,0
Oste	20,7	55,1 7,74	393 1,09	9	4,00	63,0

Beispiel einer statistischen Auswertung von radiolog. Meßdaten
Cs-137 im Wasser [fCi/l], gelöster Anteil
Elbe 1978 - 1981

Tabelle A 23: Cs-137 im Wasser (fCi/l) gelöster Anteil

Probe-nahme-stelle (km)	Zentral-wert (LOG-Ver-teilung	Spannweite 1 SIG	Spannweite 3 SIG	N Werte	Meßwerte MIN	Meßwerte MAX
475	0,45	0,84 0,24	2,91 0,07	16	0,07	0,87
525	0,35	0,69 0,18	2,68 0,05	12	0,05	0,77
569,0	0,32	0,59 0,18	1,99 0,05	16	0,03	0,83
585,9	0,40	0,66 0,24	1,79 0,09	17	0,09	0,96
607,5	0,37	0,57 0,24	1,36 0,10	16	0,14	0,67
630,2	0,42	0,59 0,30	1,13 0,16	17	0,05	0,71
657	0,38	0,59 0,25	1,39 0,11	14	0,16	0,66
675	0,51	0,57 0,46	0,71 0,37	4	0,47	0,59
689	0,40	0,73 0,22	2,44 0,06	15	0,13	1,20
707	0,49	0,88 0,27	2,86 0,08	15	0,10	1,10
724	0,43	0,74 0,24	2,25 0,08	13	0,16	0,98
Neuwerk	0,68	0,76 0,62	0,94 0,50	4	0,34	0,77
Jeetzel	0,19	0,38 0,01	1,47 0,03	15	0,09	0,83
Oste	0,35	0,64 0,20	2,09 0,06	12	0,13	0,93

Tabelle A 24: Sr-90 im Wasser (pCi/l) gelöster Anteil

Probe-nahme-stelle (km)	Zentral-wert (LOG-Ver-teilung	Spannweite 1 SIG	Spannweite 3 SIG	N Werte	Meßwerte MIN	Meßwerte MAX
475	0,43	0,60 0,30	1,20 0,15	16	0,29	0,79
525	0,42	0,56 0,31	1,02 0,17	12	0,21	0,60
569,0	0,48	0,74 0,31	1,77 0,13	14	0,16	0,77
585,9	0,59	0,92 0,38	2,26 0,15	15	0,30	1,50
607,5	0,47	0,58 0,38	0,90 0,24	17	0,30	0,77
630,2	0,37	0,51 0,27	0,98 0,14	17	0,21	0,60
657	0,28	0,51 0,15	1,72 0,05	16	0,07	0,83
675	0,41	0,48 0,36	0,65 0,26	5	0,32	0,43
689	0,63	0,90 0,45	1,83 0,22	16	0,29	1,10
707	0,60	0,79 0,46	1,34 0,27	16	0,31	0,89
724	0,59	0,84 0,42	1,66 0,21	16	0,26	1,00
Neuwerk	0,21	0,24 0,19	0,29 0,15	4	0,20	0,42
Jeetzel	0,41	0,81 0,21	3,15 0,05	15	0,06	1,10
Oste	0,94	1,25 0,70	2,24 0,39	12	0,61	1,50

Tabelle A 25: Cs-137 in Schwebstoffen (pCi/g)

Probe-nahme-stelle (km)	Zentral-wert (LOG-Ver-teilung	Spannweite 1 SIG	Spannweite 3 SIG	N Werte	Meßwerte MIN	Meßwerte MAX
475	10,2	17,5 5,97	51,2 2,04	16	4,00	21,0
525	11,5	25,8 5,09	131 1,00	12	2,00	57,0
569,0	8,89	18,0 4,39	73,7 1,07	14	2,00	25,0
585,9	8,34	15,3 4,55	51,6 1,35	15	4,00	36,0
607,5	8,24	14,0 4,84	40,7 1,67	17	2,00	26,0
630,2	6,00	9,02 4,00	20,4 1,77	17	3,00	11,0
657	9,97	33,9 2,94	391 0,25	16	1,00	47,0
675	12,7	25,0 6,48	96,3 1,68	5	5,00	25,0
689	29,6	61,3 14,3	264 3,32	16	8,00	79,0
707	15,2	25,2 9,23	68,7 3,38	16	8,00	45,0
724	15,7	30,1 8,23	111 2,24	16	6,00	47,0
Neuwerk	8,57	10,3 7,14	14,9 4,95	4	7,00	17,0
Jeetzel	5,17	13,7 1,94	96,9 0,28	15	1,00	21,0
Oste	70,1	132 37,3	468 10,5	11	29,0	190

Tabelle A 26: Cs-137 im Wasser (fCi/l) ungelöster Anteil

Probe-nahme-stelle (km)	Zentral-wert (LOG-Ver-teilung	Spannweite 1 SIG	Spannweite 3 SIG	N Werte	Meßwerte MIN	Meßwerte MAX
475	0,96	1,72 0,54	5,50 0,17	15	0,44	2,70
525	1,00	3,14 0,32	31,1 0,03	12	0,08	11,4
569,0	0,59	1,67 0,21	13,4 0,03	14	0,07	2,20
585,9	0,56	1,12 0,28	4,46 0,07	16	0,20	3,30
607,5	0,58	1,31 0,26	6,68 0,05	16	0,10	2,20
630,2	0,50	0,92 0,27	3,11 0,08	16	0,21	1,30
657	0,75	1,89 0,30	12,0 0,05	15	0,12	2,70
675	1,54	4,67 0,51	43,2 0,05	5	0,45	6,20
689	1,29	3,51 0,47	26,2 0,06	15	0,28	9,80
707	0,1	0,21 0,05	0,95 0,01	12	0,03	0,56
724	0,07	0,13 0,03	0,57 0,01	14	0,03	0,20
Neuwerk	0,03	0,05 0,02	0,12 0,01	3	0,02	0,05
Jeetzel	0,75	2,52 0,22	28,6 0,02	15	0,05	3,70
Oste	2,55	9,75 0,67	143 0,05	11	0,53	26,0

Tabelle A 27: Cs-137 im Wasser (Verhältnis ungelöster/gelöster Anteil)

Probe-nahme-stelle (km)	Zentral-wert (LOG-Ver-teilung	Spannweite 1 SIG	Spannweite 3 SIG	N Werte	Meßwerte MIN	Meßwerte MAX
475	20,8	31,0 13,9	69,1 6,24	15	13,0	43,0
525	26,9	42,3 17,1	105 6,94	12	14,0	62,0
569,0	26,6	39,9 17,8	89,7 7,90	14	12,0	92,0
585,9	23,3	36,3 15,0	87,8 6,20	15	8,00	47,0
607,5	23,7	31,4 17,8	55,4 10,1	16	15,0	43,0
630,2	18,9	26,2 13,6	50,5 7,06	16	9,00	33,0
657	25,3	50,0 12,8	195 3,28	16	9,00	76,0
675	23,3	31,3 17,3	56,6 9,55	5	16,0	29,0
689	54,6	91,1 32,8	254 11,8	15	17,0	110
707	155	229 105	499 48,4	12	39,0	300
724	242	337 174	650 90,4	14	130	410
Neuwerk	392	665	1914 231	3 80	270	570
Jeetzel	12,5	18,1 8,56	38,4 4,04	13	7,00	30,0
Oste	108	176 65,8	470 24,6	12	33,0	200

Tabelle A 28: Cs-137 im Wasser (fCi/l) Summe gelöster + ungelöster Anteil

km	Zr-95											Nb-95											Ru-103										
	81				82				83			81				82				83			81				82				83		
	5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11	5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11	5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11
475	2,7	0,53	<0,2	<0,06	<0,1	<0,1	<0,06	<0,1	<0,2	<0,5	<0,05	12	0,90	1	<0,06	<0,1	<0,1	<0,05	<0,06	<0,2	<1	<0,05	<0,7	0,07	<0,5	<0,05	<0,1	<0,05	<0,03	<0,06	<0,08	<0,7	<0,05
585,9	2,9	0,96	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,08	<0,2	<0,1	<0,2	<0,4	11	1,2	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,06	<0,1	<0,1		<0,4	<0,4	0,14	<0,5	<0,07	<0,1	<0,1	<0,05	<0,1	<0,05		<0,3
643	1,4	0,32	<0,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,3	<0,01	<0,1	<0,2	<0,04	6,4	0,79	<0,5	<0,1	<0,2	<0,1	<0,2	<0,08	<0,1	<0,2	<0,04	<0,3	0,06	<0,5	<0,1	<0,1	<0,05	<0,2	<0,07	<0,1	<0,2	<0,04
657	1,1	0,22	<0,4	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,08	<0,2	<0,2	<0,1	4,3	0,32	<0,7	<0,1	<0,1	<0,05	<0,03	<0,06	<0,2	<0,2	<0,1	<0,3	<0,03	<0,5	<0,06	<0,04	<0,03	<0,05	<0,05	<0,08	<0,2	<0,07
689	0,6	0,4	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,1	<0,09	<0,06	2,8	0,79	0,3	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,03	<0,1	<0,09	<0,06	<0,1	<0,04	<0,03	<0,03	<0,04	<0,03	<0,05	<0,03	<0,06	<0,06	<0,06
724	0,6	0,18	<0,1		<0,2	<0,2	<0,1	<0,05	<0,2	<0,08	<0,1	1,5	0,52	<0,1		<0,2	<0,2	<0,1	<0,03	<0,2	<0,08	<0,1	<0,1	0,05	<0,1	<0,03	<0,1	<0,1	<0,06	<0,03	<0,2	<0,05	<0,08

km	Sb-125											Ce-141											Ce-144										
475	<0,5	<0,07	<0,2	<0,1	<0,1	<0,05	<0,06	<0,1	<0,1	<0,2	<0,06	<1	0,06	<0,7	<0,1	<0,04		<0,03	<0,05		<1	<0,05	<0,8	0,80	0,78	<0,1	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,4	<0,06
589,9	<0,3	0,1	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,1		<0,5	<0,5	0,08	<0,6	<0,2	<0,05	<0,1	<0,04	<0,1			<0,3	1,8	1,1	0,42	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,2	<0,1		<0,5
643	<0,4	<0,08	<0,1	<0,3	<0,1	<0,04	<0,3	<0,1	<0,1	<0,2	<0,05	<0,5	0,02	<0,6	<0,2	<0,2	<0,1	<0,6	<0,05		<0,3	<0,06	1,6	0,66	<0,2	<0,2	<0,3	<0,1	<0,5	<0,2	<0,1	<0,4	<0,1
657	<0,4	<0,06	<0,2	<0,2	<0,1	<0,05	<0,06	<0,1	<0,1	<0,2	<0,08	<0,5	<0,02	<0,6	<0,04	<0,05	<0,05	<0,02	<0,05		<0,3	<0,06	0,85	0,33	<0,2	<0,1	<0,2	<0,05	<0,08	<0,1	<0,2	<0,3	<0,1
689	<0,6	<0,06	<0,05	<0,1	<0,2	<0,1	<0,2	<0,04	<0,1	<0,07	<0,06	<0,4	<0,03	<0,6	<0,1	<0,01	<0,07	<0,04	<0,03		<0,06	<0,04	0,73	0,77	0,42	<0,2	0,26	<0,07	<0,2	<0,05	<0,1	<0,2	<0,07
724	<0,2	<0,1	<0,1	<0,07	<0,2	<0,1	<0,2	<0,05	<0,2	<0,08	<0,1	<0,1	0,03	<0,06	<0,1	<0,02	<0,1	<0,05	<0,03		<0,1	<0,08	<0,2	0,73	0,2	<0,2	0,21	<0,1	<0,2	<0,06	<0,3	<0,1	<0,1

Tabelle A 29.1: Meßobjekt: Schwebstoffe
Bezug: pCi/g Trockensubstanz
Gewässer: Elbe

km	Be-7											K-40												Ra-226 über Pb-214										
	81			82					83			81			82					83			81			82					83		
	5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11	5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11	5	8	11	2/3	6	8	10	2	5	8	11
475		3,3	7	2,0	4,5	2,6	2,5	2,1	3,5		4,1	19	13	12	20	21	28	13	12	11	10	13		1,2	2,4	2,0	1,6	1,5	1,6	3,1	2,2	0,9	3,1
585,9		3,5	8	3,4	3,4	2,6	2,2	2,3	3,1		<1	11	10	12	13	11	11	6,8		8,9		8	0,9	0,90	2,3	2,5	2		1,6	1,5	2,1	0,94	1
643		2,6		<1	<0,5	0,5	<1	<0,5	2,3	<0,5	1,4	12	9,6	12	12	6,0	13	17	11			15	1,1	0,70	2,0	1,0	0,6	1,2	0,25	1,5	2,1		1,0
657		1,1		3,2	1,8	<0,2	<0,2	<0,3	2,4	<1	0,86	13	8,5	9,4	15	12	7,1	8,1	11	11	16	26	1,1	0,65	1,3	1,3	1,3	0,7		1,5	1,6	0,58	1,6
689		0,9	1,5	1,5	2,9	1,6	<0,5	1,1	1,7	<0,3	0,59	17	13	15	13	16	14	16	10	19	21	13	1,0	0,56	1,4	1,1	0,7	0,8	0,65	0,9	1,3	0,46	0,57
724		1,3	<0,6	1,6	3,2	<0,7	<0,5	1,3	<1	0,68	2,6	15	14	15	17		15	14	12		13	14	0,8	0,56	0,6	0,50		0,6	0,52	0,6	0,80	0,34	0,51

km	Co-60											J-131												Cs-134										
475	<0,2	<0,04	<0,05	<0,07	0,08	<0,05	<0,04	<0,05	<0,06	<0,08	<0,03	<0,1		0,9	0,37	<0,3	<1		<0,7	<0,3	<0,05	<0,1	<0,04	<0,05	<0,04	<0,03	<0,06	<0,08	<0,1	<0,03
589,9	<0,2	0,04	<0,05	<0,08	<0,05	<0,04	<0,04	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1		<4	0,82	<0,2	<0,7		<5	<0,3	<0,06	<0,1	<0,1	<0,06	<0,04	<0,04	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1
643	<0,2	<0,05	<0,05	<0,07	<0,05	<0,04	<0,1	<0,06	<0,05	<0,08	<0,02	<0,3		<0,3	<1	<0,3	<0,6	<0,2	<0,7	<0,3	<0,06	<0,1	<0,2	<0,05	<0,05	<0,1	<0,08	<0,05	<0,1	<0,02
657	<0,2	0,08	<0,05	<0,1	<0,05	<0,03	<0,02	<0,05	<0,07	<0,08	<0,05	<0,4	<0,2	<0,06	<0,05	<0,1	<0,6	<0,2	<1	<0,3	<0,04	<0,1	<0,1	<0,07	<0,03	<0,03	<0,06	<0,07	<0,1	<0,05
689	<0,03	<0,05	<0,03	<0,02	<0,04	<0,04	<0,1	0,12	<0,06	0,18	<0,02	<0,07	<0,2	<0,2	<0,1	<0,04	<2	<0,07	<0,8	<0,04	<0,07	<0,03	<0,03	<0,07	<0,04	<0,05	<0,03	<0,06	<0,06	<0,02
724	<0,07	<0,04	<0,04	<0,04	<0,06	<0,05	<0,06	0,04	<0,1	0,05	<0,04	<0,06	<0,3	<3	<0,2	<0,05	<2	<0,08	<1	<0,1	<0,07	<0,05	<0,03	<0,1	<0,08	<0,08	<0,03	<0,2	<0,05	<0,04

Tabelle A 29.2 :

Meßobjekt: Schwebstoffe
Bezug: pCi/g Trockensubstanz
Gewässer: Elbe

Jahr	1978					1979									1980				
Monat	8	9	10	11	12	4 *	5	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5 *	6	7
Schnackenburg	664	608	893	498	483	2040	1190	580	555	423	292	640	512	739	916	1100	1330	608	673
Geesthacht	862	579	908	529	512	2101	1273	607	584	408	308	674	539	782	976	1200	1400	655	709

Bemerkung: * Maximum des Hochwassers
** Abklingendes Hochwasser

	1981			1982				1983			
	5	8	11 *	2/3	6	8	10	2	5	8	11
Schnackenburg	880	815	656	2260	423	287	275	710	919	225	311
Geesthacht	923	858	691	2380	445	303	289	748	968	237	328

Bemerkung: * Beginn des Hochwassers

Tabelle A 30 : Abflüsse an den Untersuchungstagen der Meßprogramme 1978 - 1983 für Probenahmestelle Schnackenburg und Geesthacht in m^3/s (Datum der Probenahme siehe Tabellen 1a, b)

Stelle /Jahr	Wasser										Schwebstoffe		Sedimente
	H-3 pCi/l		Sr-90 gelöst (pCi/l)		J-131 gelöst (pCi/l)		Cs-137 (gelöst (pCi/l)		Cs-137 gesamt (pCi/l)		Cs-137 (pCi/g)		Cs-137 (pCi/g)
	78-80	81-83 *	78-80	81-83 **	79-80	81-83	78-80	81-83	78-80	81-83	78-80	81-83	78-83
475	216	146	0,45	0,56	0,09	0,21	0,010	0,013	0,021	0,021	0,45	0,27	
525	218		0,35				0,011		0,027		0,42		0,20
569,2	205		0,32				0,015		0,027		0,48		
585,9	205	141	0,40	0,53	< 0,04	0,17	0,014	0,016	0,023	0,025	0,59	0,33	
607,5	205		0,37				0,014		0,024		0,47		0,38
630,2	203		0,42				0,012		0,019		0,37		
643		135		0,51		0,12		0,017		0,034		0,34	
657	200	133	0,38	0,51	< 0,04	0,09	0,014	0,018	0,025	0,028	0,28	0,35	0,086
675	184		0,51				0,008		0,023		0,41		
689	194	134	0,40	0,55	< 0,04	0,04	0,025	0,046	0,055	0,074	0,63	0,64	0,29
707	169		0,49		< 0,04		0,14		0,16		0,60		
724	137	57	0,43	0,86	< 0,04	< 0,02	0,22	0,35	0,24	0,37	0,59	0,66	0,27
Neuwerk	90		0,68				0,36		0,39		0,21		
Jeetzel	92		0,19				0,006		0,013		0,41		0,43 ***
Oste	149		0,35				0,21		0,11		0,94		

Bemerkung: * H-3-Werte bis einschließlich August 1983
** Sr-90-Werte bis einschließlich Februar 1983
*** Mittelwert 1978 - 1981

Tabelle A 31 : Elbe Schnackenburg - Cuxhaven
Zusammenstellung der Zentralwerte 1978 - 1980 und 1981 - 1983

	1978 - 1980		1978 - 1983		
	K_d *	K^+ (mg/l)	K_d ** Zentralwert	Standardabweichung - 1s	Standardabweichung + 1s
km					
475	43 000	12,9	36 000	18 700	70 700
525	38 000	13,5			
569,0	32 000	11,3			
585,9	42 000	11,7	27 400	15 400	49 100
607,5	34 000	12,0			
630,2	31 000	12,3			
657	20 000	12,1	21 000	13 000	34 000
675	51 000	9,9			
689	25 000	18,5	19 000	8 500	44 000
707	4 300	85,9			
724	2 600	182	2 400	1 400	2 400
Neuwerk	580	271			
Jeetzel	64 000	6,1			
Oste	35 000	9,1			

* Faktoren aus Zentralwerten ermittelt

** Faktoren aus Einzelwerten ermittelt, log-Normalverteilung

Tab. A 32

Tabelle A 32: Übergangsfaktoren (K_d) Schwebstoffe/Wasser für Cs-137

$$K_d = \frac{\text{Cs-137 [pCi/kg] Trockensubstanz der Schwebstoffe}}{\text{Cs-137 [pCi/l] gelöst in Wasser}}$$

Datum	Cs-137	Co-60 pCi/l	H-3
29.03.78	0,040	< 0,04	260
11.04.78	< 0,03	< 0,04	250
24.04.78	< 0,02	< 0,04	270
11.05.78	0,06	< 0,04	260
25.05.78	< 0,04	< 0,04	250
11.06.78	0,06	< 0,04	220
22.06.78	0,03	< 0,04	270
10.07.78	0,04	< 0,04	250
25.07.78			280
09.08.78			260
22.08.78	0,03	< 0,04	240
08.09.78	< 0,02	< 0,04	240
23.09.78	< 0,02	< 0,04	240
10.10.78	0,24	< 0,04	240
26.10.78			220
09.11.78			210

Datum	Cs-137	Co-60 pCi/l	H-3
08.12.78			230
20.12.78			240
16.01.79	< 0,01	< 0,04	230
25.01.79	< 0,02	< 0,04	210
01.02.79	< 0,01	< 0,04	210
06.03.79	0,059	< 0,04	210
22.03.79	< 0,02	< 0,04	220
17.05.79	0,04	< 0,04	230
14.06.79	0,05	< 0,04	230
Aug. - Okt. 79	0,05	< 0,03	220
Dez. 79 - Jan. 80	<0,02	< 0,03	180
Feb. - Apr. 80	0,03	< 0,04	190
Mai - Juli 80	<0,03	< 0,04	200
Aug. - Okt. 80			180
Nov. 80 - Jan. 81			
Feb. 81 - März 81			

Tabelle A 33: **Wasseruntersuchung der Elbe bei km 483 (Pevestorf) 1978 - 1979**
Untersuchung der Gesamtprobe (gelöster + ungelöster Anteil) zur Bestimmung der y-Strahler nach dem Eindampfverfahren

Probenahmestelle	km	Datum	Cs-137	Co-60	Mn-54	Fe-59	Co-57	Co-58	Zn-65	Zr-95	Nb-95	Ru-103	Ru-106	Ag-110	Sb-124	Sb-125	Cs-134	Ce-144	K-40	Ra-226	Pb-214	Ac-228
Elbe Schnackenburg	474,6	22.08.78	400	<20	<30				<100				<200			<50	<30	<300				
		08.11.78	380	<30	<30				<20				<100			<70	<20	<200				
		29.05.79	580	<8	<10				<30				170			<30	<10	330				
		05.11.79	200	<6	<20				<20				<100			<20	<50	<80				
		25.05.80	520	<9	<10		<20	<80	<40				<100	<20		<30	<10	<100		6800	2500	1800
		18.06.80	540	<7	<10	<100	<10	<30	<20	<70	<40	<100	<90	<10	<70		<10	260		5600	2100	1800
		23.09.81	300	<5	<10		<6	<30	<20				<50	<10		<20	<5	<50	9900	3300	1200	900
		22.09.82	290	<5	<10		<5	<40	<20				<40	<10	<100	<30	<5	<50	11000	-	1600	720
		13.09.83	150	<4	<10	<10	<5	<5	<10	<10	<10	<10	<20	<5	<10	<8	<4	<20	11000	2200	1300	900
Hitzacker	524,7	22.08.78	40	<10	<20				<60				<200			<30	<20	<10				
		08.11.78	420	<20	<30				<90				<20			<60	<30	400				
		10.06.80	270	<5	<8		<9	<40	<20				<70	<10	<100	<20	<10	<70	6600	3100	1300	840
		24.09.81	770	<5	<10		<6	<60	<30				370	<10			<5	<80	18000	7800	4300	2000
		22.09.82	78	<5	<10	<30	<5	<10	<10	<40	<30	<20	<20	<5	<20	<20	<5	<20	7800	1300	590	440
		13.09.83	120	<4	<10	<20	<5	<5	<8	<10	<10	<10	<20	<5	<5	<8	<4	<20	9900	1700	1100	730
Bleckede	549,4	10.06.80	100	<4	<10	<100	<7	<20	<100	<40	<20	<60	<50	<9	<40	<15	<10	<50		1200	580	450
		22.09.81	570	<5	<10		<8	<30	<20				<60	<10		<20	<5	<60	15000	4900	2300	1600
		13.09.83	99	<4	<10	<10	<4	<5	<5	<10	<10	<8	<20	<5	<8	<8	<4	<20	9100	1400	830	590
Lauenburg	569,0	08.11.78	220	<10	<10				<40				<100	<10		<30	<10	70				
		22.09.81	410	<5	<10		<6	<20	<10				<30	<10		<20	<5	<30	11000	4700	2600	
Niedermarschacht	582,2	09.06.80	430	<7	<10		<10	<60	<30				<100	<20		<30	<10	<90		4700	2000	1300
		24.09.81	600	<5	<10		<7	<30	<20				87	<10			<5	150	13000	5600	2300	1400
		15.09.83	79	<4	<10	<10	<5	<5	<5	<10	<10	<5	<20	<5	<5	<8	<4	<20	9100	2200	1400	780
Geesthacht	584,5	26.04.77	540	<20	<30				<60											8000		2200
		05.10.77	250	<20	<30				<60											3500		610
		08.11.78	520	<20	<30				<60				500					600		6200		1300
		30.05.79	110	<5	<10				<20				<50			<20	<10	<50				
		05.11.79	68	<6	<10		<9	<60	<20				<60	<10	<100	<20	<10	<80		1100	520	420
		28.05.80	100	<5	<10	<100	<10	<20	<20	<50	<30	<80	<50	<10	<40	<20	<10	<50	8100	1100	530	400
		09.06.80	1100	<7	<10	<300	<10	<50	<30	<100	<60	<300	<90	<20	<100	<30	<10	<80		7200	3300	1100
		21.09.81	20	<5	<10	<100	<5	<20	<10	<50	<50	<80	<20	<5	<30	<20	<5	<20	7400	530	250	240
		24.09.82	28	<5	<10	<100	<5	<10	<10	<50	<50	<60	<20	<6	<30	<10	<5	<20	8700	560	300	300
		24.09.82	170	<5	<10	<50	<5	<10	<10	<20	<50	<40	<20	<6	<20	<20	<5	<30	11000	3200	1800	960
		15.09.83	22	<4	<10	<10	<4	<5	<5	<10	<10	<5	<10	<5	<5	<8	<4	<10	7700	450	280	300
Jeetzel bei		22.08.78	140	<10	<20				<70				<200			<30	<10					
Hitzacker		29.05.79	560	<7					<30				330			<20	<10	360				
		05.11.79	700	<10	<30		<20		<60				300	<40		<40	<30	400	13000	5200	2800	1500
		27.05.80	510	<5	<7		<8	<50	<20				<70	<10	<70	<30	<10	140		6200	2300	1800
		23.09.81	240	<5	<10		<5	<50	<30				<40	<10		<20	<5	<50	15000	1900	1000	1000
Ilmenau		21.09.81	390	<5	<10		<6	<30	<20				<50	<10	<50	<20	<5	180	9200	2600	1500	890

Tabelle A 34 :

Jahr : 1977 - 1983

Meßobjekt: Sedimente

Bezug : pCi/kg Trockensubstanz

Gewässer : Elbe im tidefreien Bereich Jeetzel und Ilmenau

Probenahme-stelle	km	Datum	Cs-137	Co-60	Mn-54	Fe-59	Co-57	Co-58	Zn-65	Zr-95	Nb-95	Ru-103	Ru-106	Ag-110	Sb-124	Sb-125	Cs-134	Ce-144	K-40	Ra-226	Pb-214	Ac-228
Elbe	607,2	06.11.78	210	<60	<80				<30				<600			<50	<70	<400				
Oortkaaten	-	24.06.80	530	<4	<10		<20		<40				<100	<20		<30	<10	130	15000	4900	2500	1400
	609,8	01.10.81	240	<5	<10		<5	<30	<20				<40	<10	<50	<20	<5		9000			
		03.12.82	690	<5	<10	<60	<7	<20	<20	<50	<60	<50	<60	<10	<40	<20	<5	<50	15000	6000	3300	1800
		16.09.83	780	<4	<10	<20	<5	<7	<10	<20	<20	<20	<40	<5	<20	<20	<5	<40	14000	7300	4000	2000
HH-Norder-	621																					
elbe	-	24.06.80	400	<4	<10		<20		<20					<10		<20	<10		8900			
	622,9	24.06.80	340	<6	<10	<100	<9	<20	<20	<50	<30	<80	<70	<10	<50	<20	<10	<60		3100	1200	1100
		01.10.81	500	9	<10		<10	<30	<20				520	<10		80	<5	790	15000	4300	2300	1200
		30.09.81	310	<5	<10		<8	<40	<20				<60	<10		<20	<5	<60	13000	3500	1500	1200
		01.06.82	330	10	<10	<10	<5	<6	<10	<30		<5	170	<5	<10	40	<6	260	13000	4000	1400	1400
		24.09.82	240	<5	<5	<20	<5	<6	<10	<20	<30	<20	80	<6	<10	<20	<5	<10	14000		1000	830
		03.12.82	370	9	<10	<50	<60	<10	<20	<100	<50	<30	<50	<6	<30	<20	<5	520	13000	3700	1900	1500
		16.09.83	280	13	<10	<10	<5	<5	<6	<20	<20	<8	100	<5	<8	30	<5	<20	14000	2800	1400	1400
		16.09.83	300	<5	<10	<20	<5	<10	<10	<20	<20	<20	<40	<5	<20	<10	<5	<30	13000	3200	1700	1300
HH-Süder-	615,5	24.06.80	260	<5	<10	<140	<10	<20	<20			<100	<70	<10	<50	<20	<10	100			1000	750
elbe		30.09.81	970	<7	<10		<10	<30	<20				330	<10		<20	<5	360	19000	8400	4800	1200
		06.09.82	320	<5	<10	<60	<5	<20	<10	<50	<50	<50	160	<5	<30	20	<5	520	13000	3400	1700	1500
		16.09.83	450	8	<10	<20	<5	<8	<6	<10	<10	<10	<30	<5	<20	<10	<5	<30	16000	4800	3000	2100

Tabelle A 35 :

Jahr : 1977 - 1983

Meßobjekt: Sedimente
Bezug: pCi/kg Trockensubstanz
Gewässer: Elbe im Tidebereich

Bereich der Probenahme	km	Datum	Cs-137	Co-60	Mn-54	Fe-59	Co-57	Co-58	Zn-65	Zr-95	Nb-95	Ru-103	Ru-106	Ag-110	Sb-124	Sb-125	Cs-134	Ce-144	K-40	Ra-226	Pb-214	Ac-228
Stade	652	07.11.77	<20	<20	<20																	
	-	07.11.77	180	<20	<30				<60											1800		
	660	27.05.80	45	<5	<10		<8	<30	20	<60	<30	100	<60	<10	<60	<20	<10	<60		1500	710	880
		02.07.80	80	<4	<10	<100	<6	<20	<10	<50	<30	<80	<50	<8	<40	<10	<10	<50	11000	1100	510	380
		02.07.80	190	<6	<10	<80	<8	<20	<20	<40	<20	<50	100	<10	<40	<20	<10	<50		1300	750	720
		14.10.81	42	<5	<10	<10	<5	<20	<10			<60	<30	<7	<30	<20	<5	<30	7400	720	350	310
		29.03.82	100	7	<10	<10	<5	<5	<10	<20	<20	<5	<30	<5	<10	<10	<6	<30	11000	1400	610	610
		18.05.82	80	<5	<10	<10	<5	<5	<10	<20	<20	<5	<30	<5	<10	<10	<6	140	13000	1300	590	510
		21.09.83	43	<4	<10	<10	<5	<5	<5	<10	<10	<6	<20	<5	<5	<10	<4	<20	7900	610	330	300
		23.09.83	170	12	<10	<10	<5	<6	<8	<20	<20	<6	<20	<5	<5	<10	<4	<20	11000	1300	700	620
Schwarz-	665	18.05.82	110	<5	<10	<10	<5	<5	<10	<20	<20	<5	<20	<5	<10	<10	<10	40	13000	1400	720	680
tonnen-		06.09.82	110	<5	<10	<60	<5	<10	<10	<50	<50	<40	<30	<5	<20	<20	<5	<40	10000	1500	680	610
sand		23.09.83	93	<4	<10	<10	<4	<6	<8	<10	<10	<6	<20	<5	<6	<10	<5	<20	11000	1100	590	550
Krautsand	671,9	14.10.81	80	<5	<10	<90	<5	<10	<10			<60	<30	<10	<30	<20	<5	90	8900	890	500	460
		18.05.82	130	<5	<10	<60	<5	<10	<10	<50	<50	<40	<30	<5	<10	<10	<4	80	12000	1600	850	720
		06.10.82	120	7	<10	<20	<4	<5	<10	<20	<10	<5	<30	<5	<40	<10	<5	<30	12000	1000	590	570
St. Marga-	680	07.11.77	90	<20	<30					<60										1600		640
rethen	-	27.05.80	200	<4	<10	<200	<6	<20	<20	<50	<30	<70	<50	<10	<40	<10	<10	<40		1600	890	830
	690	30.09.83	200	7	<10	<20	<5	<5	<10	<10	<10	<8	110	<5	<10	<10	<5	<30	12000	1600	860	820
Bruns-	692	27.05.80	190	<6	<10	<100	<8	<20	<20	<50	<30	<70	100	<10	<40	<20	<4	<60		1300	750	720
büttel	-	14.10.81	240	<5	<10	<100	<5	<20	<10			<70	130	<10	<30	<20	<5	130	11000	1100	630	580
	696	03.12.81	340	<5	<10	<40	<6	<10	<20			<20	<50	<8	<20	<20	<5	200	12000	1700	860	700
		03.12.82	630	30	<10	<40	<5	<10	<10	<50	<50	<30	340	<5	<20	60	18	<30	16000	1500	890	990
		23.09.83	130	<4	<10	<10	<4	<6	<6	<20	<20	<8	90	<5	<8	<10	<5	<20	11000	1100	660	650
		30.09.83	250	7	<10	<10	<5	<5	<6	<20	<20	<8	140	<5	<8	30	9	<20	12000	1400	710	670
Neufeld-	700	24.06.80	300	<9	<10	<200	<8	<30	<20	<70	<40	<100	<60	<10	<70	<20	6	<60		1300	770	780
Reede	-	03.12.81	490	<5	<10	<40	<5	<10	<10	<50	<50	<30	<50	<7	<20	30	23	<40	14000	1900	1000	990
	701	03.12.82	220	8	<10	<30	<5	<10	<10	<50	<50	<20	110	<5	<20	30	<5	<30	11000	1200	620	650
		23.12.82	400	20	<10	<60	<5	<20	<10	<100	<100	<40	310	<5	<30	70	14	60	13000	1600	810	820
		28.09.83	370	11	<10	<10	<4	<5	<7	<20	<20	<7	180	<5	<6	20	10	<20	14000	1500	870	940
Müggendorf	715	28.09.83	220	8	<10	<20	<4	<6	<8	<20	<30	<10	140	<5	<10	20	7	<20	13000	1200	640	720
Cuxhaven	724	30.05.79	220	<6	<10				<20				<60			<20	<4	70				
	-	27.05.80	140	<4	<10		<6	<30	<20	<70	<40	<200	<50	<8	<70	<10	<10	<40		670	310	370
	727	03.07.80	350	<8	<10	<150	<5	<20	<10	<50	<30	<100	180	<7	<50	30	9	<40	14000	1300	630	660
		03.12.81	280	7	<10	<20	<5	<6	<5	40	200	<10	150	<5	<10	40	8	160	11000	900	510	430
		03.12.82	500	14	<10	<30	<5	<10	<10	<40	<50	<20	190	<5	<20	40	<5	<30	12000	930	530	560
		03.12.82	180	<5	<10	<30	<5	<10	<10	<50	<50	<20	110	<5	<20	20	6	<20	11000	970	550	530
		27.09.83	230	14	<10	<20	<5	<8	<8	<30	<30	<20	210	<5	<10	20	6	<30	13000	1200	610	600
		27.09.83	470	33	<10	<40	<5	<7	<10	<30	<30	<30	320	<5	<20	60	19	30	14000	1400	700	740

Tabelle A 36 :

Jahr: 1977 - 1983

Meßobjekt: Sedimente
Bezug: pCi/kg Trockensubstanz
Gewässer: Elbe im Tidebereich

Bereich km	Tidefrei Süßwasser 476,6 - 584,5	Tidebereich des Süßwassers Bereich Hamburg 607,5 - 623	 Bereich Stade 652 - 671,9	Tidebereich Brackwasser Brunsbüttel 692 - 701	 Cuxhaven 715 - 727
Cs-137 im Wasser (gelöst) pCi/l					
Zentralwerte 78-80	0,010 - 0,015	0,012 - 0,014	0,008 - 0,014	0,14 *	0,22
81 - 83	0,013 - 0,016	0,017	0,018	0,05 *	0,35
Cs-137 in Sedimenten pCi/kg T.S.					
Zentralwert	200	380	86	290	270
- 1 s	77	250	47	460	420
+ 1 s	580	580	160	190	170
Cs-137 Übergangs-faktoren pCi/kg Sediment T.S. / pCi/l gelöster Anteil					
Bereich	2700 - 73000	14000 - 65000	1300 - 13000	1400 - 9800	500 - 1400
Mittelwert ca.	14000	25000	6000	6000	1000
Pb-214 in Sedimenten pCi/kg T.S.					
Zentralwert	1160	1940	590	770	520
- 1 s	510	1200	450	660	420
+ 1 s	2600	3200	770	900	700
Ac-228 in Sedimenten pCi/kg T.S.					
Zentralwert	800	1330	540	760	560
- 1 s	420	1000	390	630	440
+ 1 s	1500	1760	750	910	720
K-40 in Sedimenten pCi/kg T.S.					
Zentralwert	9900	11500	10600	12600	12500
- 1 s	7600	6400	8700	11000	11200
+ 1 s	13000	21000	13000	14300	14100
K-40 in Wasser (gelöst) pCi/l					
Zentralwert 78-80	10	9	8 - 9	66 *	140
81-83	12	11	10	20 *	140

Bemerkung: * Konzentrationen im Wasser für km 707

Tabelle A 37 : Sedimente der Elbe 1978 - 1983
Zentralwerte Cs-137, Pb-214, Ac-228, K-40
Übergangsfaktoren Cs-137 Wasser/Sediment

Fraktion		Gew %		Cs-137	K-40	Pb-214	Ac-228	Tl-208
> 2	Kies	1,11		-				
0,25 - 2	Sand/	43,37	86,6	27	11000	120	130	40
0,063 - 0,25	Kleinkies	42,09		10	5000	210	160	190
0,045 - 0,063	Ton/	6,21		300	8900	1800	1200	1100
0,020 - 0,045	Silt	0,25	13,4	700				
< 0,02		6,94		640	11000	3000	1700	1700

Tabelle A 38 : Radionuklidgehalte einzelner Sedimentfraktionen in pCi/kg Trockensubstanz
Untersuchung einer Einzelprobe
Ort der Probenahme: Elbe km 607

(pCi/kg Fischfleisch)

Probenahme-stelle	km	Datum	Sr-89	Sr-90	Cs-137	Co-60	Mn-54	Fe-59	Co-57	Co-58	Zn-65	Zr-95	Nb-95	Ru-103	Ru-106	Ag-110	Sb-124	Sb-125	Cs-134	Ce-141	Ce-144
Holtorf	479	01.06.79	< 10	2	< 2	< 2										< 2			< 2		
Gorleben	491	24.07.79	< 10	3	2,0	< 1										< 2			< 1		
Gorleben	491	18.10.79	< 3	2	2,7	< 1	< 0,6		< 0,6	< 30	< 2				< 5	< 1		< 0,8	< 1		< 10
Hohnstorf	569	24.07.79	< 10	5	6,7	< 1	< 1		< 1		< 5				< 10	< 1		< 2	< 2		< 9
Hohnstorf	569	15.10.79	< 10	5	2,9	< 1	< 2		< 0,2		< 8				< 20	< 4		< 3	< 1		< 1
		19.03.83																			
Fliegenberg	602	21.10.79	< 3	2	5,4	< 1	< 0,8		< 0,7	< 30	< 2				< 5	< 1		< 1	< 1		< 5
Bunthaus	609	19.10.83			2,8	< 0,5	< 0,2		< 0,4	< 0,6	< 1				< 2	< 0,4		< 0,4	< 0,5		< 2
Moorburg	617	19.10.83			3,5	< 0,4	< 0,5		< 0,3	< 0,8	< 0,5				< 2	< 0,5		< 0,6	< 0,5		< 2
Mühlenberger Loch	633	24.05.82		< 0,5	8,1	< 0,5	< 0,9	< 3	< 1	< 5	< 3			< 20	< 10	< 1	< 10	< 2	< 0,8		< 7
		2. Hj. 82		2	5,8	< 0,6	< 2	< 2	< 1		< 6				< 10	< 3		< 2	< 0,7		< 8
		25.10.83			3,5	< 0,3	< 0,4	< 4	< 0,3	< 1	< 1	< 2	< 3	< 2	< 3	< 0,5	< 2	< 0,5	< 0,3	< 4	< 1
Fährmann-sand	644-645	30.04.80	< 3	1	4,0	< 0,6	< 1		< 1	< 10	< 3				< 8	< 2		< 2	< 1		< 3
		19.05.81		0,8	4,7	< 0,8	< 0,4	< 3	< 0,3	< 0,8	< 1	< 2	< 3	< 2	< 4	< 0,6	< 2	< 1	< 0,4	< 4	< 3
		24.05.82		1,4	5,2	< 0,5	< 0,3	< 3	< 0,3	< 0,6	< 0,8	< 1	< 1	< 1	< 3	< 0,4	< 1	< 0,3	< 0,3	< 2	< 2
		25.10.83			6,7	< 0,4	< 0,5	< 3	< 0,3	< 0,6	< 1	< 2	< 3	< 1	< 3	< 0,6	< 1	< 1	< 0,3	< 3	< 1
Pagensand-Schwarztonnen-sand	662-667	12.07.79	< 5	3	4,3	< 1										< 1			< 1		
		07.05.80	< 3	1	8,7	< 1	< 2		< 0,8	< 20	< 5				< 10	< 3	< 40	< 2	< 1		< 5
		30.06.80	< 5	3	9,4	< 0,7	< 0,5	< 30	< 0,5	< 4	< 2	< 8	< 5	< 30	< 5	< 0,9	< 0,9	< 10	< 1		< 3
		15.04.81		1,1																	
		24.05.82		1,6	8,5	< 0,6	< 0,9		< 0,6		< 3				< 6	< 2		< 2	< 0,5		< 5
		2. Hj. 82			9,7	< 0,8	< 2	< 2	< 1	< 0,8	< 6				< 10	< 3		< 2	< 0,7		< 6
		26.10.83			4,4	< 0,3	< 0,3	< 4	< 0,3	< 1	< 1	< 2	< 4	< 2	< 3	< 0,5	< 1	< 1	< 0,3	< 4	< 1
Glückstadt		26.10.83			5,3	< 0,5	< 0,5	< 6	< 0,5	< 1	< 1	< 2	< 4	< 3	< 5	< 1	< 2	< 1	< 0,5	< 5	< 2
Ergänzung: Tiessau	528	27.10.83			2,3	< 0,6	< 0,6	< 10	< 0,6	< 2	< 2	< 4	< 8	< 5	< 4	< 1	< 3	< 1	< 0,5	< 10	< 3

Tabelle A 39 : Untersuchung von Brassen (Abramis brama) Elbe 1979 - 1982

	Ca^{2+}	K^+	Sr-90	Cs-137	
	mg/l		pCi/kg Fischfleisch / pCi/l Wasser		
Bereich der Werte			2,5-13	<100-430	NLW
Mittelwerte	80	12	7	220	
Werte der Berechnungs-grundlagen [13]			30	1000	BMI
Werte nach Feldt [14]					
Friedfisch					
Bereich der Werte			2,8-12	110-480	Feldt
Mittelwert			6,7	200	Feldt
Raubfisch					
Bereich der Werte			1,2-7,0	250-2100	Feldt
Mittelwert			3,4	980	Feldt

Bemerkungen:

Bei den Berechnungen des NLW wird beim Cs-137 der Gesamtgehalt der Wasserprobe (gelöst + ungelöst), beim Sr-90 der gelöste Anteil zugrunde gelegt

Tabelle A 40: Anreicherungsfaktoren von Sr-90 und Cs-137 im Fischfleisch
Untersuchung von Brassen der Elbe, Bereich km 479 - 667

Nr.	y	x	Fluß-km Bereich	Zahl der Werte	R	Gleichung
1	K^+ [mg/l]	Cl^- [mg/l]	475 - 607	75	0,71	K^+ [mg/l] = 5,33 + 0,0456 Cl^- [mg/l]
2	K^+ [mg/l]	Cl^- [mg/l]	689 - 740	52	0,98	K [mg/l] = 12,56 + 0,020 Cl^- [mg/l]
3	Sr^{2+} [mg/l]	Cl^- [mg/l]	689 - 740	44	0,866	Sr^{2+} [mg/l] = 0,24 + 4,0244 x 10^{-4} Cl^- [mg/l]
4	H-3 [pCi/l]	Cl^- [mg/l]	689 - 740	53	0,91	H-3 [pCi/l] = 198,6 - 0,00725 x Cl^- [mg/l]
5	Cs-137 gelöst [pCi/l]	Cl^- [mg/l]	475 - 607	67	0,187	
6	Cs-137 gelöst [pCi/l]	Cl^- [mg/l]	689 - 740	42	0,91	Cs-137 [pCi/l] = 0,0155 + 0,000026 x Cl^- [mg/l]
7	Cs-137 [pCi/l] gelöst	Cl^- [mg/l]	689 - 740	10 Mischproben	0,97	Cs-137 [pCi/l] = - 1,749 x 10^{-3} + 3,387 x 10^{-5} Cl^- [mg/l]
8	Cs-134 [pCi/l] gelöst	Cl^- [mg/l]	689 - 740	8 Mischproben	0,889	Cs-134 [pCi/l] = 0,00203 + 0,000002026 Cl^- [mg/l]
9	Cs-137 [pCi/g T.S.]	Cl^- [mg/l]	475 - 607	64	0,32	Cs-137 [pCi/g T.S.] = 0,67 - 1,12 x 10^{-3} Cl^- [mg/l]
10	Cs-137 [pCi/g T.S.]	Cl^- [mg/l]	689 - 740	44	0,173	
11	Cs-137 ungelöst [pCi/l]	Cl^- [mg/l]	475 - 607	62	0,017	
12	Cs-137 ungelöst [pCi/l]	Cl^- [mg/l]	689 - 740	44	0,497	Cs-137 [pCi/l] = 0,12 x Cl^- - 0,234
13	Cs-137 [pCi/l] gesamt	Cl^- [mg/l]	689 - 740	42	0,83	Cs-137 [pCi/l] = 0,0559 + 0,000022 Cl^- [mg/l]
14	Cs-137 [pCi/kg T.S.] / Cs-137 gel. [pCi/l]	K^+ [mg/l]	475 - 740	163	0,806	Cs-137 [pCi/kg T.S.] / Cs-137 gel. [pCi/l] = 329,17 x K^+ [mg/l] - 0,92 x 10^{-3}
15	Sr^{2+} [mg/l]	Cl^- [mg/l]	475 - 607	59	0,436	Sr^{2+} [mg/l] = 0,35 x $e^{2,12 \cdot 10^{-3}}$ Cl^- [mg/l]

Tabelle A 41 : Für den Zeitraum 1978 - 1980 durchgeführte Regressionsrechnungen y = f (x)

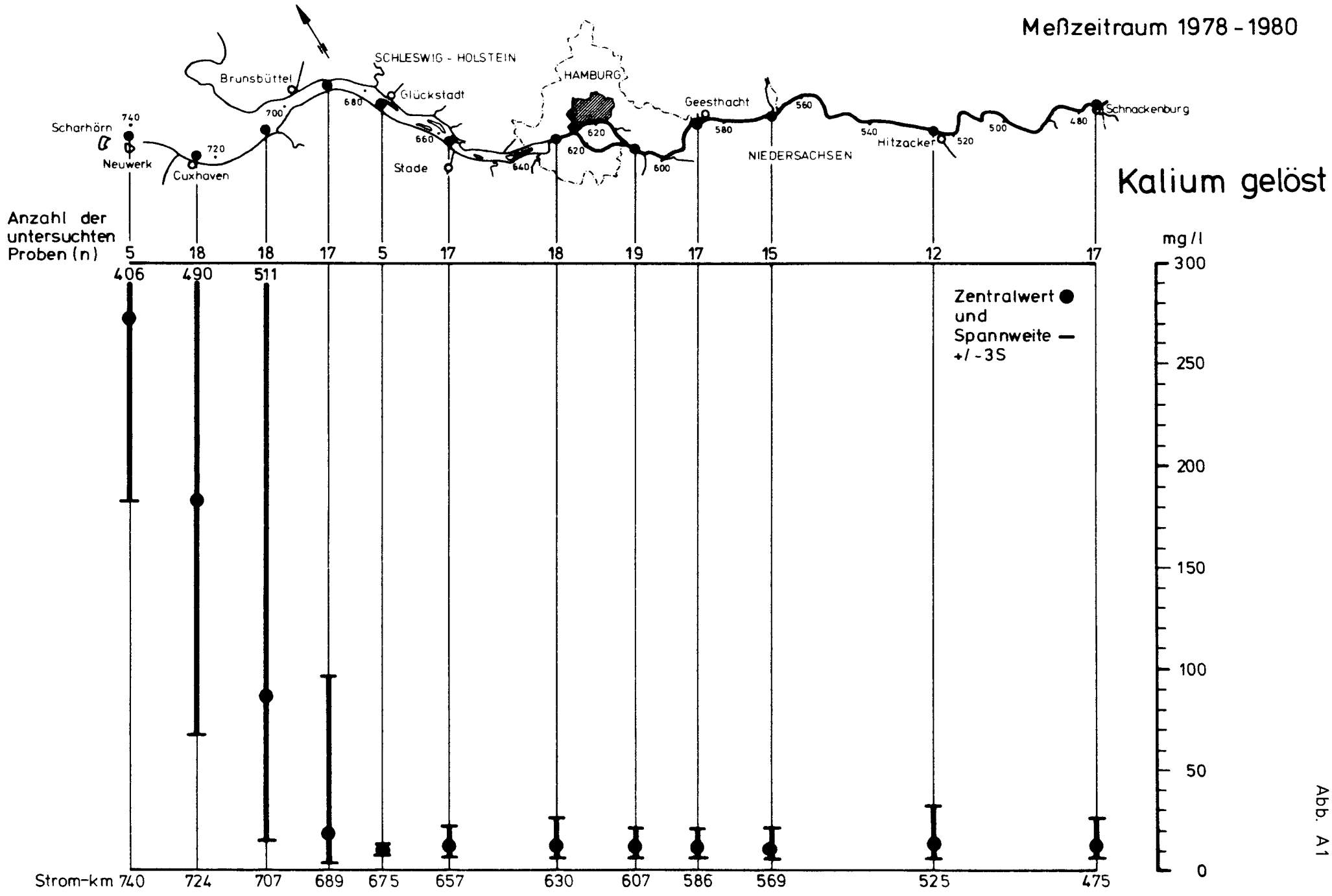

Meßzeitraum 1978 - 1980
Kalium gelöst
SCHLESWIG - HOLSTEIN
HAMBURG
NIEDERSACHSEN
Scharhörn
Neuwerk
Cuxhaven
Brunsbüttel
Glückstadt
Stade
Geesthacht
Hitzacker
Schnackenburg
740
720
700
680
660
640
620
620
600
580
560
540
520
500
480
Anzahl der untersuchten Proben (n)
5
18
18
17
5
17
18
19
17
15
12
17
406
490
511
Zentralwert ●
und
Spannweite —
+/-3S
mg/l
300
250
200
150
100
50
0
Strom-km 740
724
707
689
675
657
630
607
586
569
525
475

Abb. A1

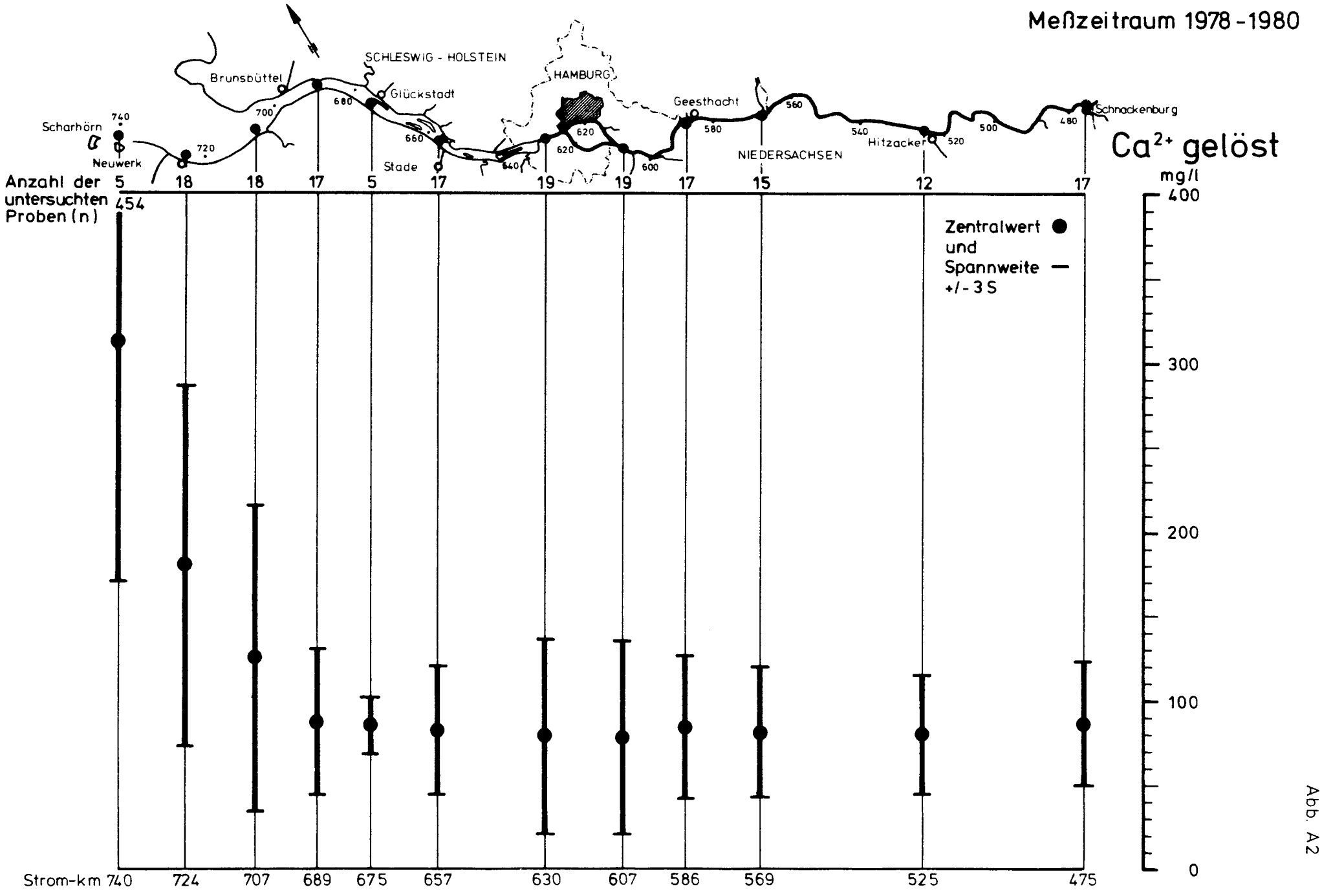

Meßzeitraum 1978 - 1980
SCHLESWIG - HOLSTEIN
HAMBURG
NIEDERSACHSEN
Brunsbüttel
Glückstadt
Stade
Geesthacht
Hitzacker
Schnackenburg
Scharhörn
Neuwerk
740
720
700
680
660
640
620
620
600
580
560
540
520
500
480
Ca2+ gelöst
mg/l
400
300
200
100
0
Anzahl der untersuchten Proben (n)
5
454
18
18
17
5
17
19
19
17
15
12
17
Zentralwert
und
Spannweite
+/- 3 S
Strom-km 740
724
707
689
675
657
630
607
586
569
525
475

Abb. A2

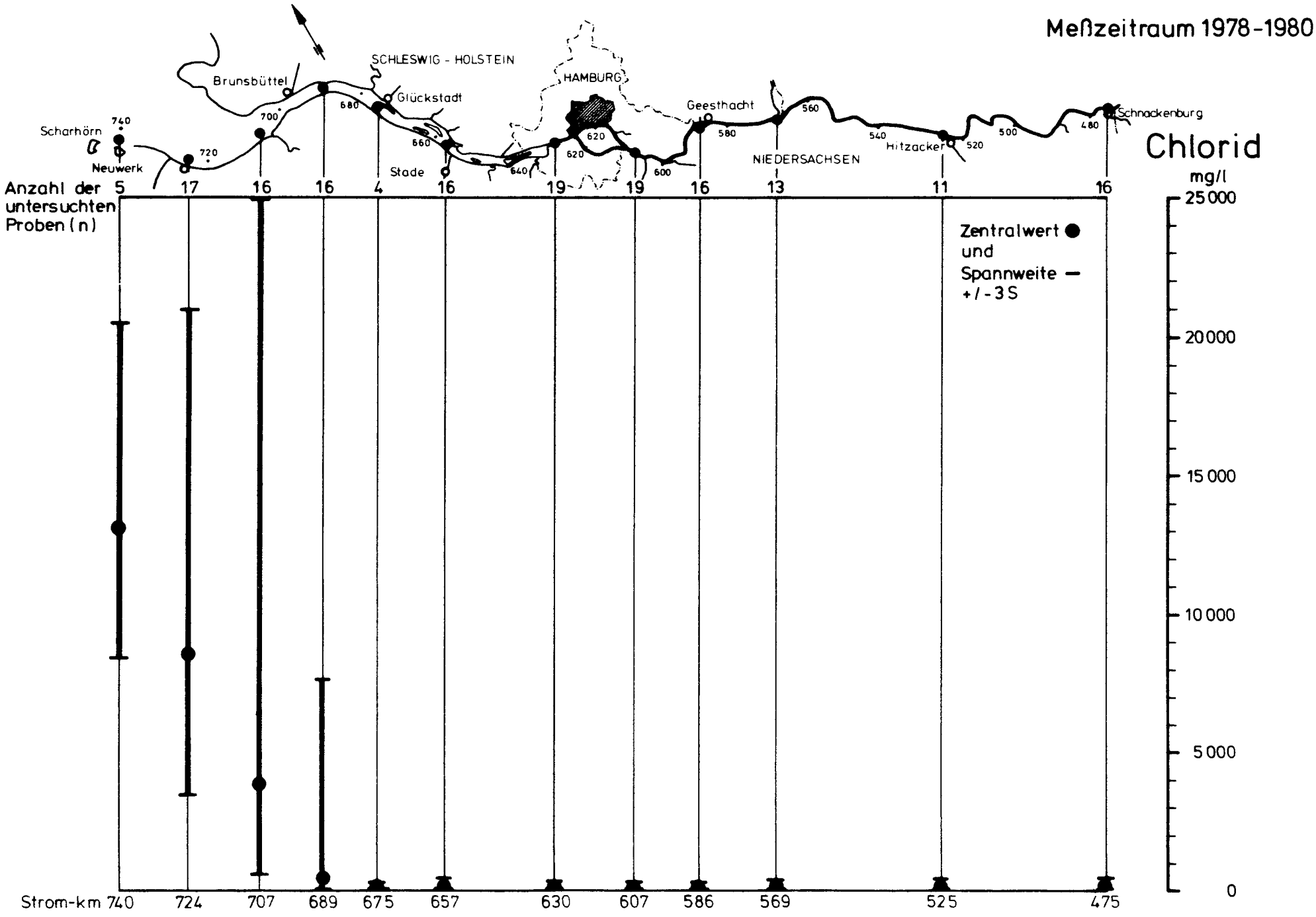

Meßzeitraum 1978-1980
Chlorid
mg/l
SCHLESWIG - HOLSTEIN
HAMBURG
NIEDERSACHSEN
Scharhörn
Neuwerk
Brunsbüttel
Glückstadt
Stade
Geesthacht
Hitzacker
Schnackenburg
740
720
700
680
660
640
620
620
600
580
560
540
520
500
480
Anzahl der untersuchten Proben (n)
5
17
16
16
4
16
19
19
16
13
11
16
Zentralwert ●
und
Spannweite —
+/-3S
25 000
20 000
15 000
10 000
5 000
0
Strom-km 740
724
707
689
675
657
630
607
586
569
525
475

Abb. A3

Radionuklidkonzentration des Elbwassers

Meßzeitraum 1978-1980

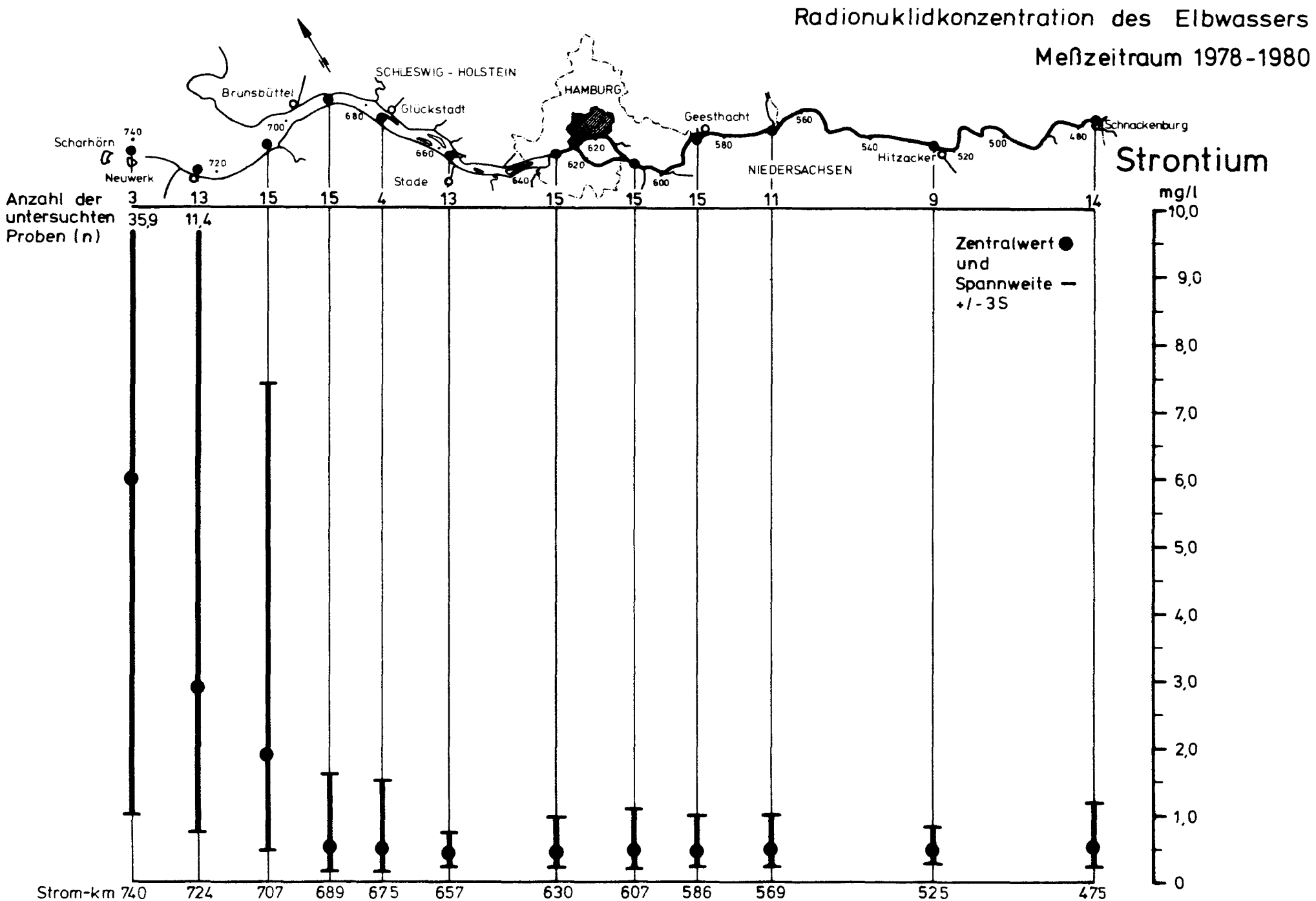


Abb. A4

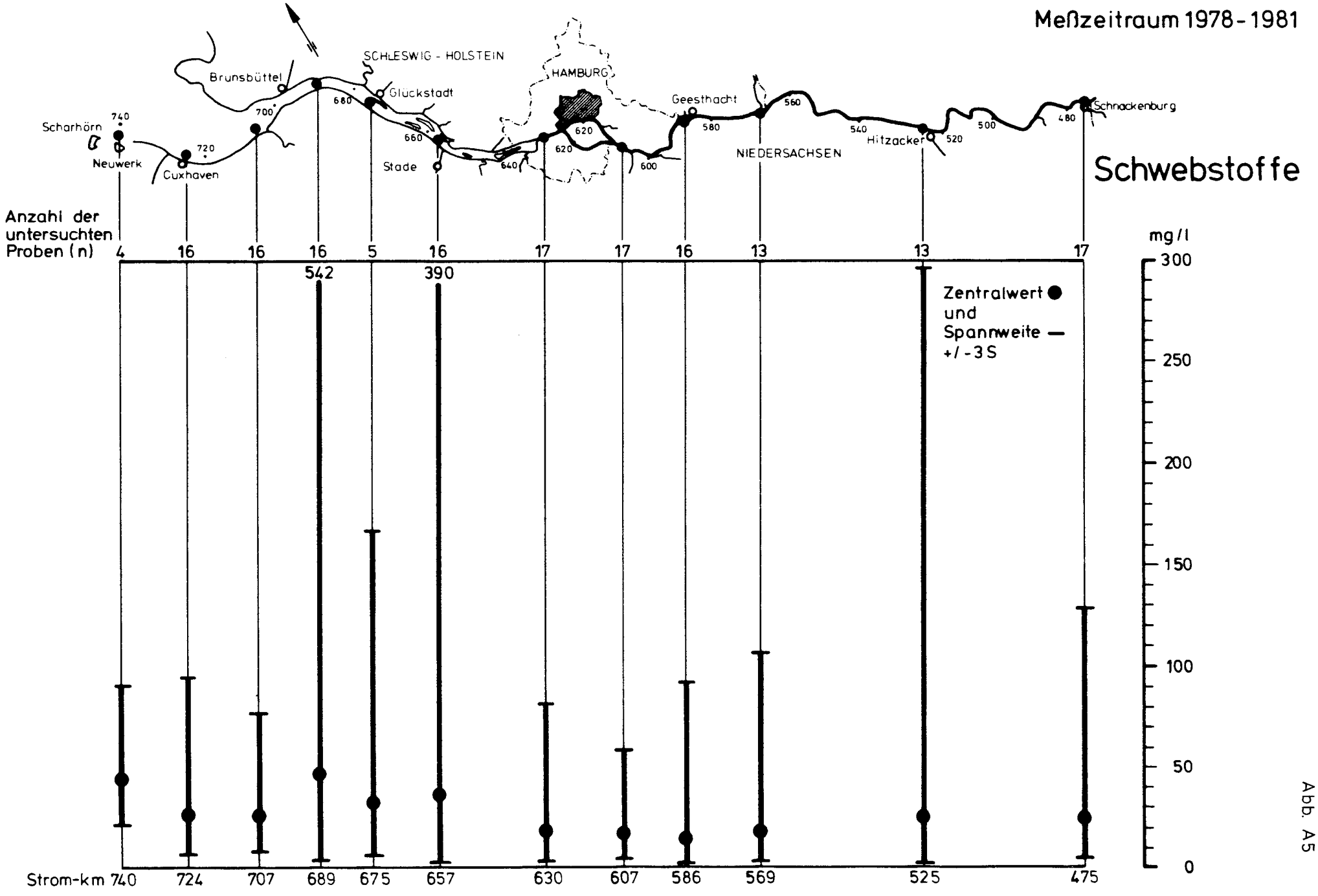

Meßzeitraum 1978 - 1981
Schwebstoffe
SCHLESWIG - HOLSTEIN
HAMBURG
NIEDERSACHSEN
Scharhörn
Neuwerk
Cuxhaven
Brunsbüttel
Glückstadt
Stade
Geesthacht
Hitzacker
Schnackenburg
740
720
700
680
660
640
620
620
600
580
560
540
520
500
480
Anzahl der untersuchten Proben (n)
4
16
16
16
5
16
17
17
16
13
13
17
542
390
mg/l
300
250
200
150
100
50
0
Zentralwert ●
und
Spannweite —
+/-3S
Strom-km
740
724
707
689
675
657
630
607
586
569
525
475

Abb. A5

Radionuklidkonzentration des Elbwassers
Meßzeitraum 1978-1980

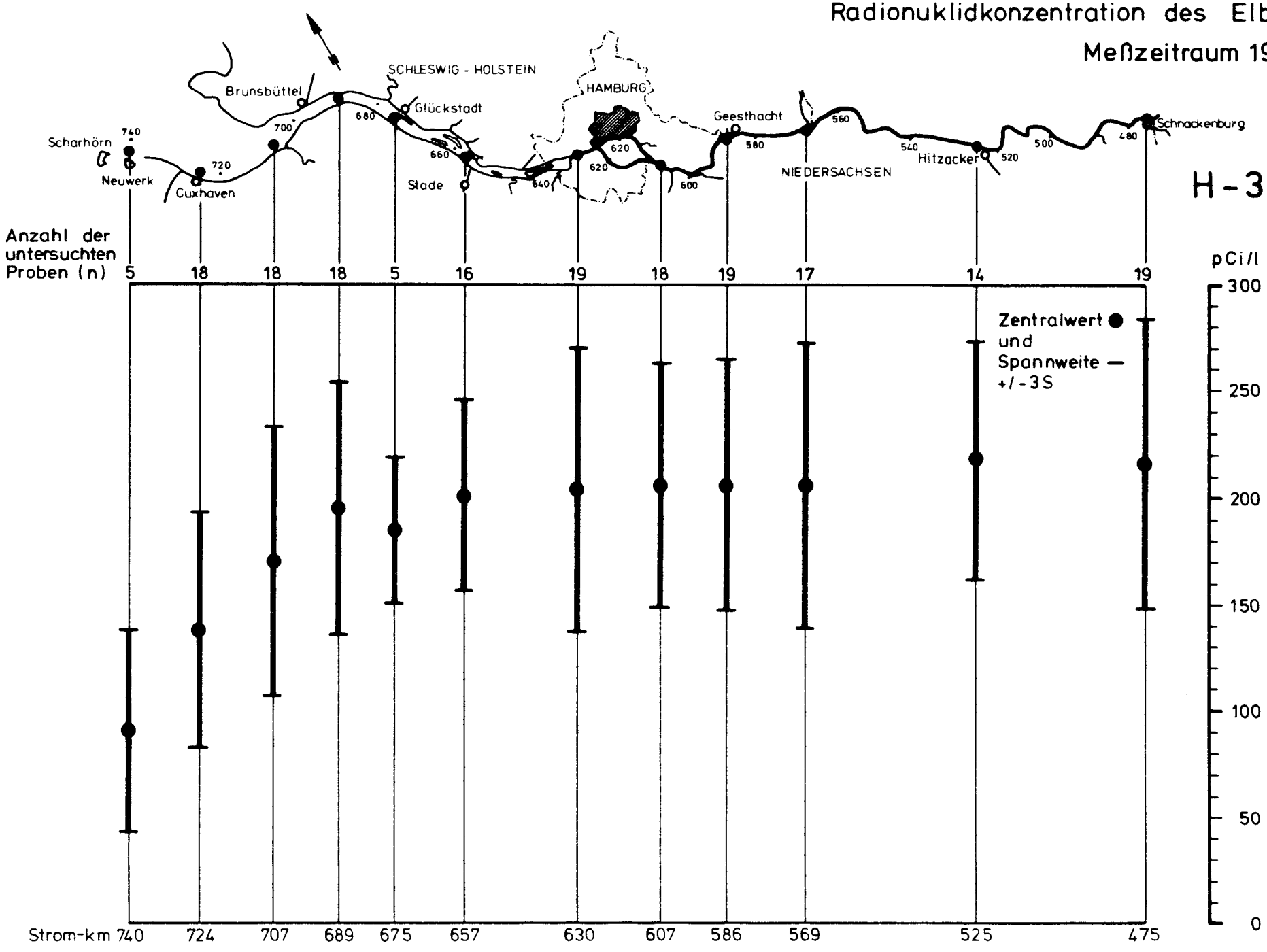


Abb. A6

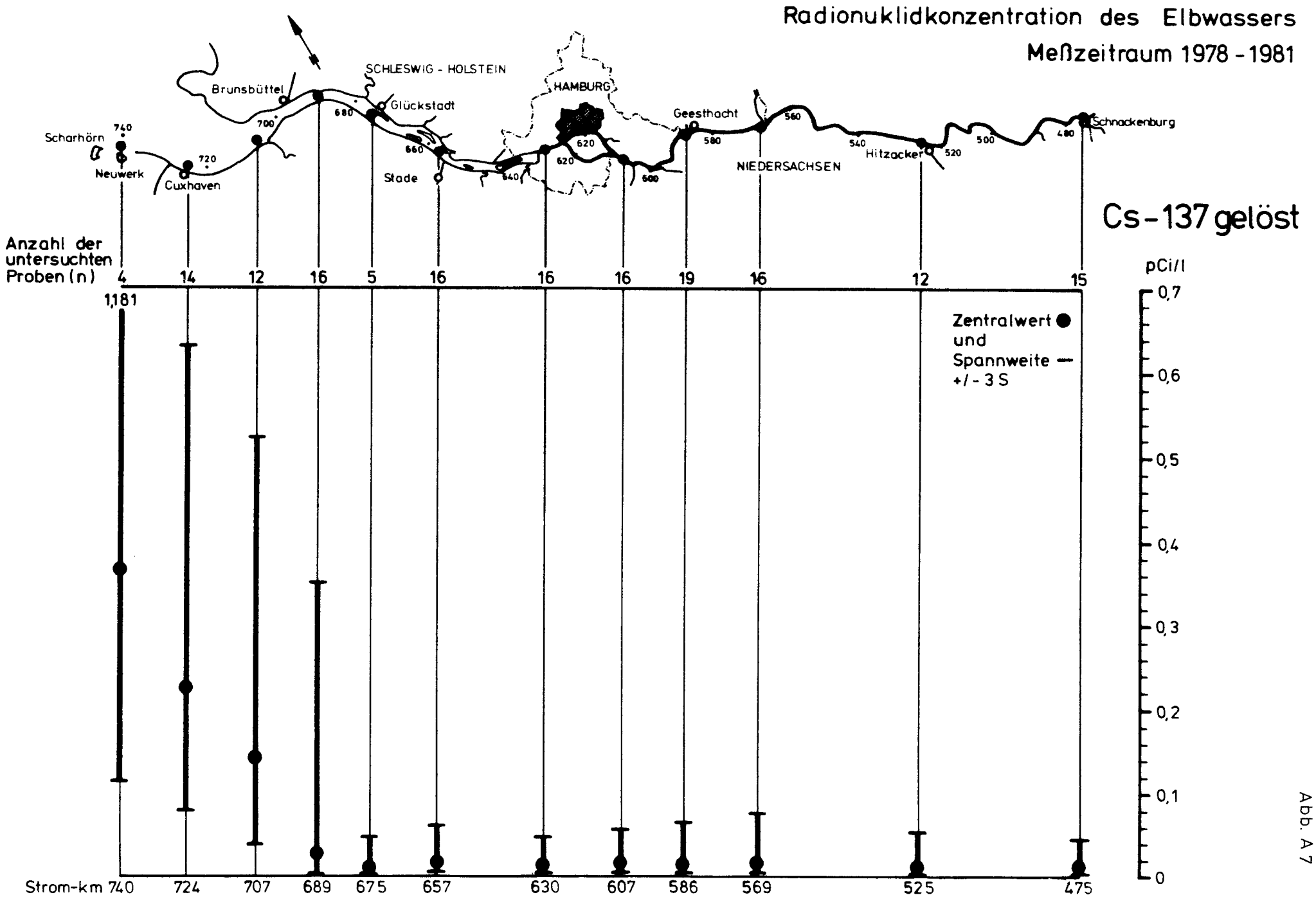

Radionuklidkonzentration des Elbwassers
Meßzeitraum 1978 - 1981
Cs-137 gelöst
SCHLESWIG - HOLSTEIN
HAMBURG
NIEDERSACHSEN
Scharhörn
Neuwerk
Cuxhaven
Brunsbüttel
Glückstadt
Stade
Geesthacht
Hitzacker
Schnackenburg
740
720
700
680
660
640
620
620
600
580
560
540
520
500
480
Anzahl der untersuchten Proben (n)
4
14
12
16
5
16
16
16
19
16
12
15
1,181
Zentralwert ●
und
Spannweite —
+/- 3 S
pCi/l
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
Strom-km 740
724
707
689
675
657
630
607
586
569
525
475

Abb. A 7

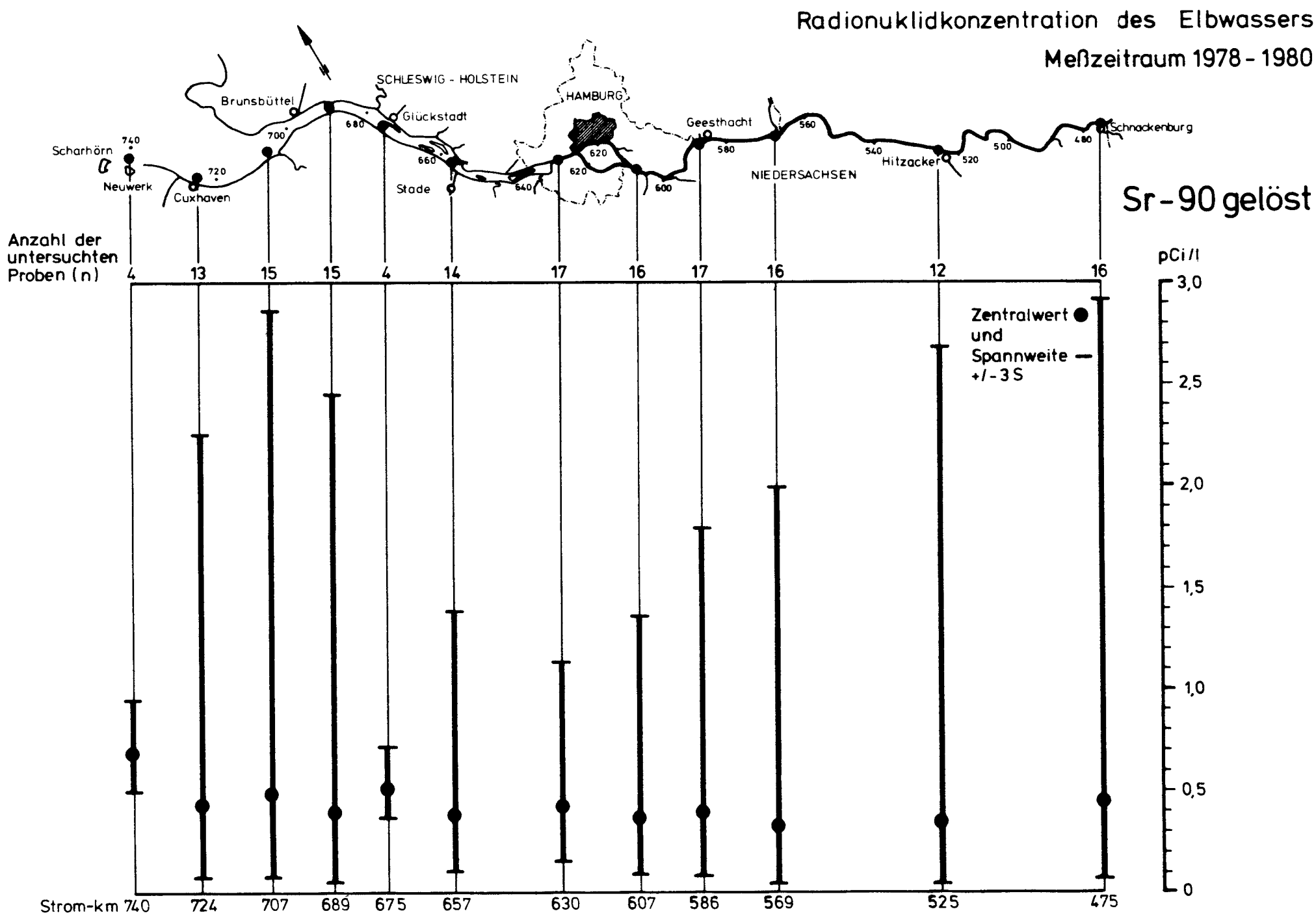

Radionuklidkonzentration des Elbwassers
Meßzeitraum 1978 - 1980
Sr-90 gelöst
SCHLESWIG - HOLSTEIN
HAMBURG
NIEDERSACHSEN
Scharhörn
Neuwerk
Cuxhaven
Brunsbüttel
Glückstadt
Stade
Geesthacht
Hitzacker
Schnackenburg
740
720
700
680
660
640
620
620
600
580
560
540
520
500
480
Anzahl der untersuchten Proben (n)
4
13
15
15
4
14
17
16
17
16
12
16
pCi/l
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0
Zentralwert ●
und
Spannweite —
+/- 3 S
Strom-km 740
724
707
689
675
657
630
607
586
569
525
475

Abb. A 8

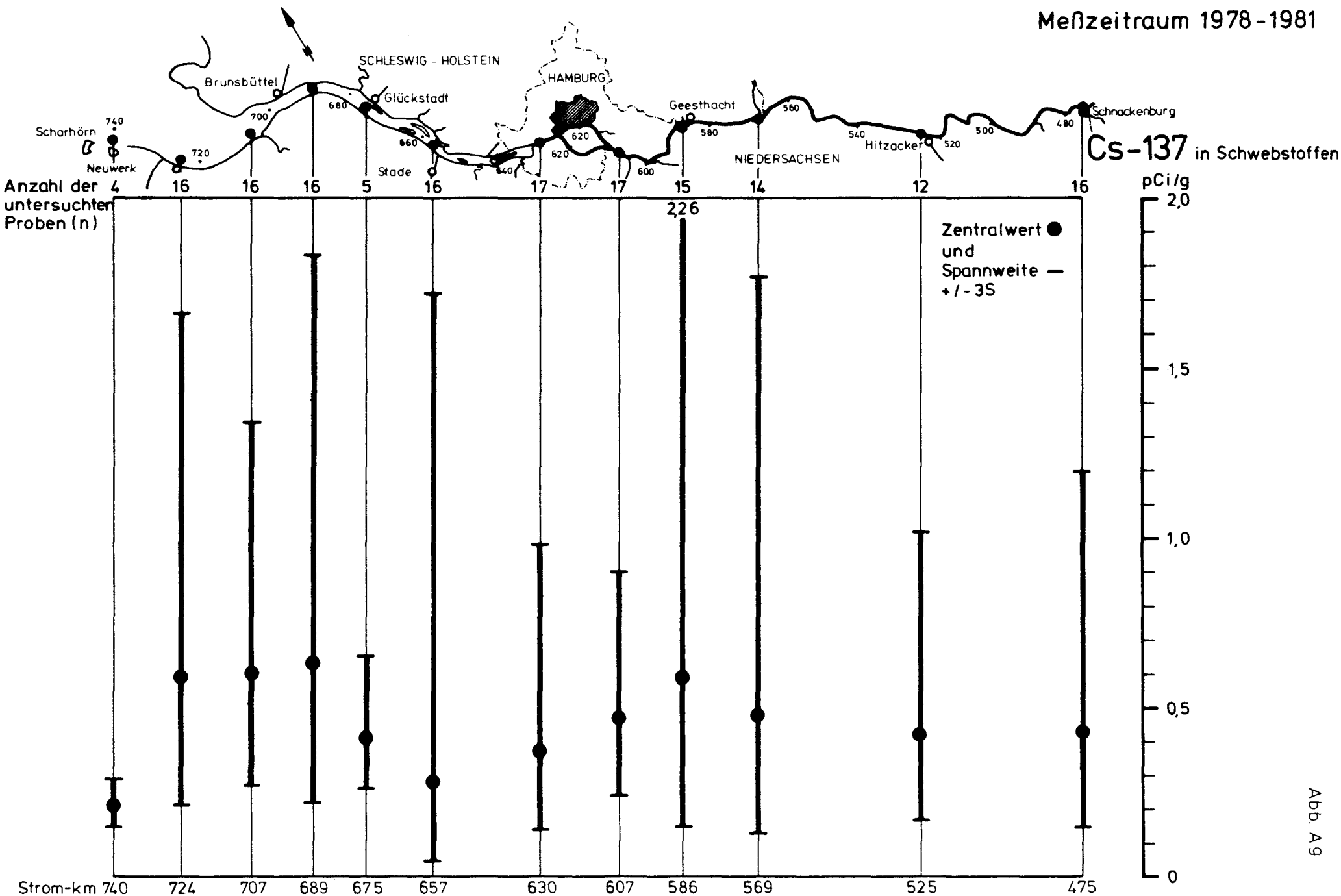

Meßzeitraum 1978-1981
Cs-137 in Schwebstoffen
SCHLESWIG - HOLSTEIN
HAMBURG
NIEDERSACHSEN
Scharhörn
Neuwerk
Brunsbüttel
Glückstadt
Stade
Geesthacht
Hitzacker
Schnackenburg
740
720
700
680
660
640
620
620
600
580
560
540
520
500
480
Anzahl der untersuchten Proben (n)
4
16
16
16
5
16
17
17
15
14
12
16
2,26
Zentralwert ●
und
Spannweite —
+/-3S
pCi/g
2,0
1,5
1,0
0,5
0
Strom-km 740
724
707
689
675
657
630
607
586
569
525
475

Abb. A9

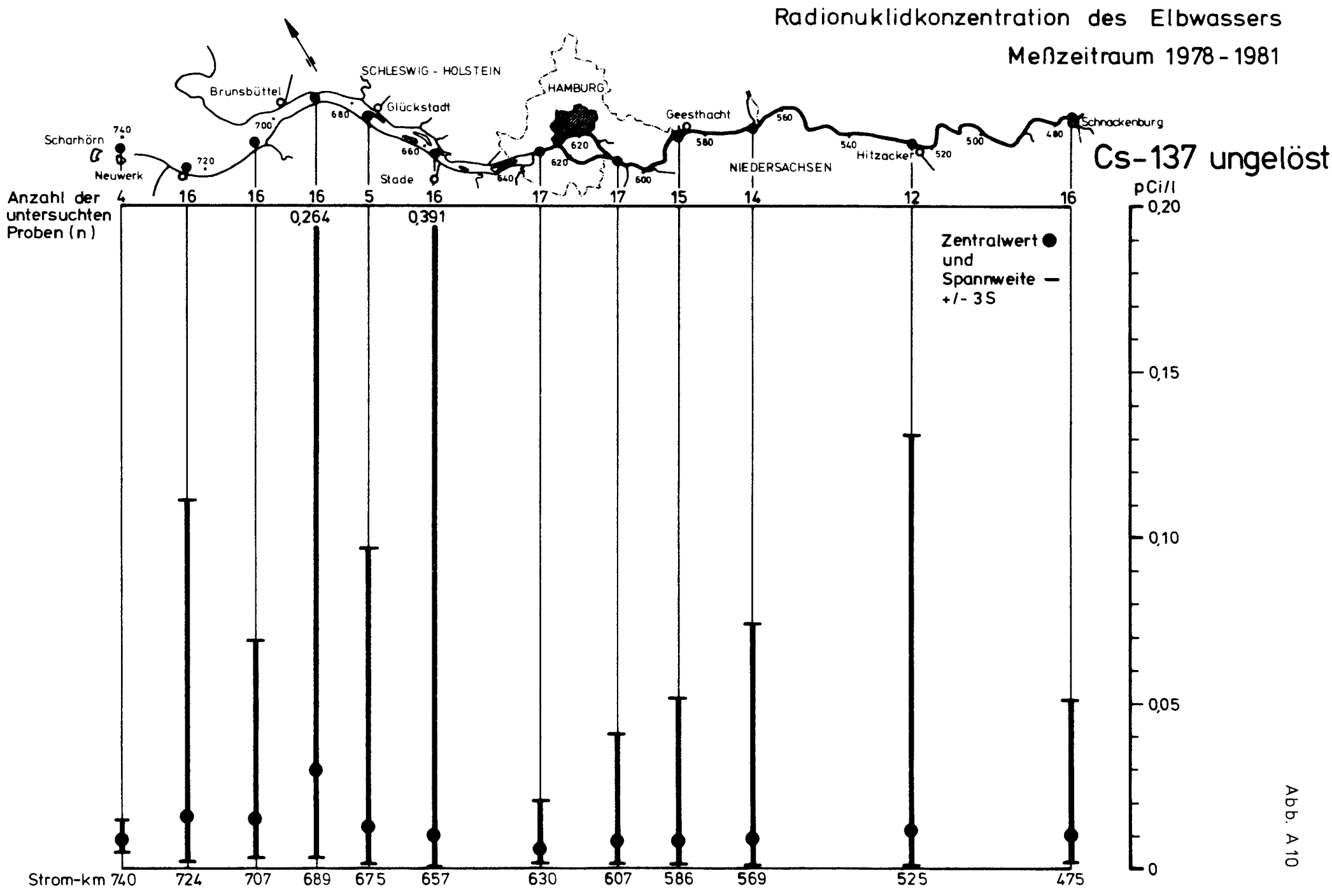

Radionuklidkonzentration des Elbwassers
Meßzeitraum 1978 - 1981
Cs-137 ungelöst
SCHLESWIG - HOLSTEIN
HAMBURG
NIEDERSACHSEN
Scharhörn
Neuwerk
Brunsbüttel
Glückstadt
Stade
Geesthacht
Hitzacker
Schnackenburg
740
720
700
680
660
640
620
600
580
560
540
520
500
480
Anzahl der untersuchten Proben (n)
4
16
16
16
5
16
17
17
15
14
12
16
0,264
0,391
pCi/l
0,20
0,15
0,10
0,05
0
Zentralwert ●
und
Spannweite —
+/- 3S
Strom-km
740
724
707
689
675
657
630
607
586
569
525
475

Abb. A 10

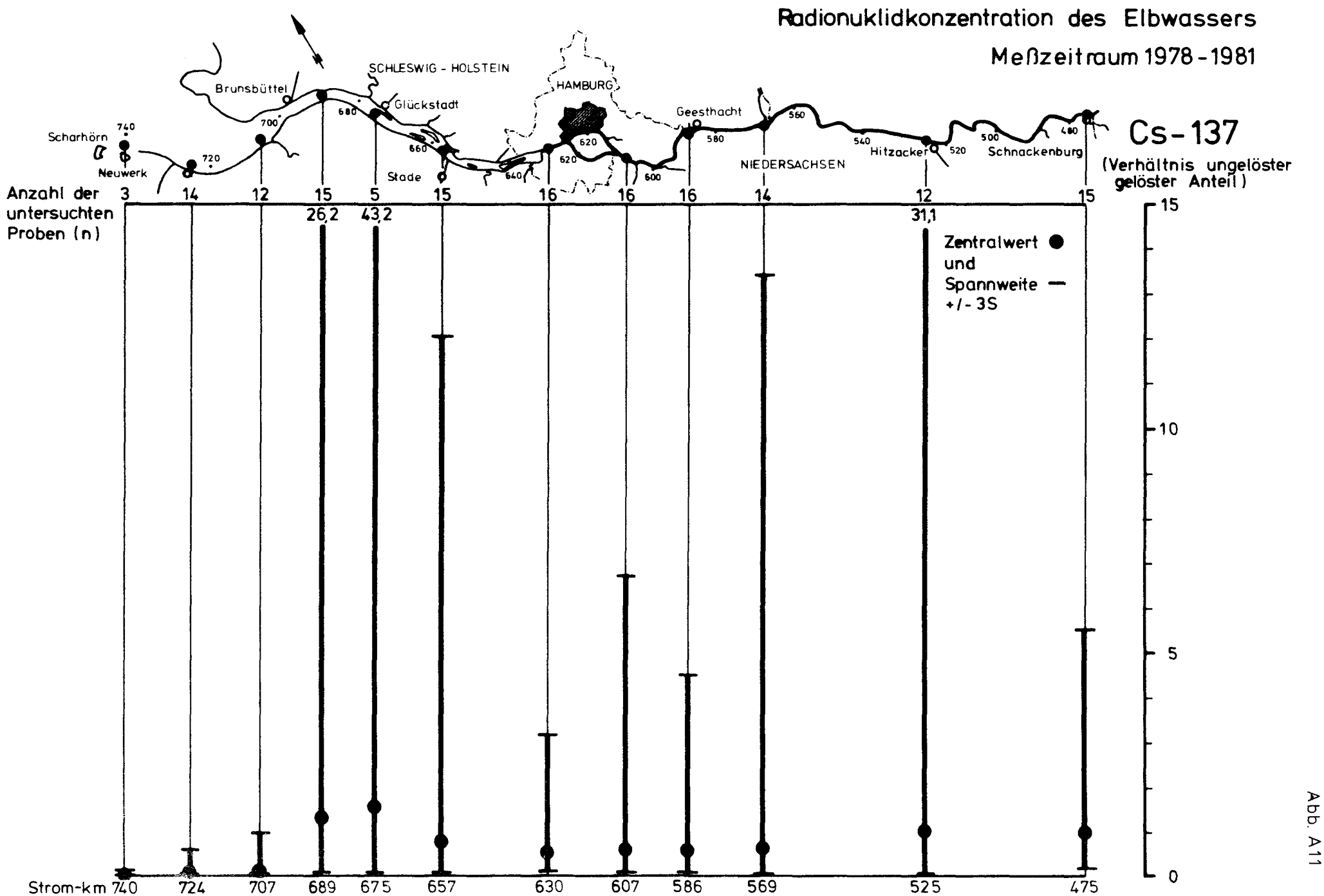

Radionuklidkonzentration des Elbwassers
Meßzeitraum 1978 - 1981
Cs-137
(Verhältnis ungelöster gelöster Anteil)
Zentralwert ●
und
Spannweite —
+/- 3S
Anzahl der untersuchten Proben (n)
3
14
12
15
5
15
16
16
16
14
12
15
26,2
43,2
31,1
Strom-km
740
724
707
689
675
657
630
607
586
569
525
475
0
5
10
15
Scharhörn
Neuwerk
Brunsbüttel
SCHLESWIG - HOLSTEIN
Glückstadt
Stade
HAMBURG
Geesthacht
NIEDERSACHSEN
Hitzacker
Schnackenburg
740
720
700
680
660
640
620
620
600
580
560
540
520
500
480

Abb. A11

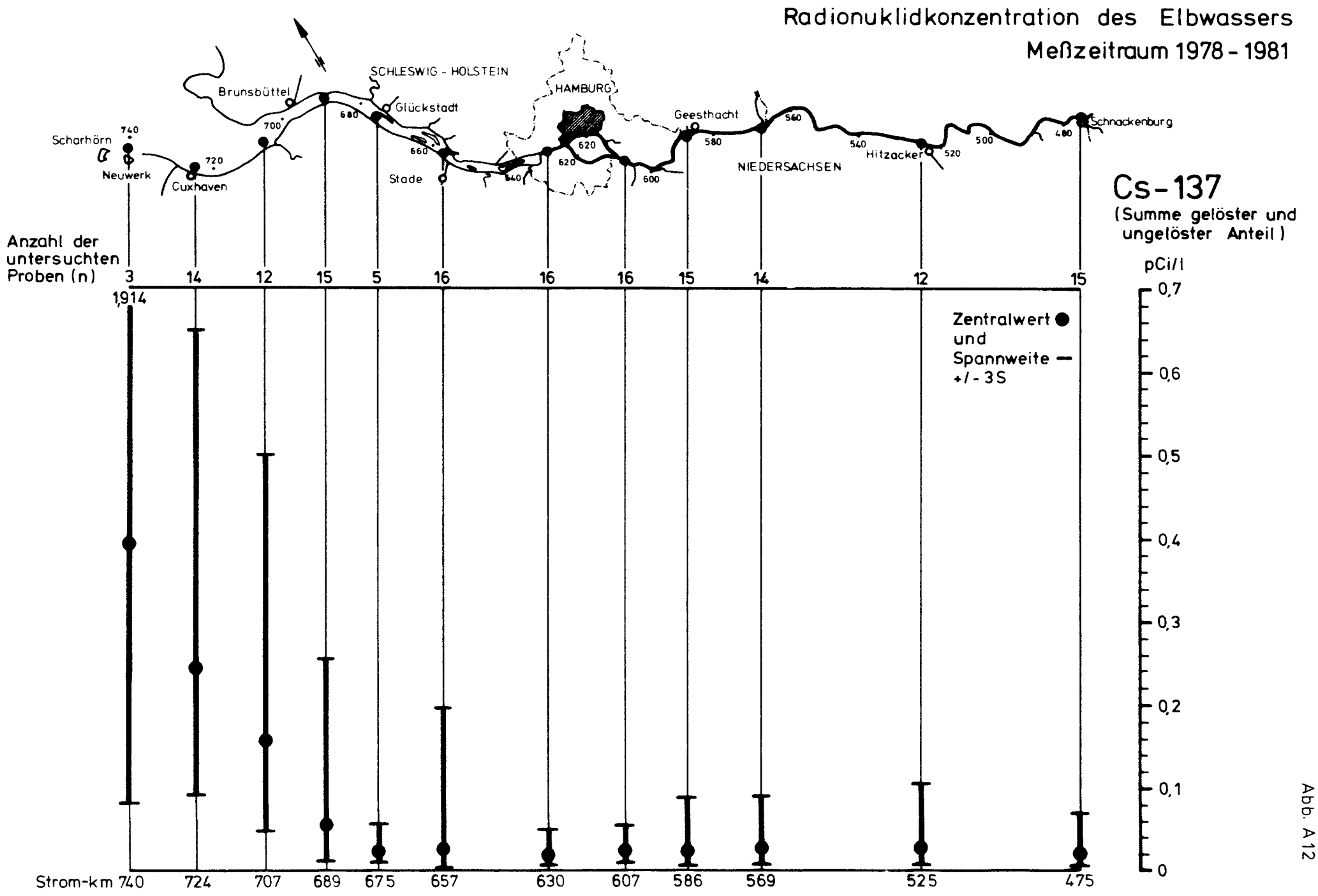
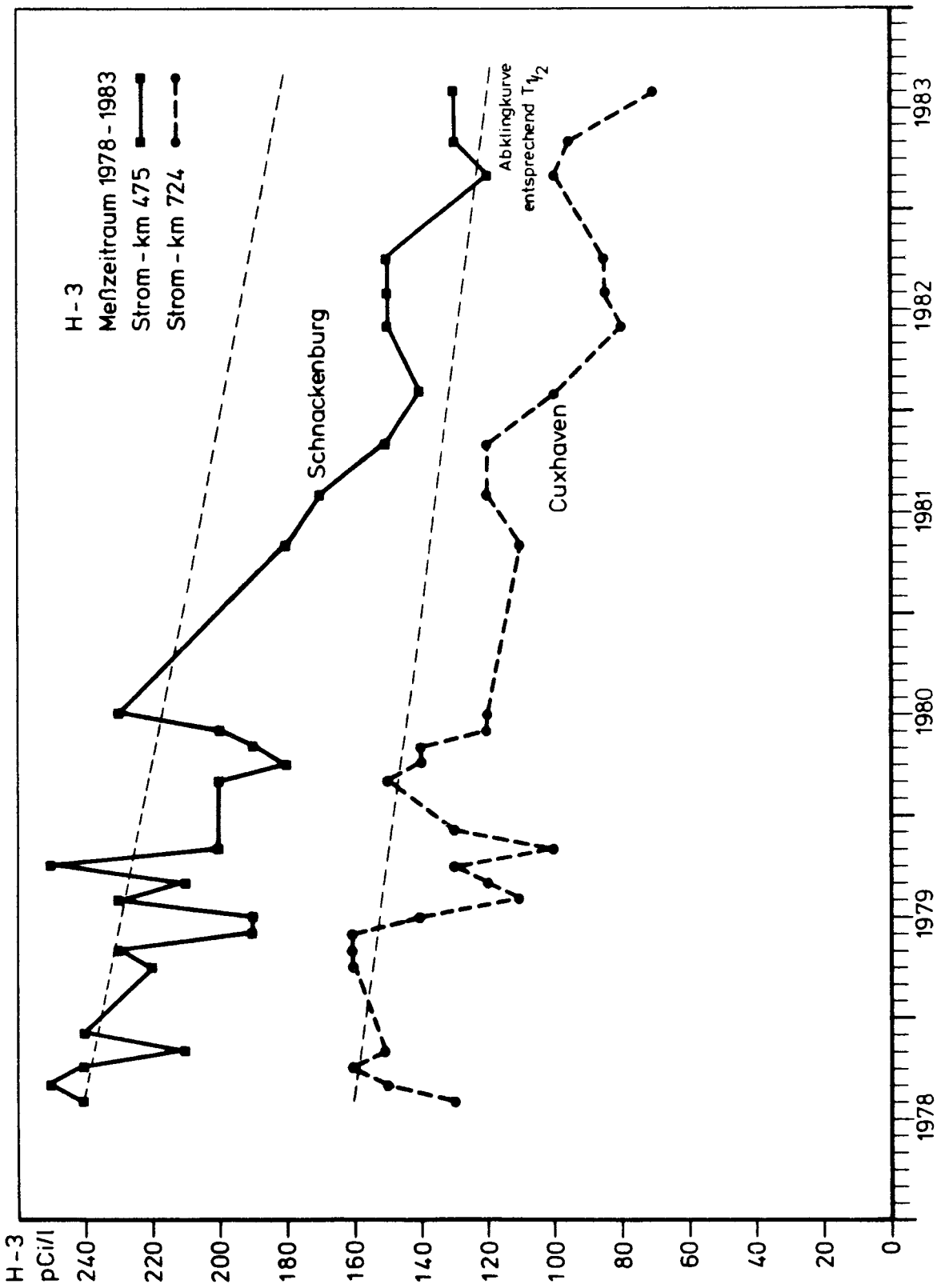

Radionuklidkonzentration des Elbwassers
Meßzeitraum 1978 - 1981
SCHLESWIG - HOLSTEIN
HAMBURG
NIEDERSACHSEN
Scharhörn
Neuwerk
Cuxhaven
Brunsbüttel
Glückstadt
Stade
Geesthacht
Hitzacker
Schnackenburg
740
720
700
680
660
640
620
620
600
580
560
540
520
500
480
Cs-137
(Summe gelöster und ungelöster Anteil)
pCi/l
Anzahl der untersuchten Proben (n)
3
14
12
15
5
16
16
16
15
14
12
15
1,914
Zentralwert ●
und
Spannweite —
+/- 3S
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
Strom-km 740
724
707
689
675
657
630
607
586
569
525
475

Abb. A 12

Abb. A13


H-3
Meßzeitraum 1978-1983
Strom-km 475
Strom-km 724
Schnackenburg
Cuxhaven
Abklingkurve
entsprechend T1/2
H-3
pCi/l
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
1978
1979
1980
1981
1982
1983

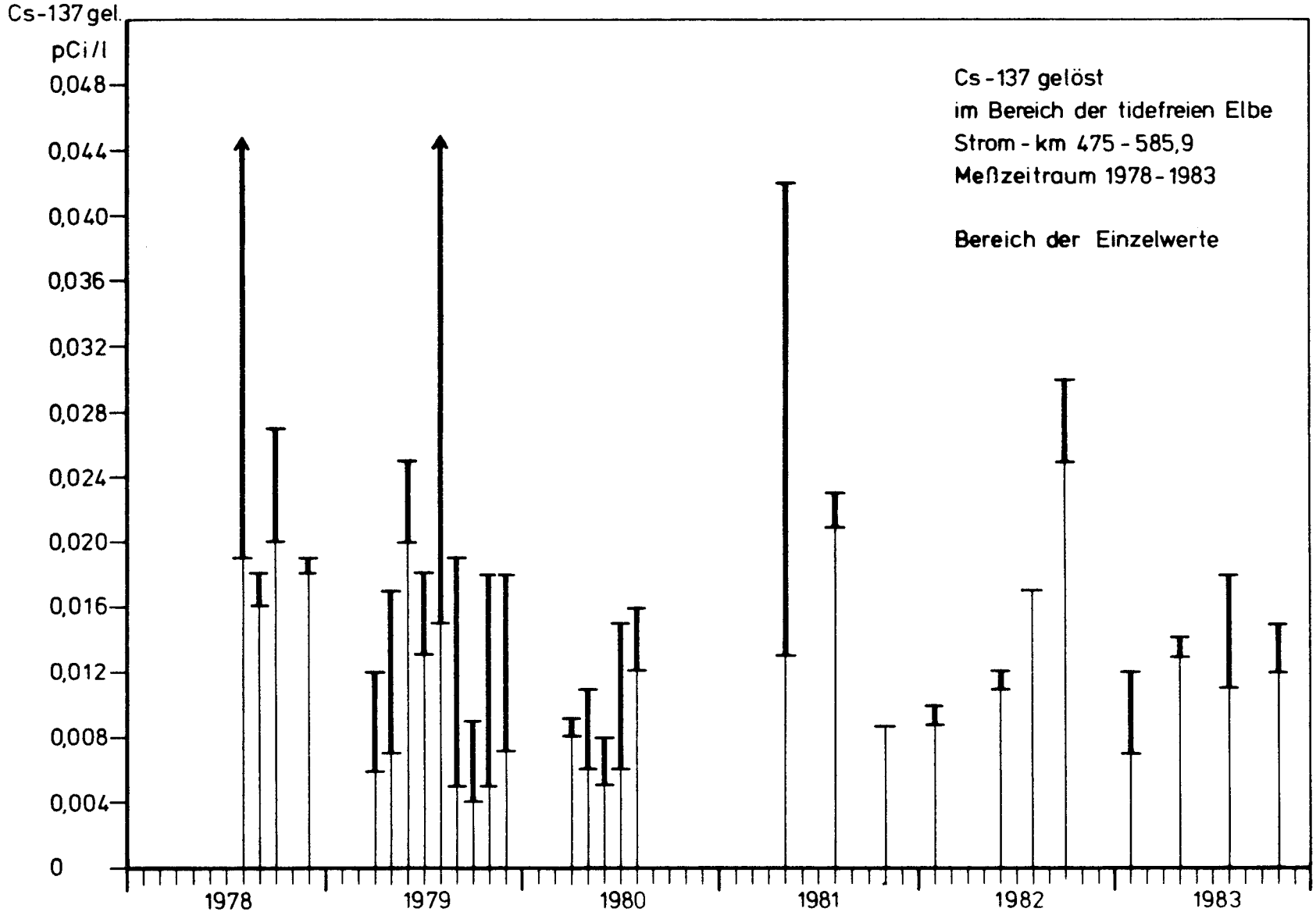

Cs-137 gel.
pCi/l
0,048
0,044
0,040
0,036
0,032
0,028
0,024
0,020
0,016
0,012
0,008
0,004
0
1978
1979
1980
1981
1982
1983
Cs-137 gelöst
im Bereich der tidefreien Elbe
Strom-km 475-585,9
Meßzeitraum 1978-1983
Bereich der Einzelwerte

Abb. A14

Abb. A 15

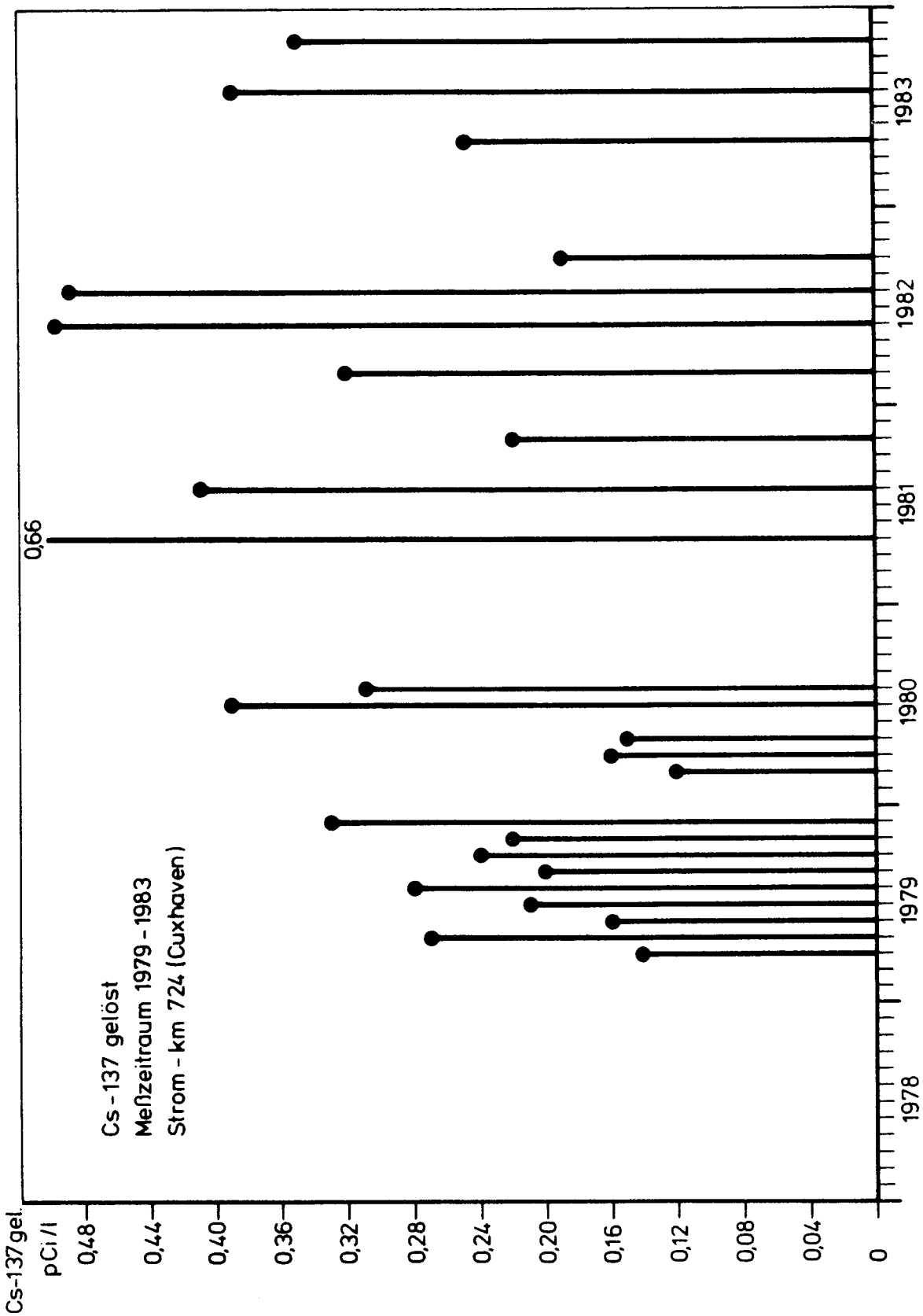

Cs-137 gel.
pCi/l
0,48
0,44
0,40
0,36
0,32
0,28
0,24
0,20
0,16
0,12
0,08
0,04
0
0,66
Cs-137 gelöst
Meßzeitraum 1979-1983
Strom-km 724 (Cuxhaven)
1978
1979
1980
1981
1982
1983

Abb. A 16

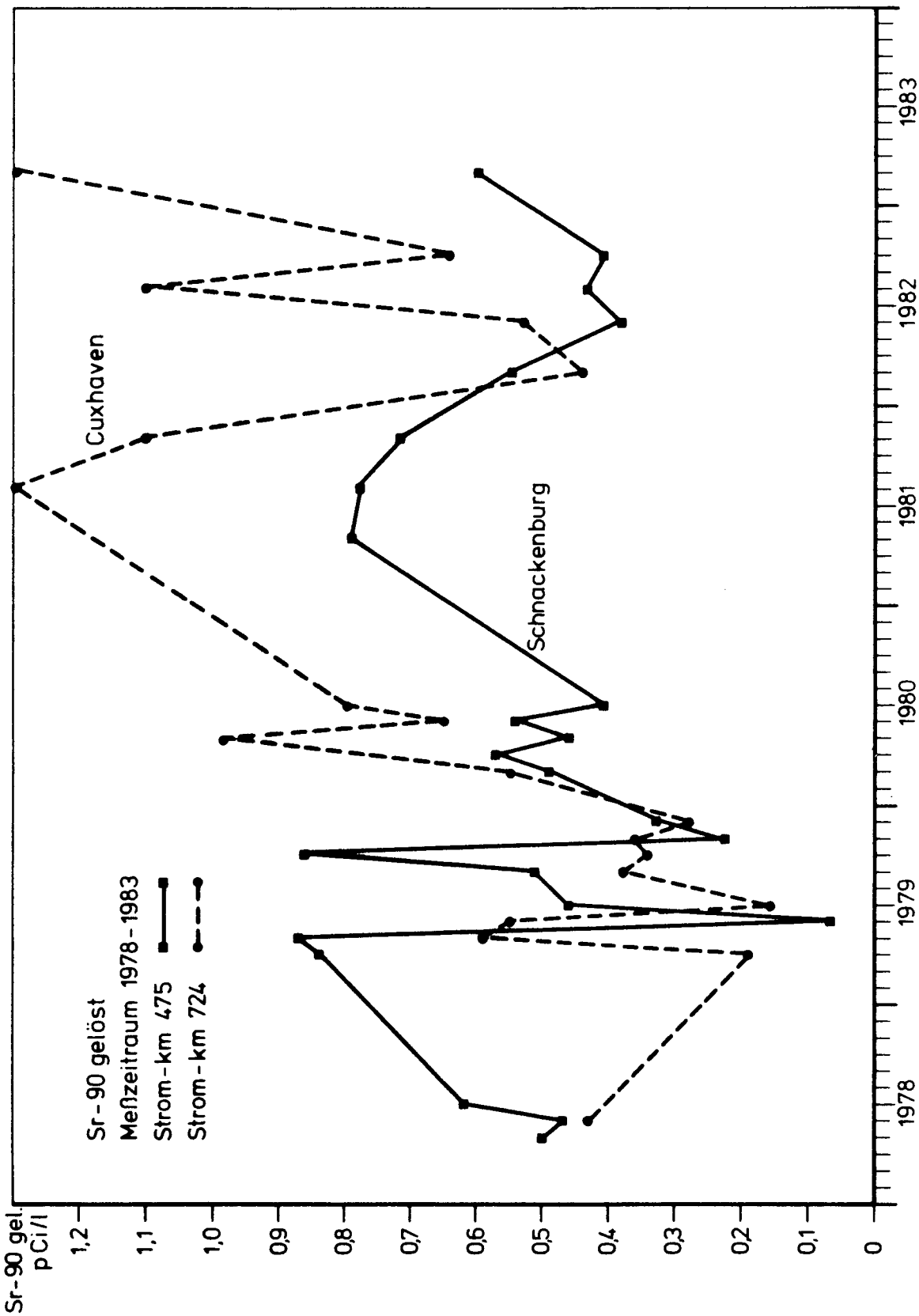

Sr-90 gel.
pCi/l
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
Sr-90 gelöst
Meßzeitraum 1978-1983
Strom-km 475
Strom-km 724
Cuxhaven
Schnackenburg
1978
1979
1980
1981
1982
1983

Abb. A17

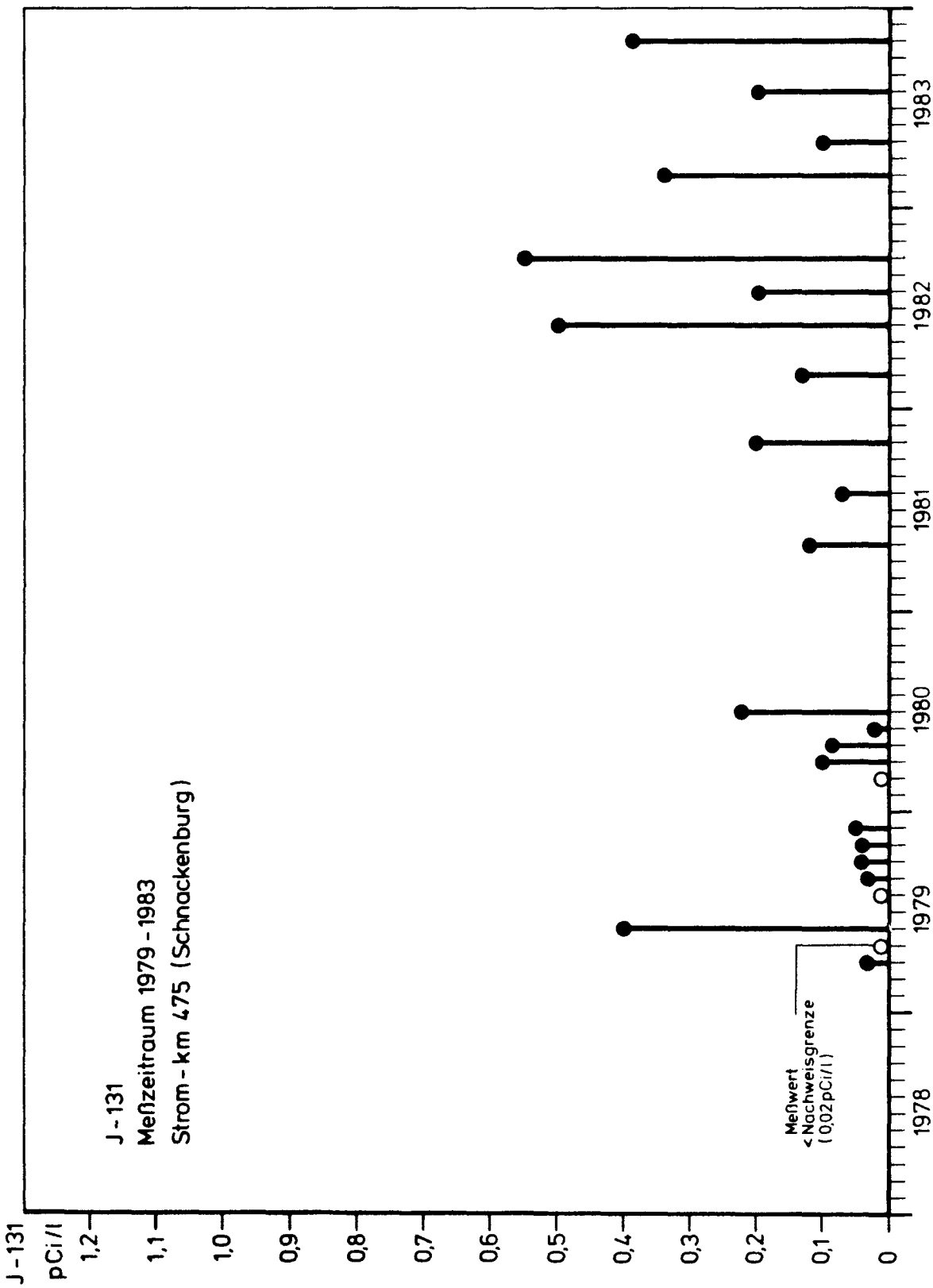
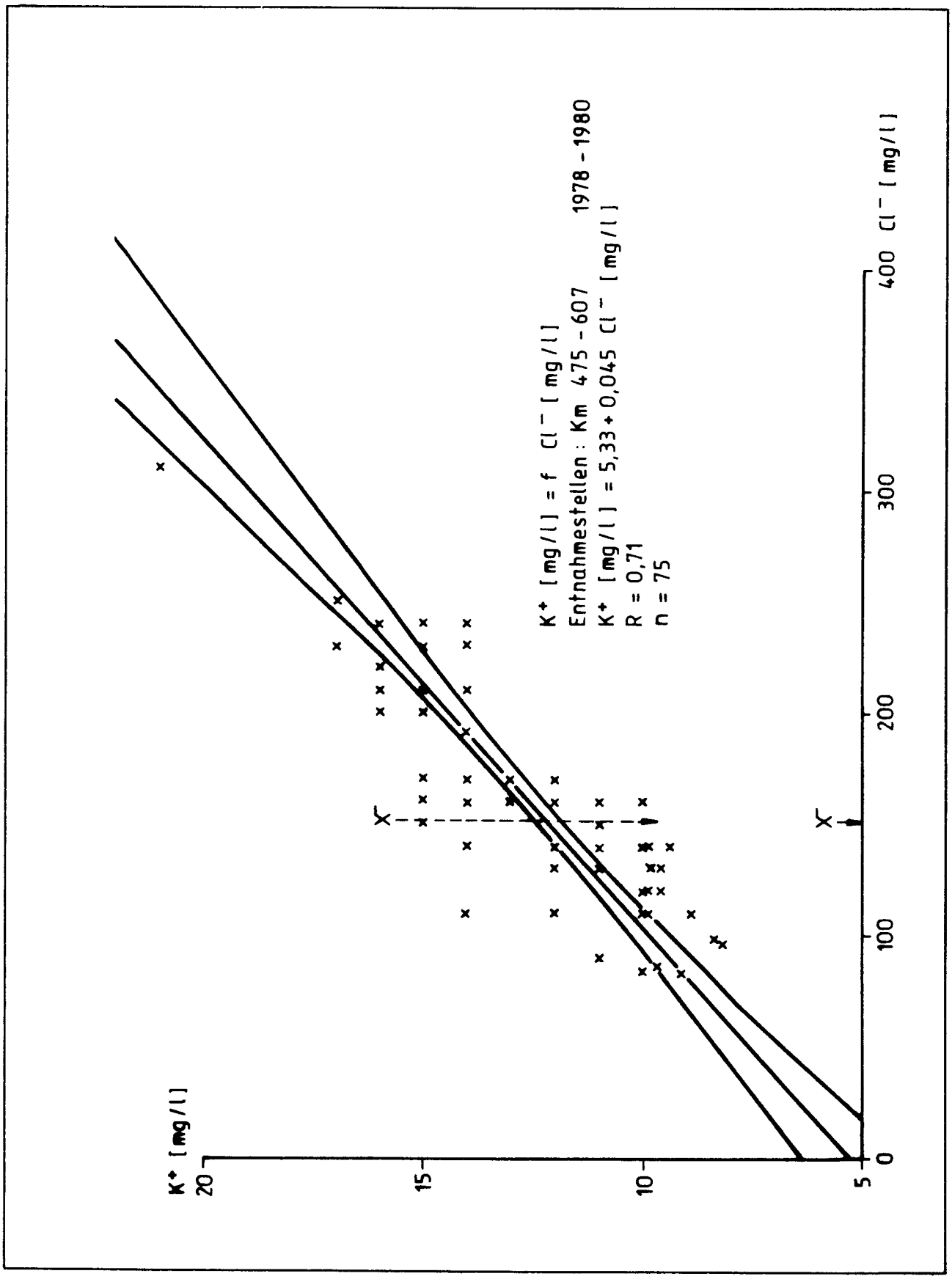

J-131
pCi/l
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
J-131
Meßzeitraum 1979-1983
Strom-km 475 (Schnackenburg)
Meßwert
< Nachweisgrenze
(0,02 pCi/l)
1978
1979
1980
1981
1982
1983

Abb. A 18


K+ [mg/l] = f Cl− [mg/l]
Entnahmestellen: Km 475 - 607
1978 - 1980
K+ [mg/l] = 5,33 + 0,045 Cl− [mg/l]
R = 0,71
n = 75
K+ [mg/l]
20
15
10
5
0
100
200
300
400
Cl− [mg/l]

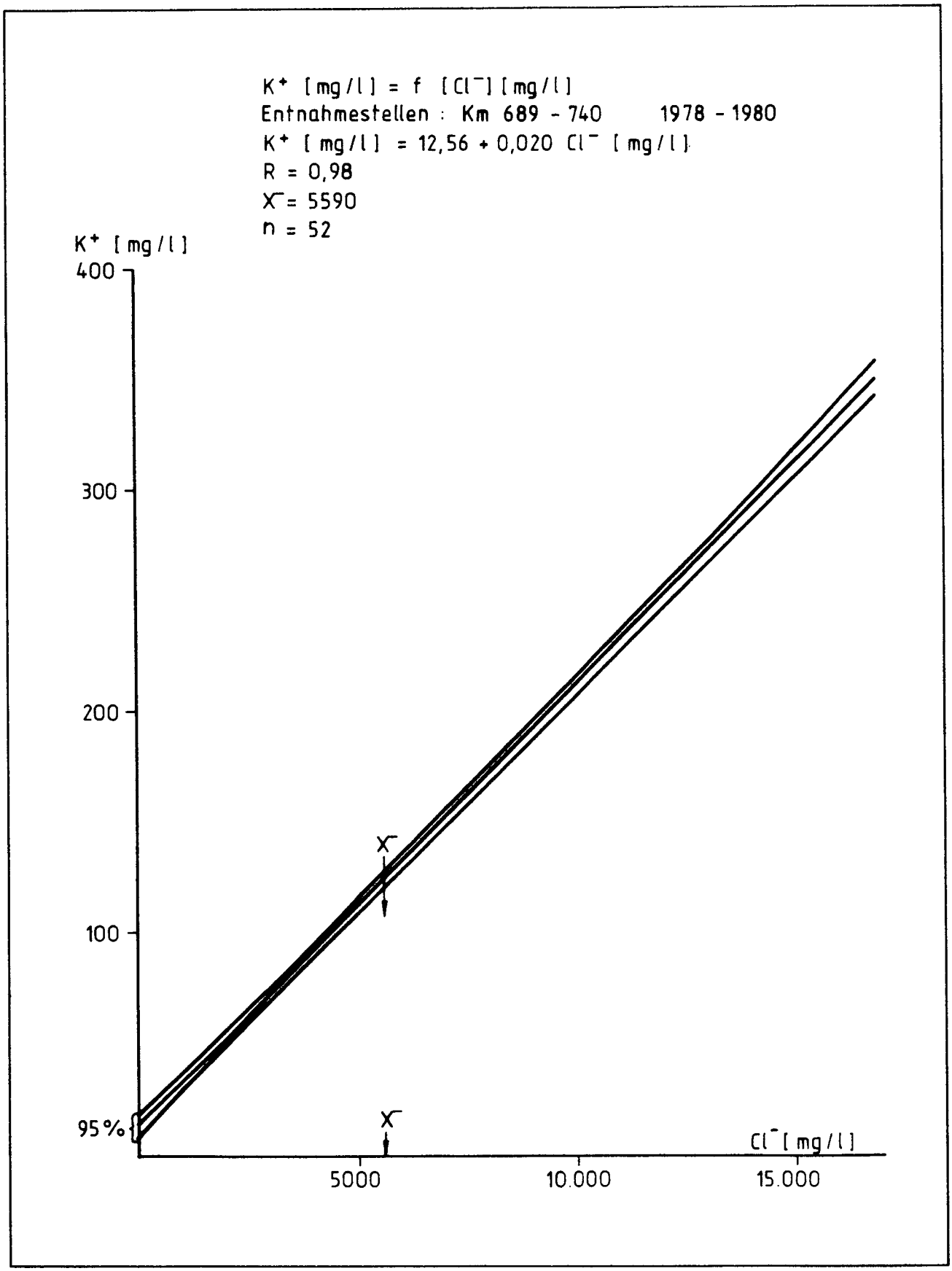

K⁺ [mg/l] = f [Cl⁻] [mg/l]
Entnahmestellen : Km 689 - 740 1978 - 1980
K⁺ [mg/l] = 12,56 + 0,020 Cl⁻ [mg/l]
R = 0,98
X̄ = 5590
n = 52
K⁺ [mg/l]
400
300
200
100
95%
X̄
X̄
Cl⁻ [mg/l]
5000
10.000
15.000

Abb. A 20

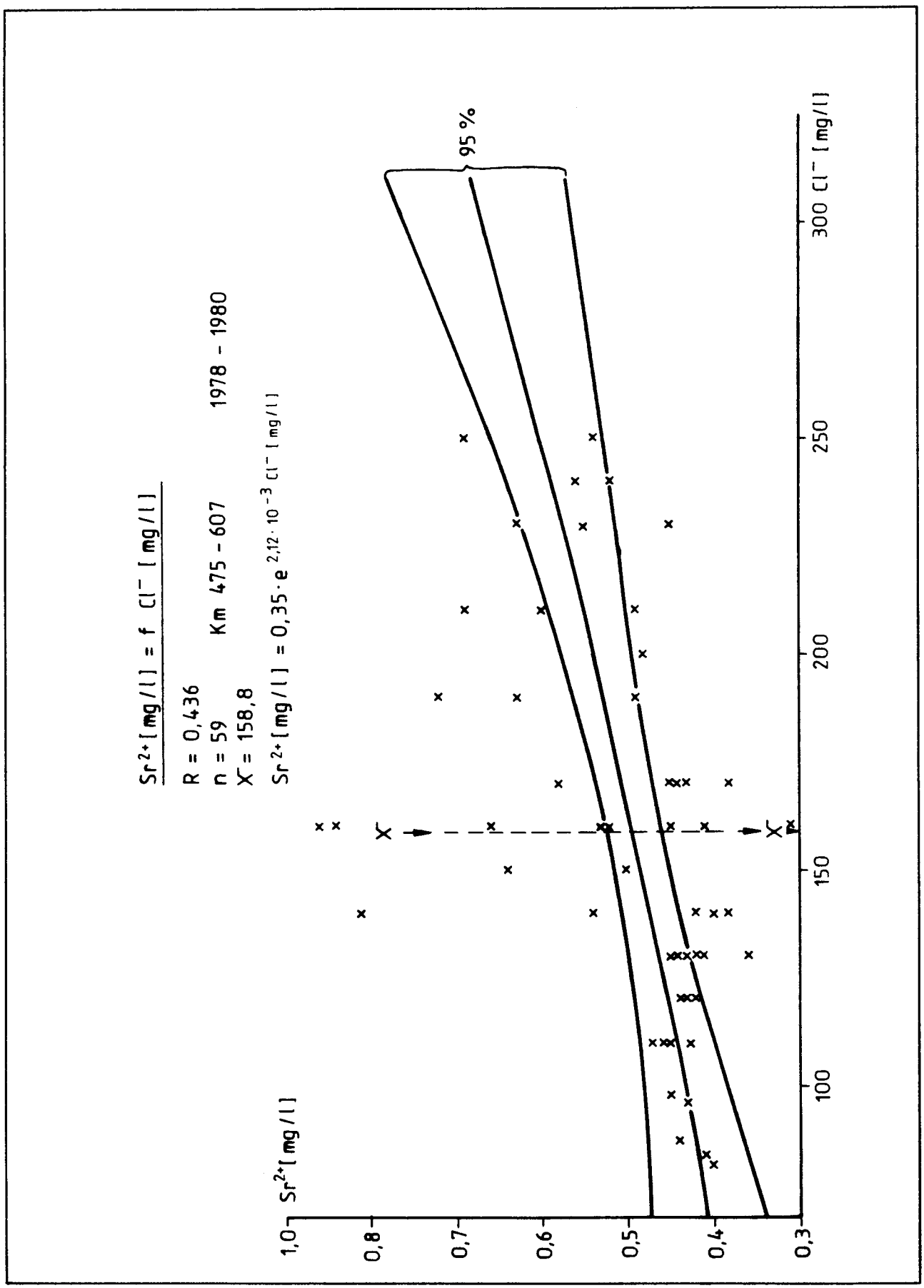

Sr2+ [mg/l] = f Cl− [mg/l]
R = 0,436
n = 59
Km 475 - 607
1978 - 1980
X̄ = 158,8
Sr2+ [mg/l] = 0,35 · e 2,12 · 10−3 Cl− [mg/l]
95 %
Sr2+ [mg/l]
1,0
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
100
150
200
250
300 Cl− [mg/l]

Abb. A21

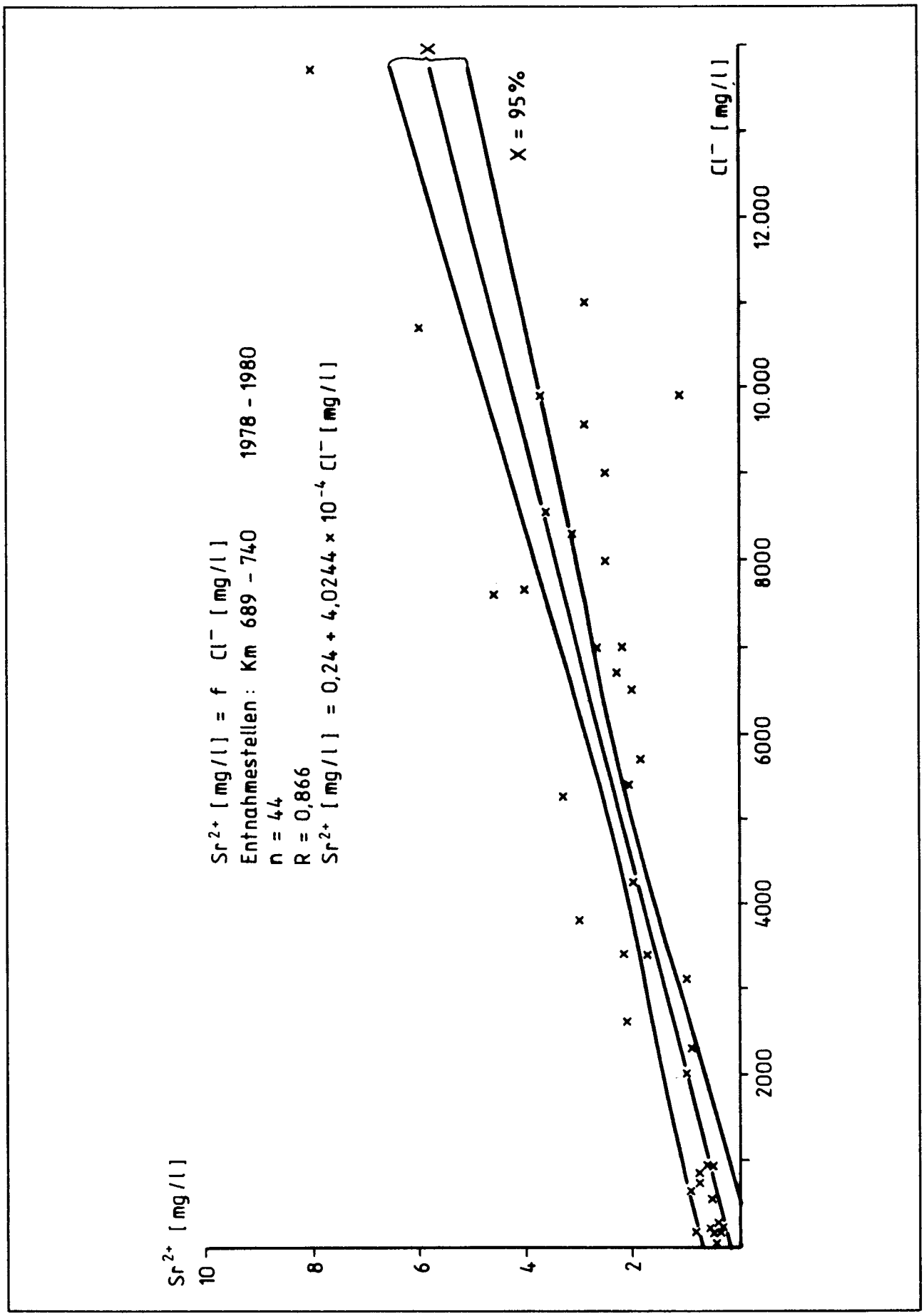
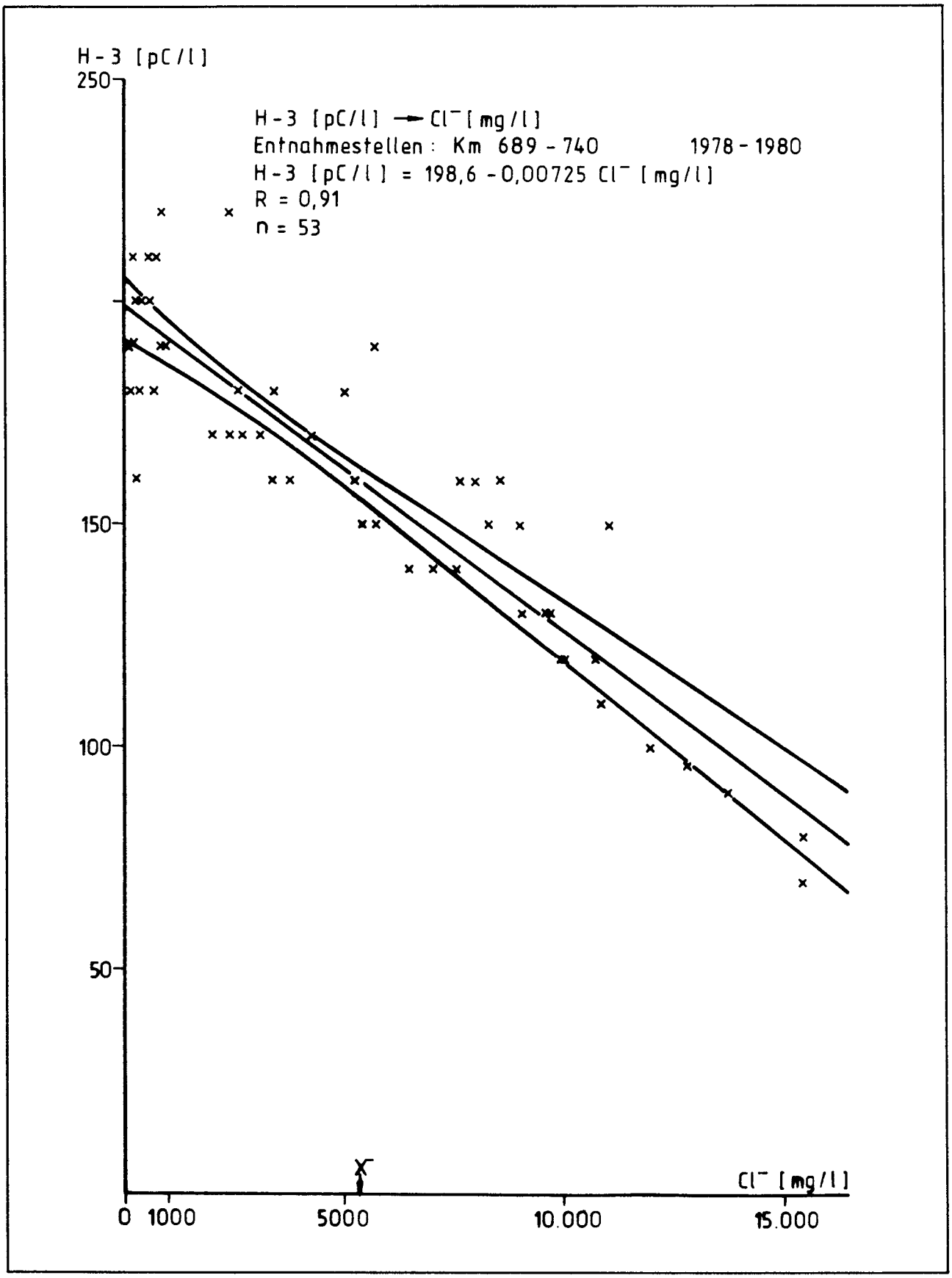

Sr2+ [mg/l] = f Cl− [mg/l]
Entnahmestellen: Km 689 - 740 1978 - 1980
n = 44
R = 0,866
Sr2+ [mg/l] = 0,24 + 4,0244 × 10−4 Cl− [mg/l]
X = 95 %
Sr2+ [mg/l]
10
8
6
4
2
2000
4000
6000
8000
10.000
12.000
Cl− [mg/l]

Abb. A22


H-3 [pC/l]
250
150
100
50
H-3 [pC/l] → Cl⁻ [mg/l]
Entnahmestellen: Km 689 - 740
1978 - 1980
H-3 [pC/l] = 198,6 - 0,00725 Cl⁻ [mg/l]
R = 0,91
n = 53
X̄
Cl⁻ [mg/l]
0
1000
5000
10.000
15.000

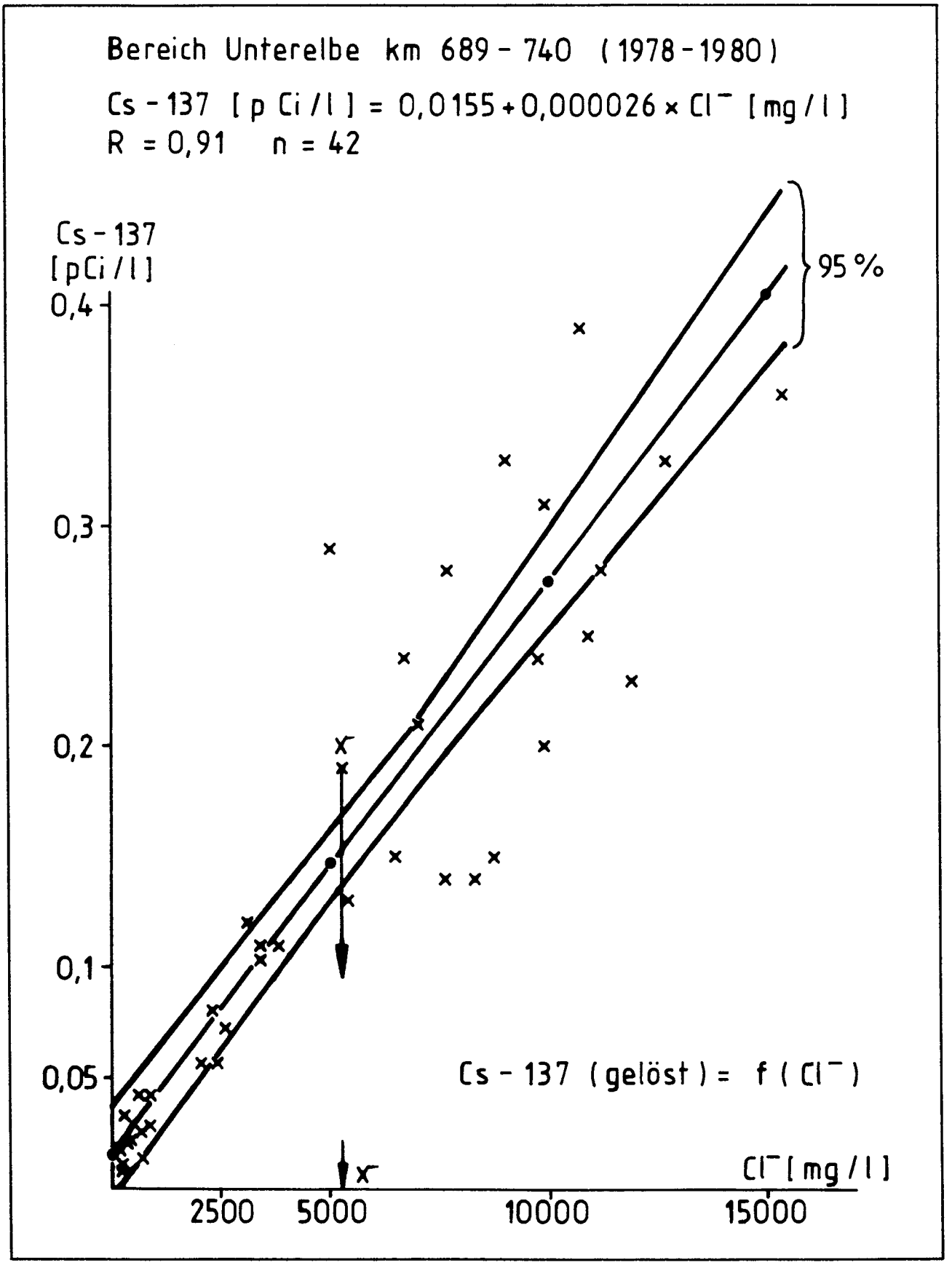
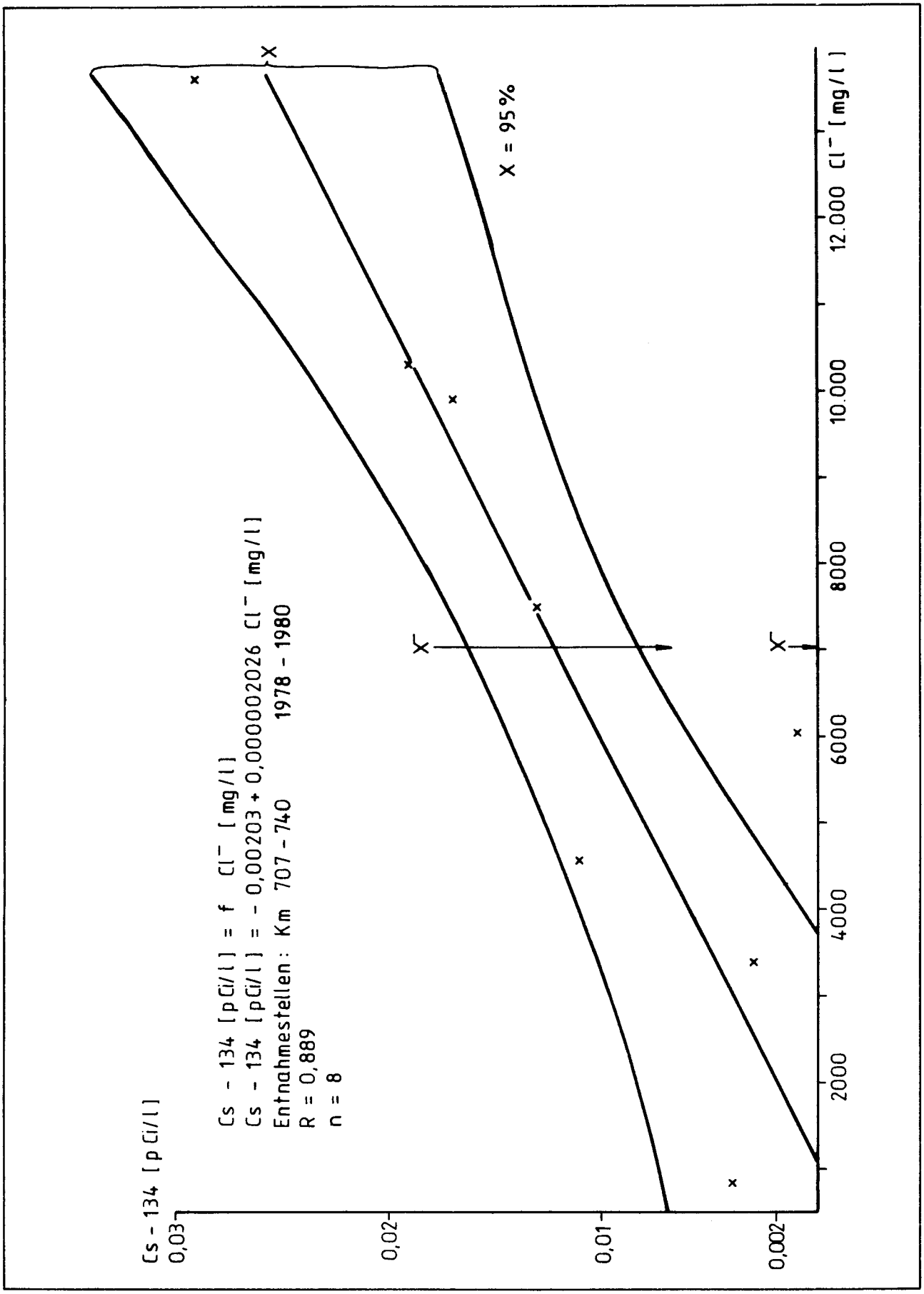
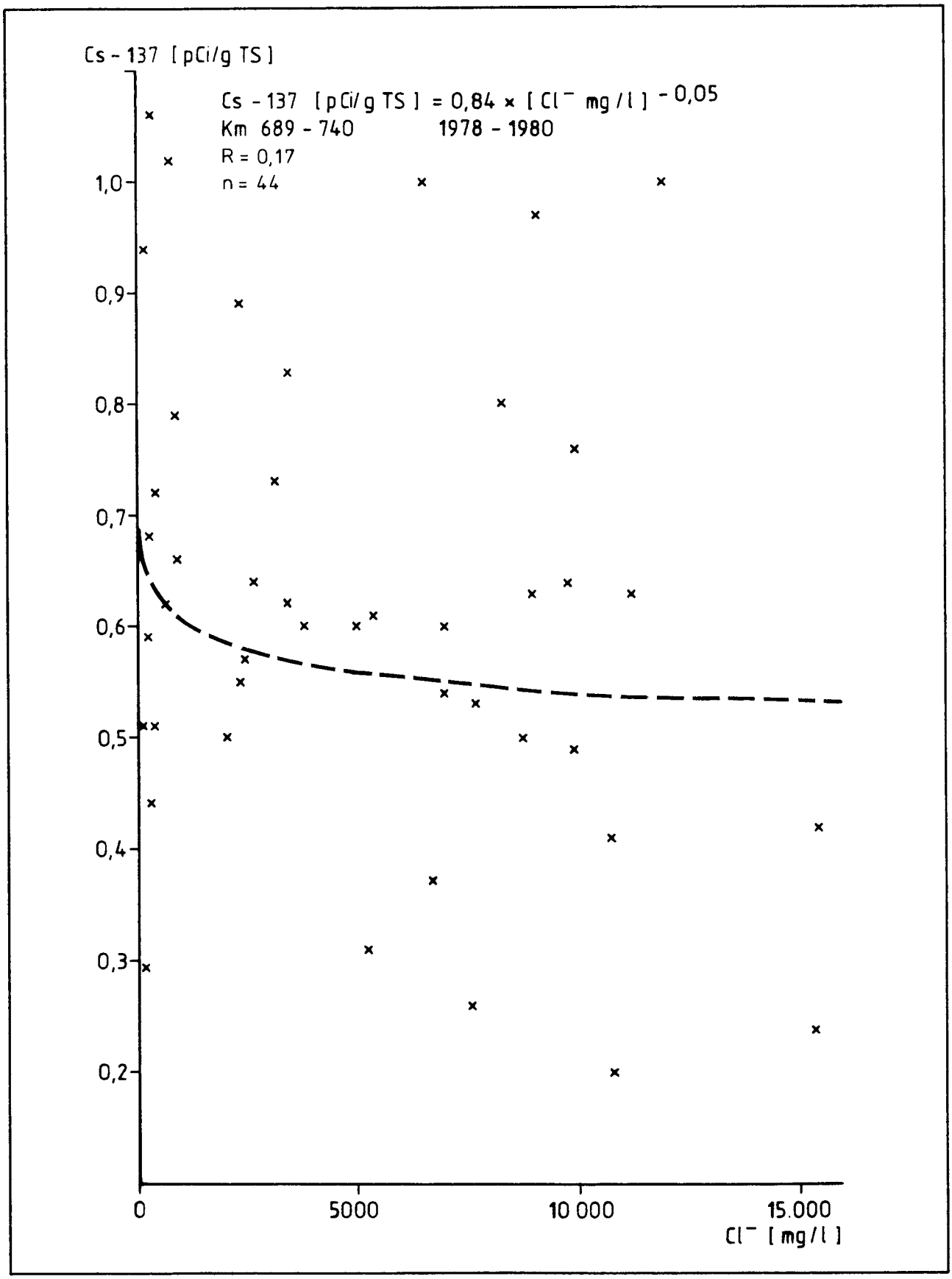
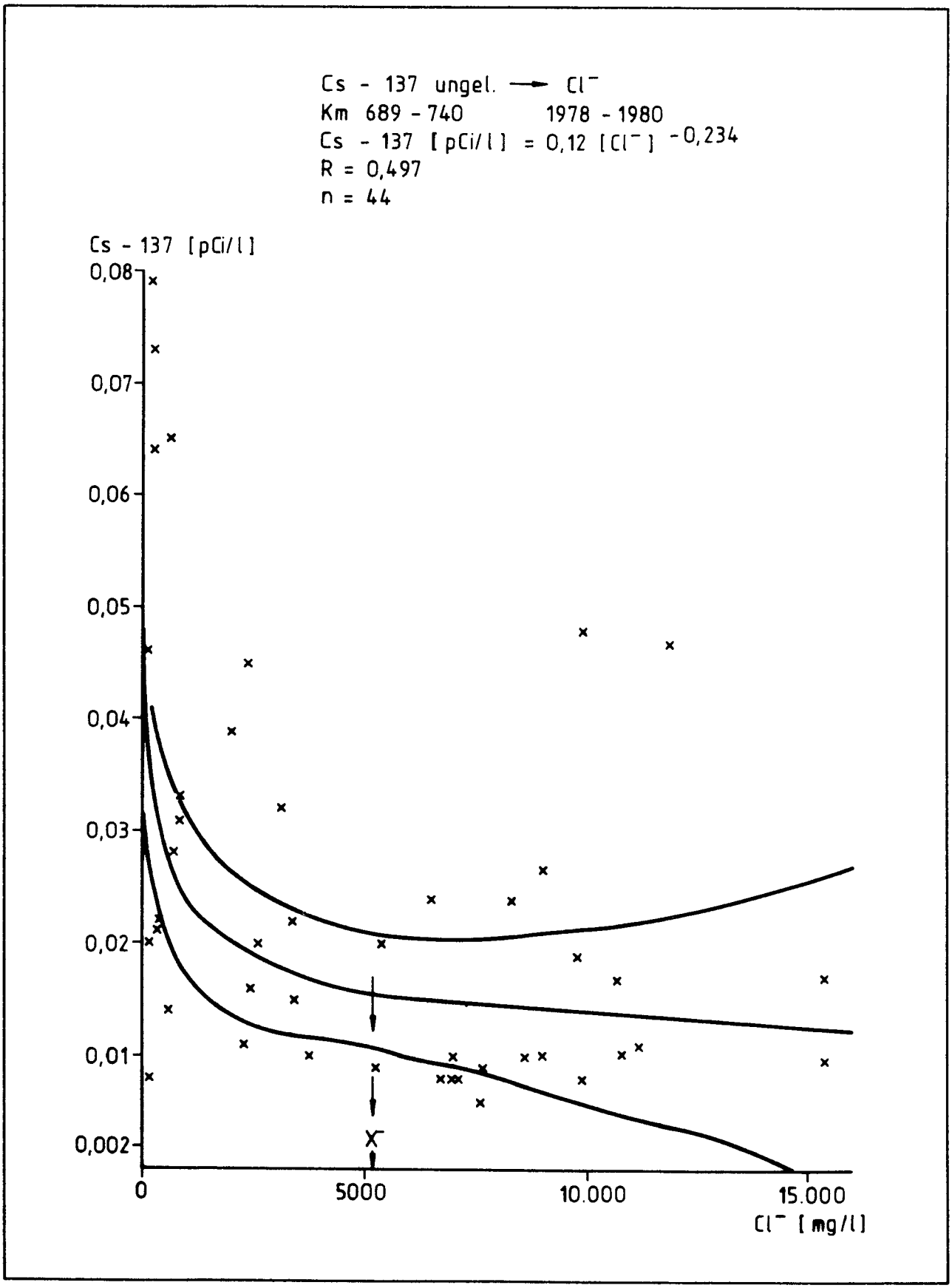
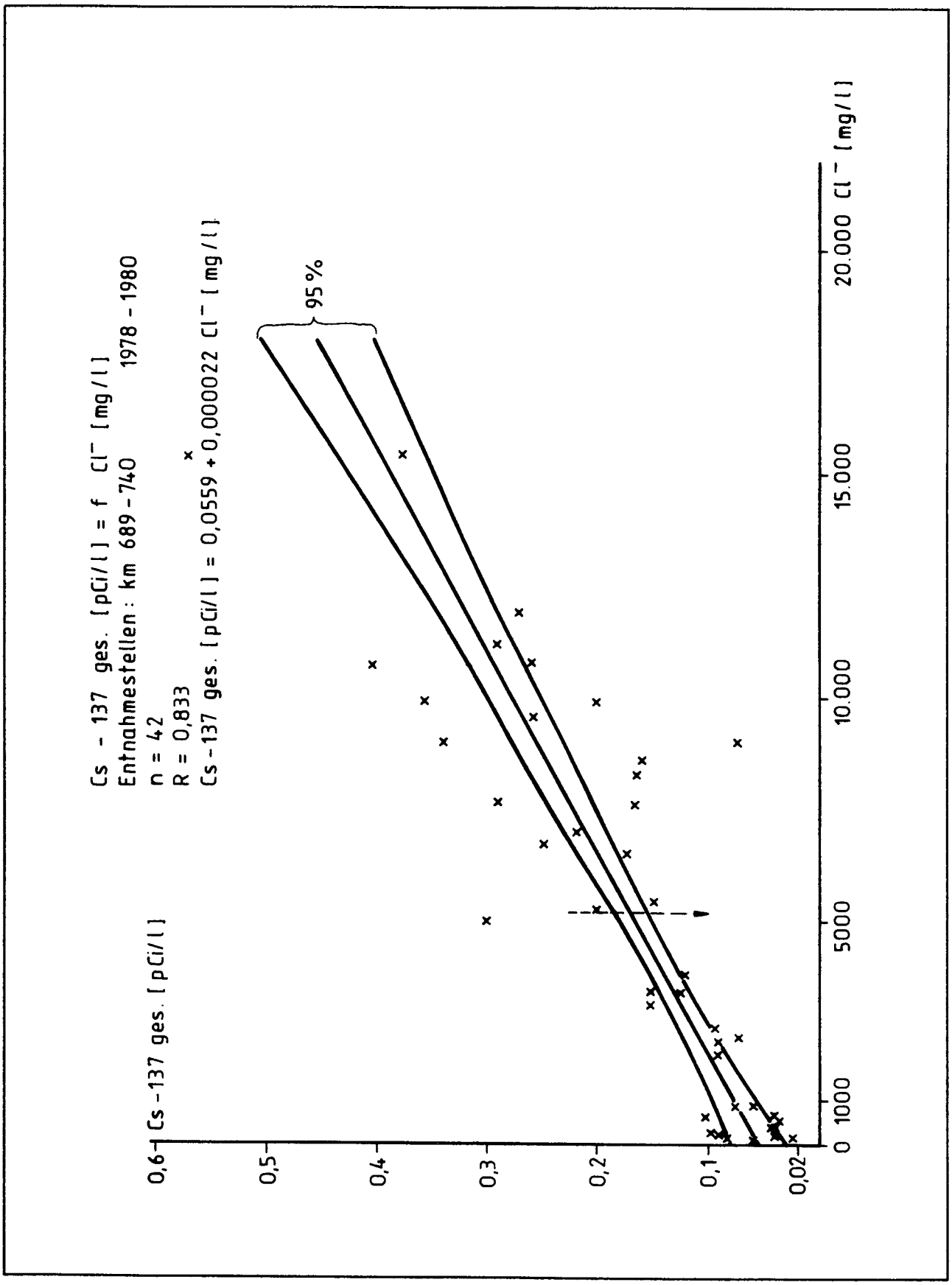

Bereich Unterelbe km 689 - 740 (1978-1980)
Cs - 137 [p Ci / l] = 0,0155 + 0,000026 × Cl⁻ [mg / l]
R = 0,91 n = 42
Cs - 137 [pCi / l]
0,4
0,3
0,2
0,1
0,05
95 %
Cs - 137 (gelöst) = f (Cl⁻)
Cl⁻ [mg / l]
2500
5000
10000
15000

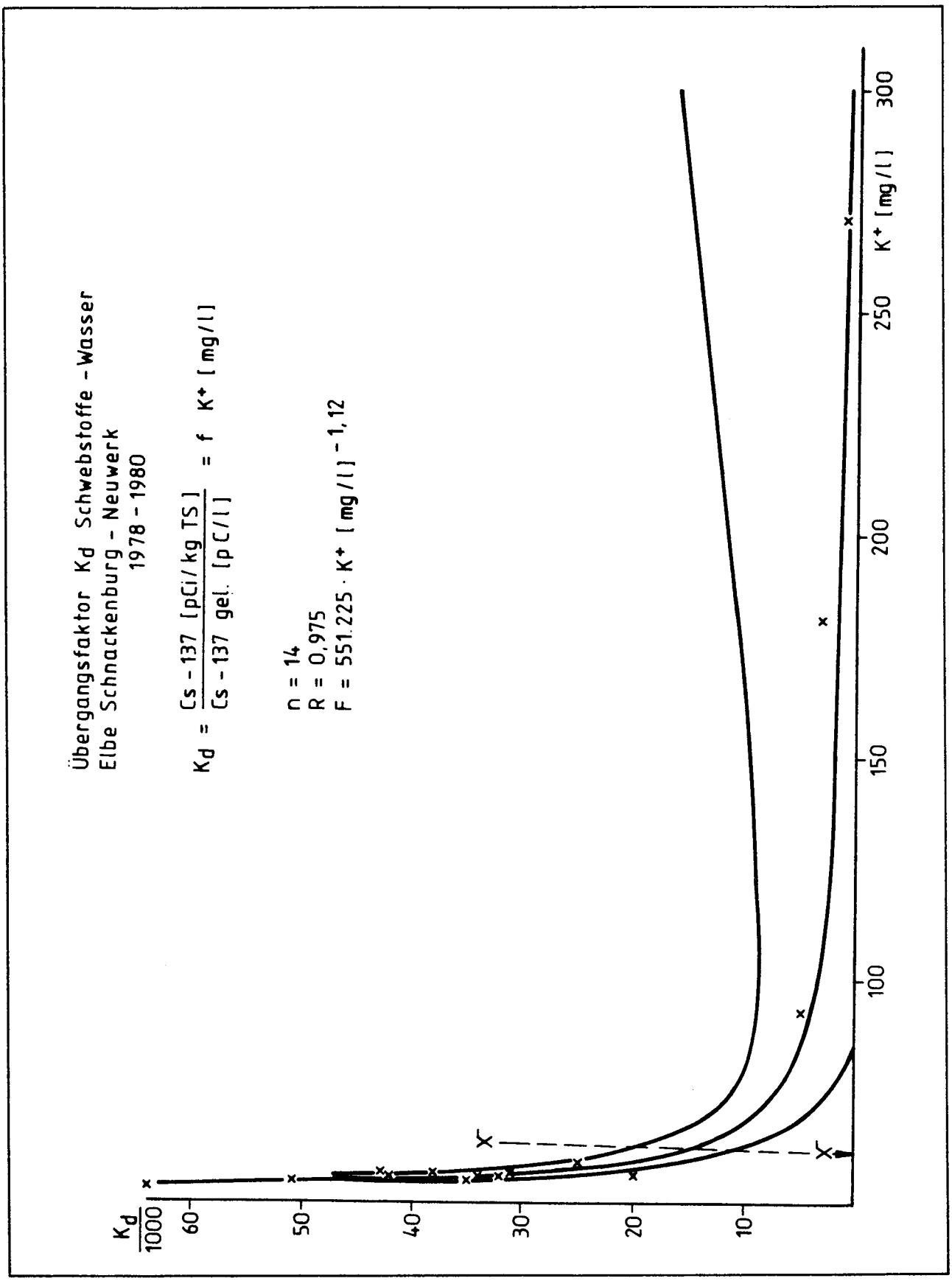
Abb. A24


Cs - 134 [pCi/l] = f Cl⁻ [mg/l]
Cs - 134 [pCi/l] = - 0,00203 + 0,000002026 Cl⁻ [mg/l]
Entnahmestellen: Km 707 - 740
1978 - 1980
R = 0,889
n = 8
X = 95 %
Cs - 134 [pCi/l]
0,03
0,02
0,01
0,002
2000
4000
6000
8000
10.000
12.000
Cl⁻ [mg/l]


Cs - 137 [pCi/g TS]
Cs - 137 [pCi/g TS] = 0,84 × [Cl⁻ mg / l] - 0,05
Km 689 - 740 1978 - 1980
R = 0,17
n = 44
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0
5000
10 000
15.000
Cl⁻ [mg/l]


Cs - 137 ungel. → Cl⁻
Km 689 - 740 1978 - 1980
Cs - 137 [pCi/l] = 0,12 [Cl⁻] -0,234
R = 0,497
n = 44
Cs - 137 [pCi/l]
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0,002
0
5000
10.000
15.000
Cl⁻ [mg/l]
X⁻


Cs - 137 ges. [pCi/l] = f Cl⁻ [mg/l]
Entnahmestellen: km 689 - 740
1978 - 1980
n = 42
R = 0,833
Cs-137 ges. [pCi/l] = 0,0559 + 0,000022 Cl⁻ [mg/l]
95 %
Cs-137 ges. [pCi/l]
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,02
0
1000
5000
10.000
15.000
20.000
Cl⁻ [mg/l]


Übergangsfaktor Kd Schwebstoffe - Wasser
Elbe Schnackenburg - Neuwerk
1978 - 1980
Kd = Cs - 137 [pCi/kg TS] / Cs - 137 gel. [pC/l] = f K+ [mg/l]
n = 14
R = 0,975
F = 551.225 · K+ [mg/l] - 1,12
Kd/1000
60
50
40
30
20
10
100
150
200
250
300
K+ [mg/l]

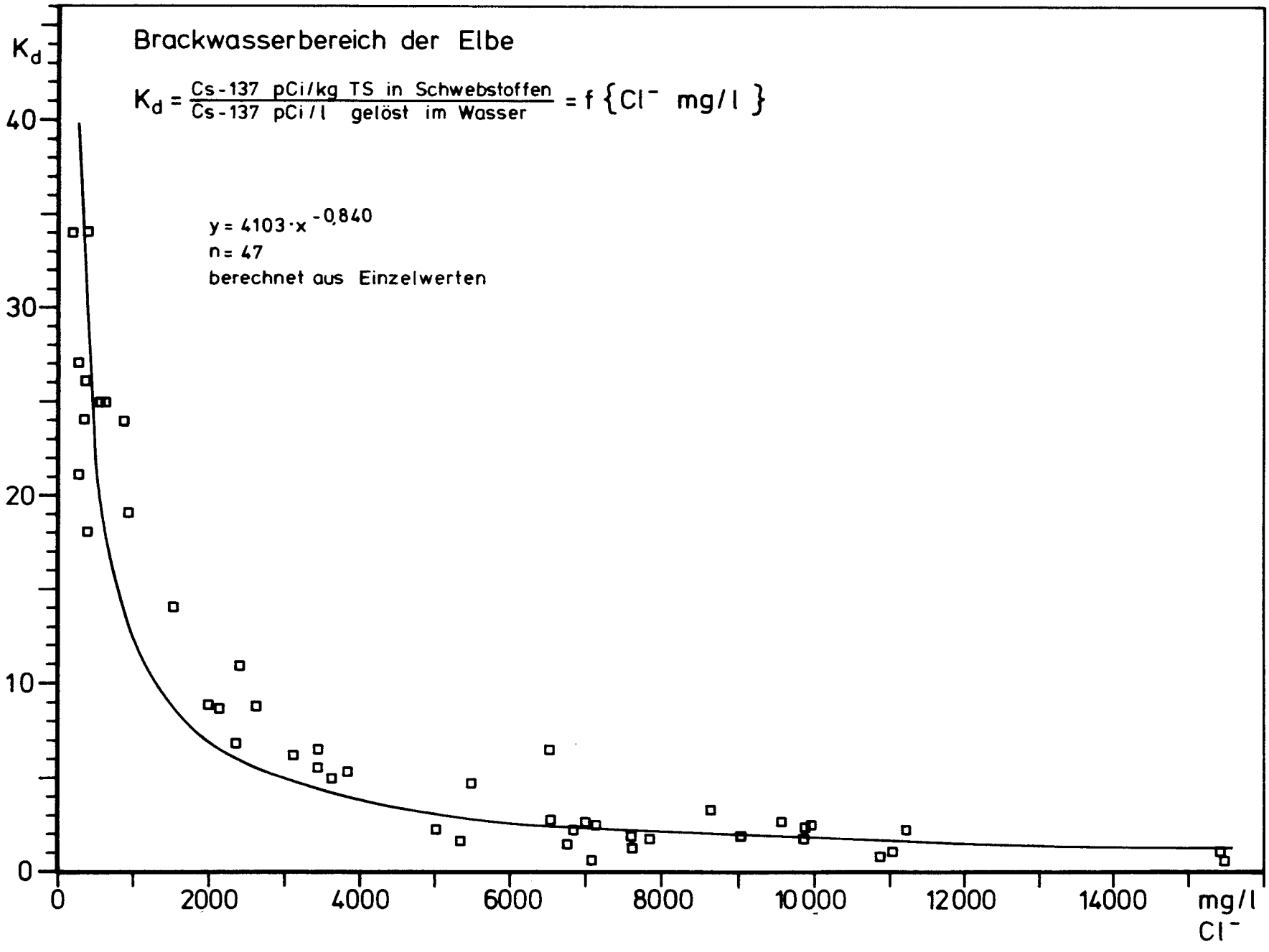

Brackwasserbereich der Elbe
$K_d = \frac{\text{Cs-137 pCi/kg TS in Schwebstoffen}}{\text{Cs-137 pCi/l gelöst im Wasser}} = f\{Cl^-\ mg/l\}$
$y = 4103 \cdot x^{-0,840}$
n = 47
berechnet aus Einzelwerten
K_d
40
30
20
10
0
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
mg/l
Cl^-

Abb. A 28.2

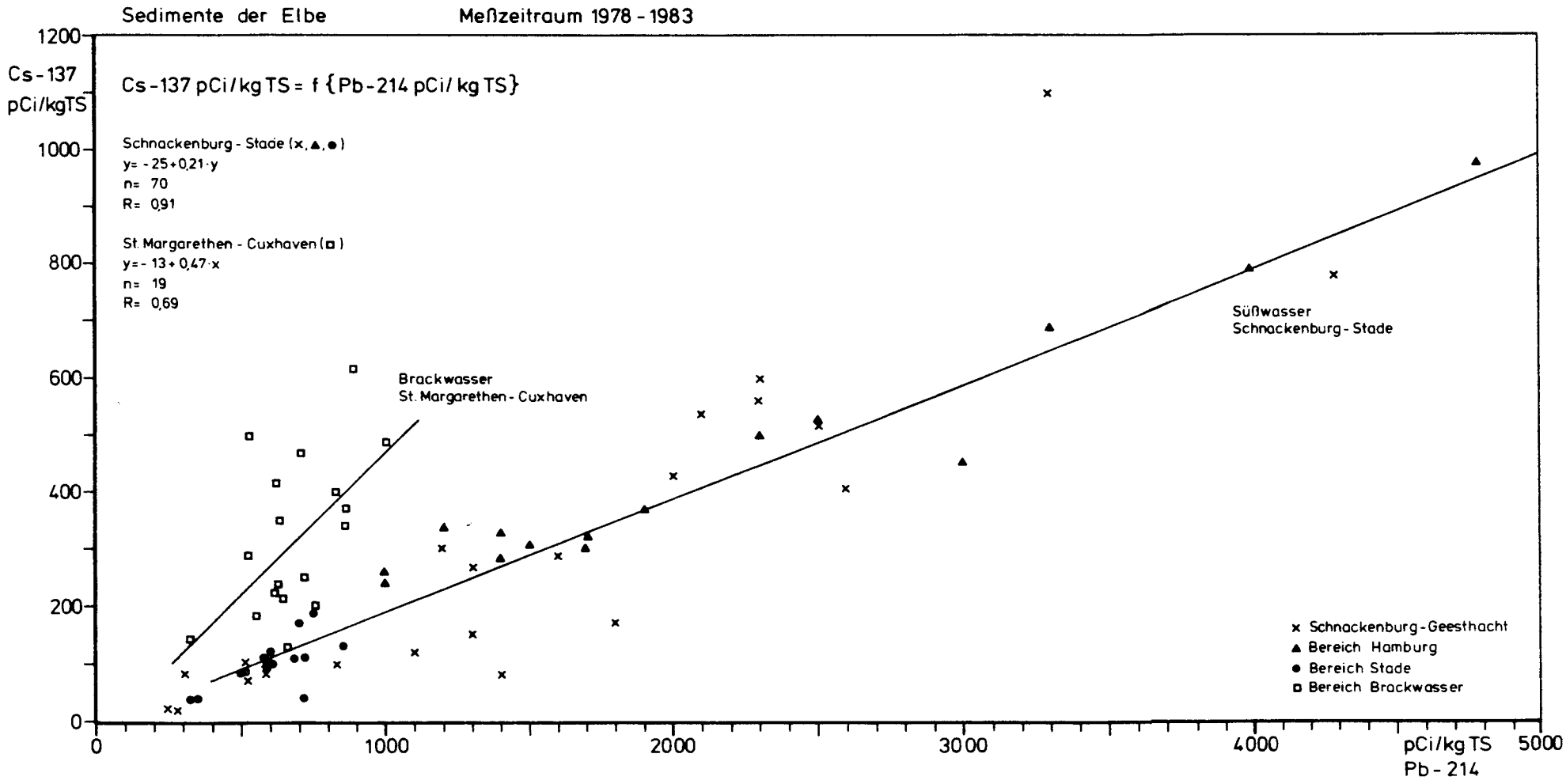

Sedimente der Elbe
Meßzeitraum 1978 - 1983
Cs-137 pCi/kgTS
Cs-137 pCi/kg TS = f {Pb-214 pCi/kg TS}
Schnackenburg - Stade (x, ▲, ●)
y= -25+0,21·y
n= 70
R= 0,91
St. Margarethen - Cuxhaven (□)
y= -13+0,47·x
n= 19
R= 0,69
Brackwasser
St. Margarethen - Cuxhaven
Süßwasser
Schnackenburg - Stade
x Schnackenburg-Geesthacht
▲ Bereich Hamburg
● Bereich Stade
□ Bereich Brackwasser
pCi/kg TS
Pb-214
0
200
400
600
800
1000
1200
1000
2000
3000
4000
5000

Abb. A 29

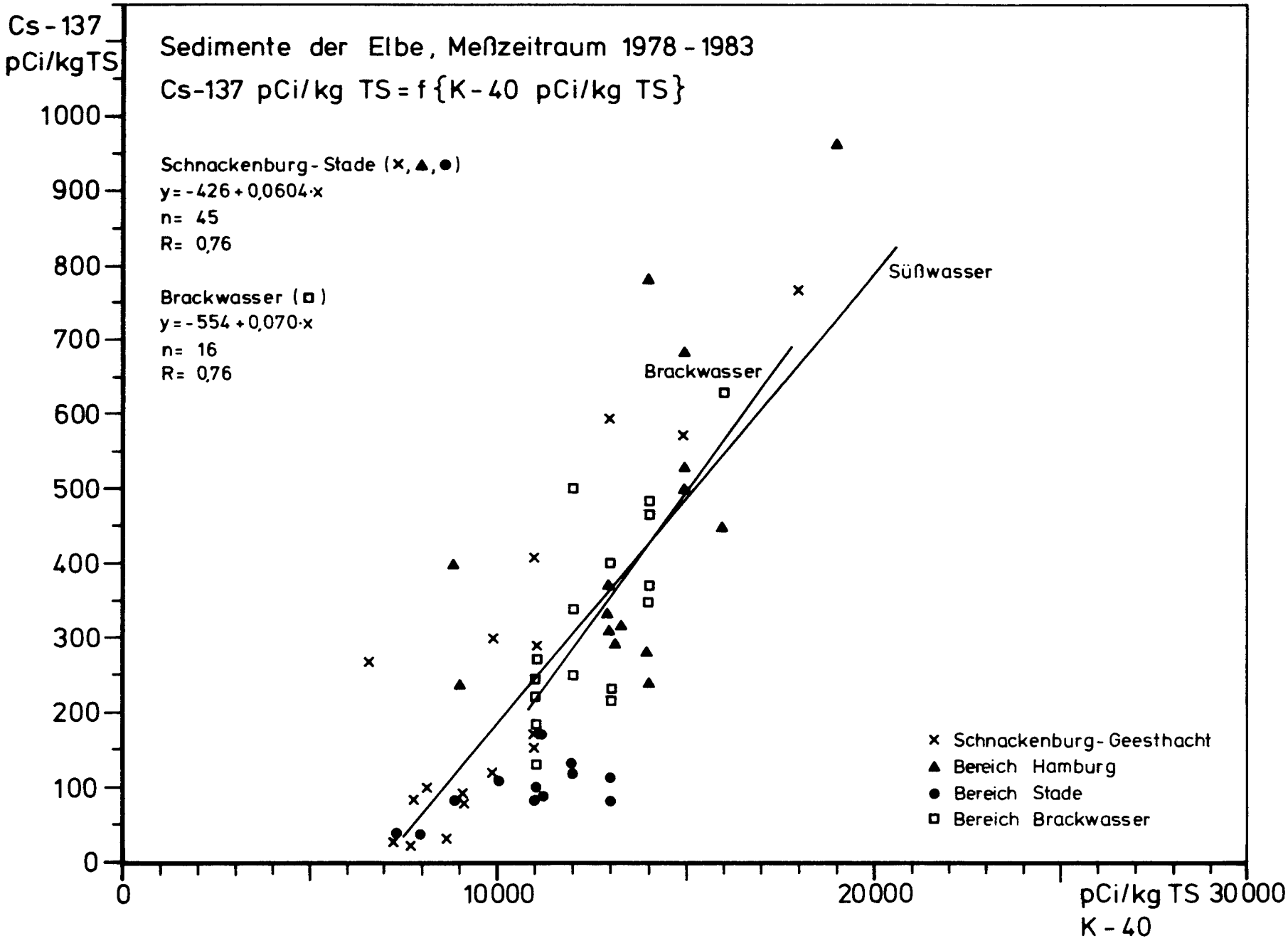

Sedimente der Elbe, Meßzeitraum 1978 - 1983
Cs-137 pCi/kg TS = f {K-40 pCi/kg TS}
Cs-137 pCi/kgTS
Schnackenburg - Stade (×, ▲, ●)
y = -426 + 0,0604·x
n = 45
R = 0,76
Brackwasser (□)
y = -554 + 0,070·x
n = 16
R = 0,76
Süßwasser
Brackwasser
× Schnackenburg - Geesthacht
▲ Bereich Hamburg
● Bereich Stade
□ Bereich Brackwasser
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
0
10000
20000
30000
pCi/kg TS
K - 40

Abb. A 30

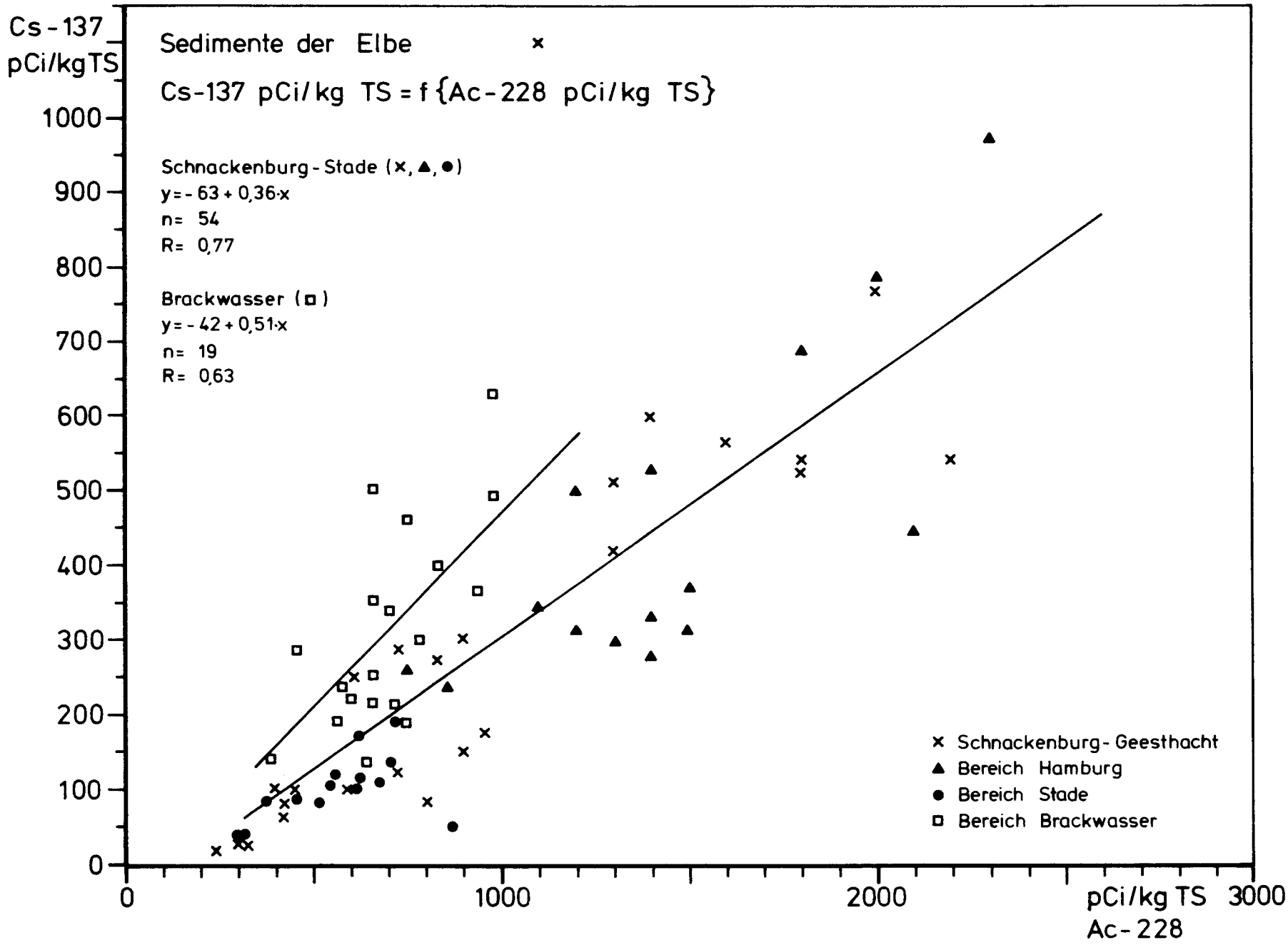
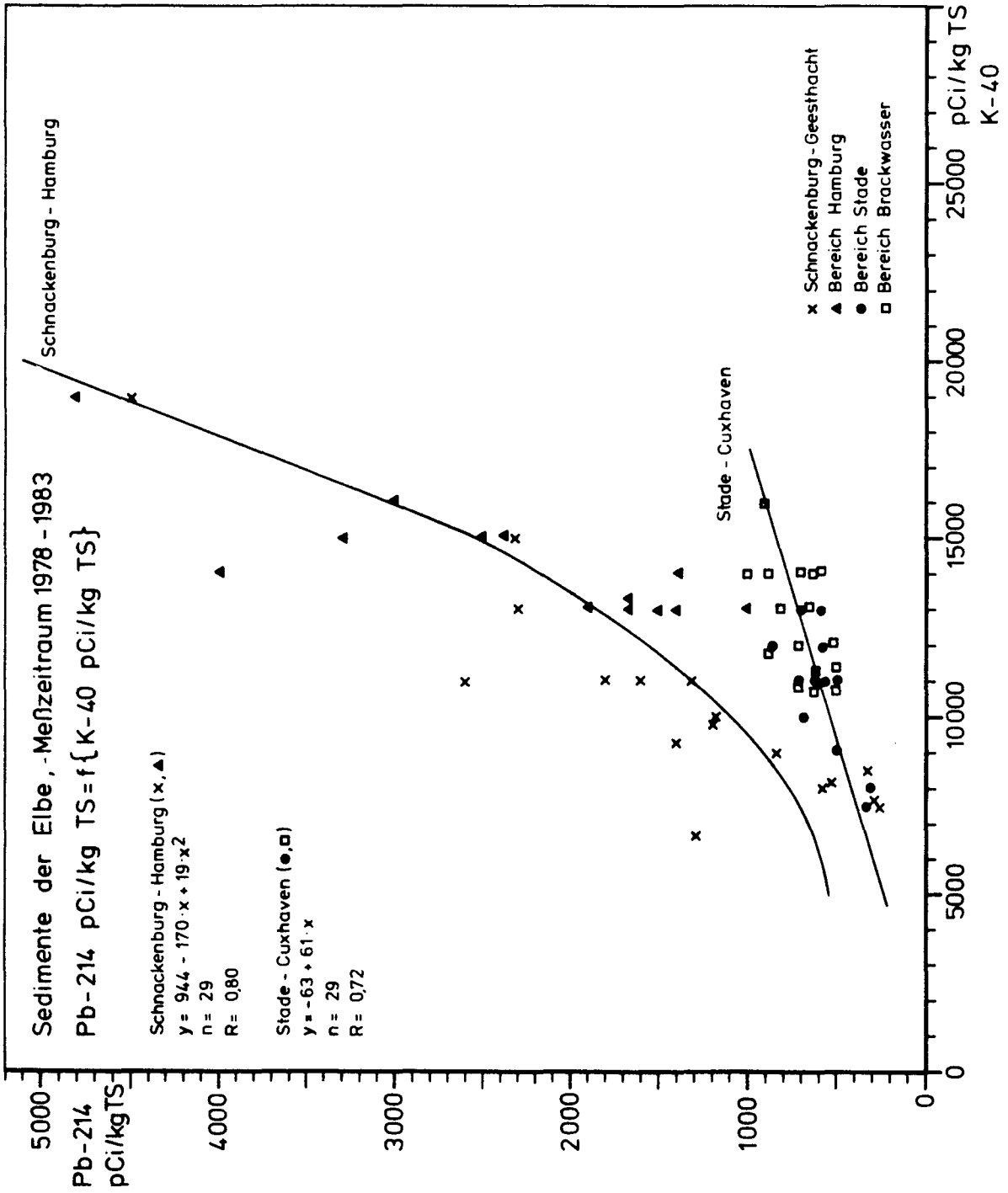

Cs-137
pCi/kgTS
Sedimente der Elbe ×
Cs-137 pCi/kg TS = f {Ac-228 pCi/kg TS}
Schnackenburg - Stade (×, ▲, ●)
y = - 63 + 0,36·x
n = 54
R = 0,77
Brackwasser (□)
y = - 42 + 0,51·x
n = 19
R = 0,63
× Schnackenburg - Geesthacht
▲ Bereich Hamburg
● Bereich Stade
□ Bereich Brackwasser
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
1000
2000
3000
pCi/kg TS
Ac-228

Abb. A 31

Abb. A 32


Sedimente der Elbe, -Meßzeitraum 1978 - 1983
Pb-214 pCi/kg TS = f{K-40 pCi/kg TS}
Schnackenburg - Hamburg (x, ▲)
y = 944 - 170 · x + 19 · x²
n = 29
R = 0,80
Stade - Cuxhaven (●, □)
y = -63 + 61 · x
n = 29
R = 0,72
Schnackenburg - Hamburg
Stade - Cuxhaven
× Schnackenburg - Geesthacht
▲ Bereich Hamburg
● Bereich Stade
□ Bereich Brackwasser
Pb-214 pCi/kgTS
5000
4000
3000
2000
1000
0
0
5000
10000
15000
20000
25000
pCi/kg TS
K-40

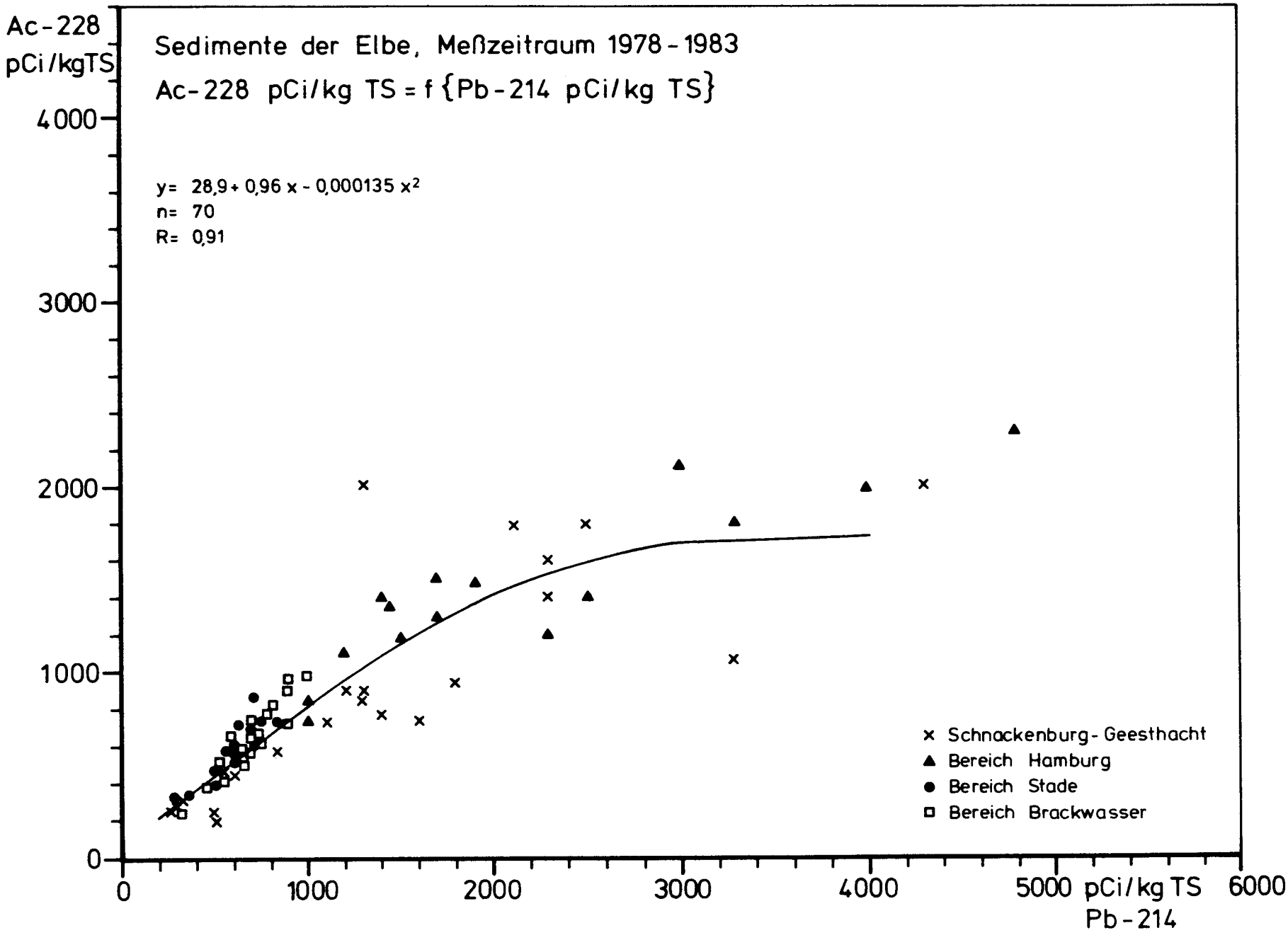

Sedimente der Elbe, Meßzeitraum 1978 - 1983
Ac-228 pCi/kg TS = f {Pb-214 pCi/kg TS}
y= 28,9 + 0,96 x - 0,000135 x²
n= 70
R= 0,91
Ac-228 pCi/kgTS
4000
3000
2000
1000
0
0
1000
2000
3000
4000
5000 pCi/kg TS
Pb-214
6000
× Schnackenburg - Geesthacht
▲ Bereich Hamburg
● Bereich Stade
□ Bereich Brackwasser

Abb. A33

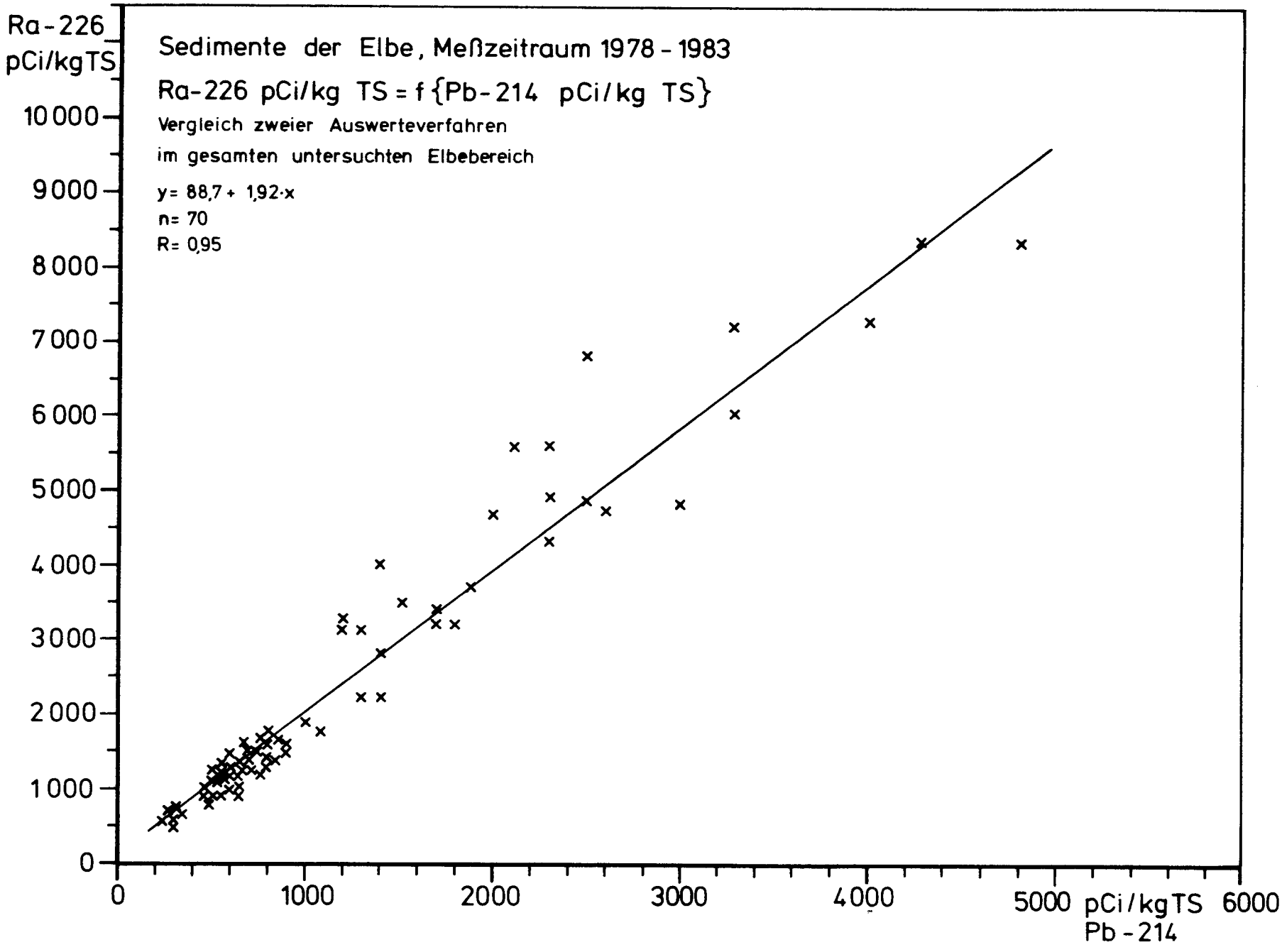

Sedimente der Elbe, Meßzeitraum 1978 - 1983
Ra-226 pCi/kg TS = f {Pb-214 pCi/kg TS}
Vergleich zweier Auswerteverfahren
im gesamten untersuchten Elbebereich
y= 88,7 + 1,92·x
n= 70
R= 0,95
Ra-226 pCi/kgTS
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
pCi/kgTS
Pb-214

Abb. A 34

Sedimente des Brackwasserbereiches
Meßzeitraum 1981-1983

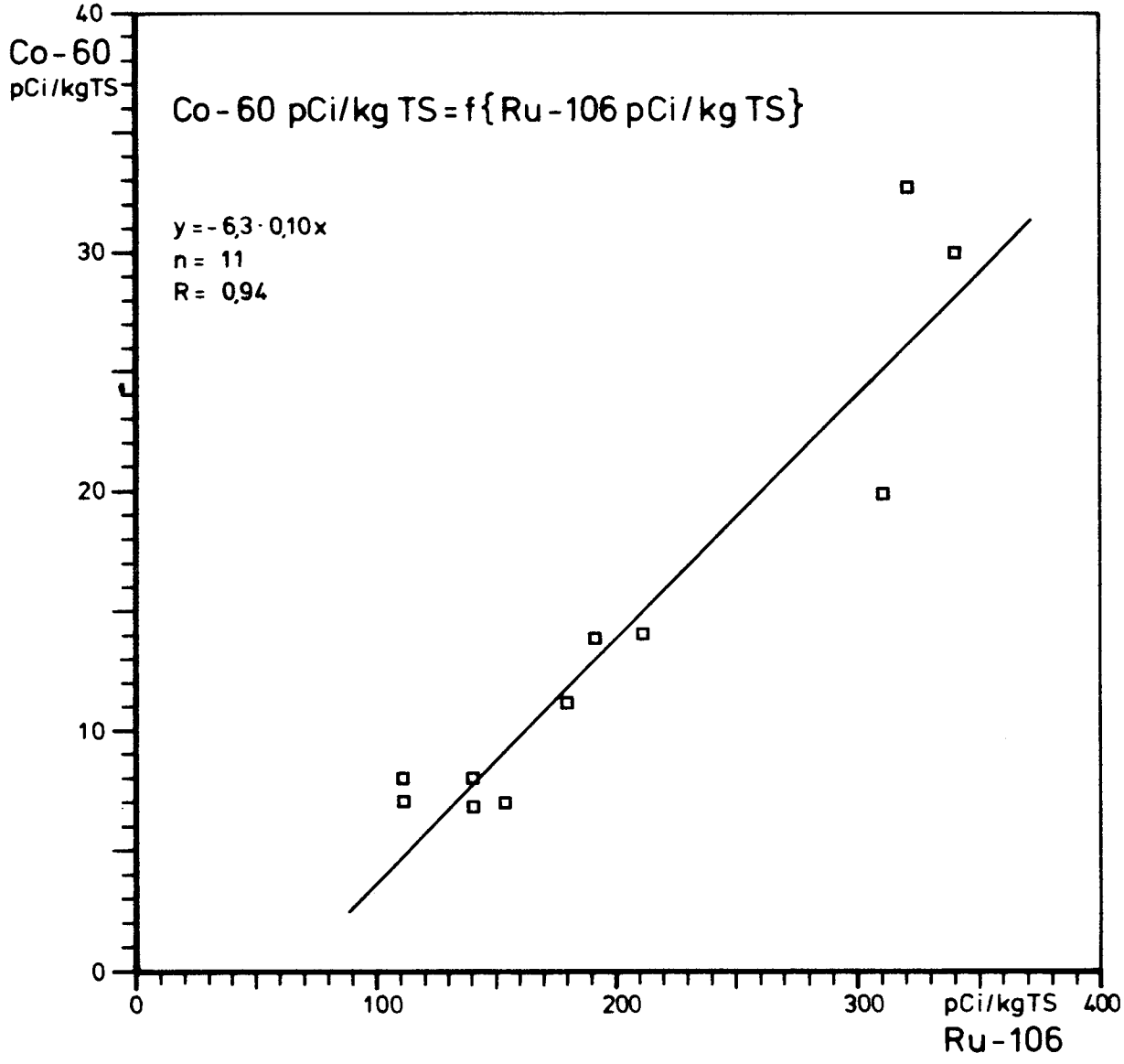


Abb. A 35

Sedimente des Brackwasserbereiches
Meßzeitraum 1981 - 1983

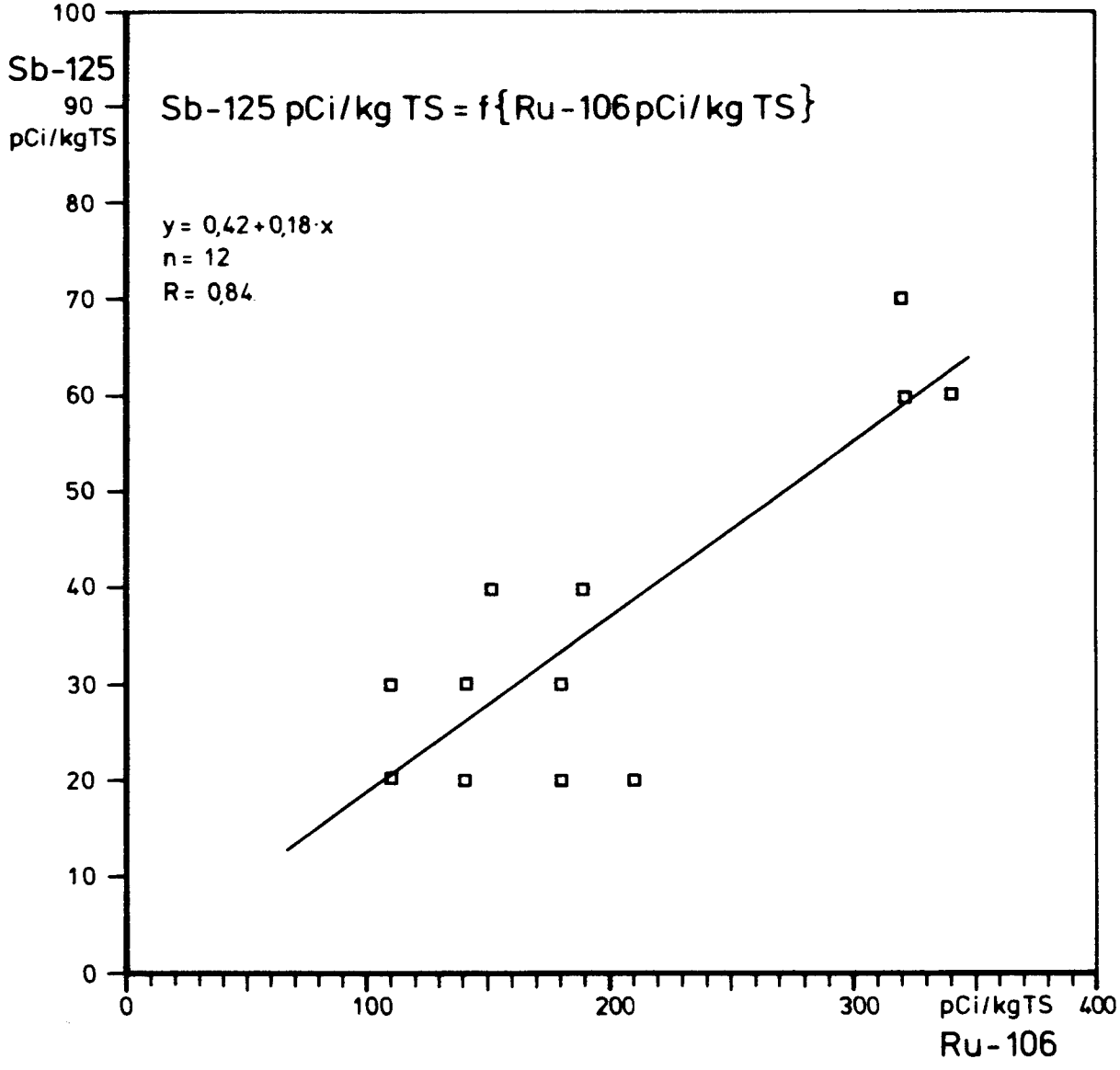


Abb. A 36

Sedimente des Brackwasserbereiches
Meßzeitraum 1981-1983

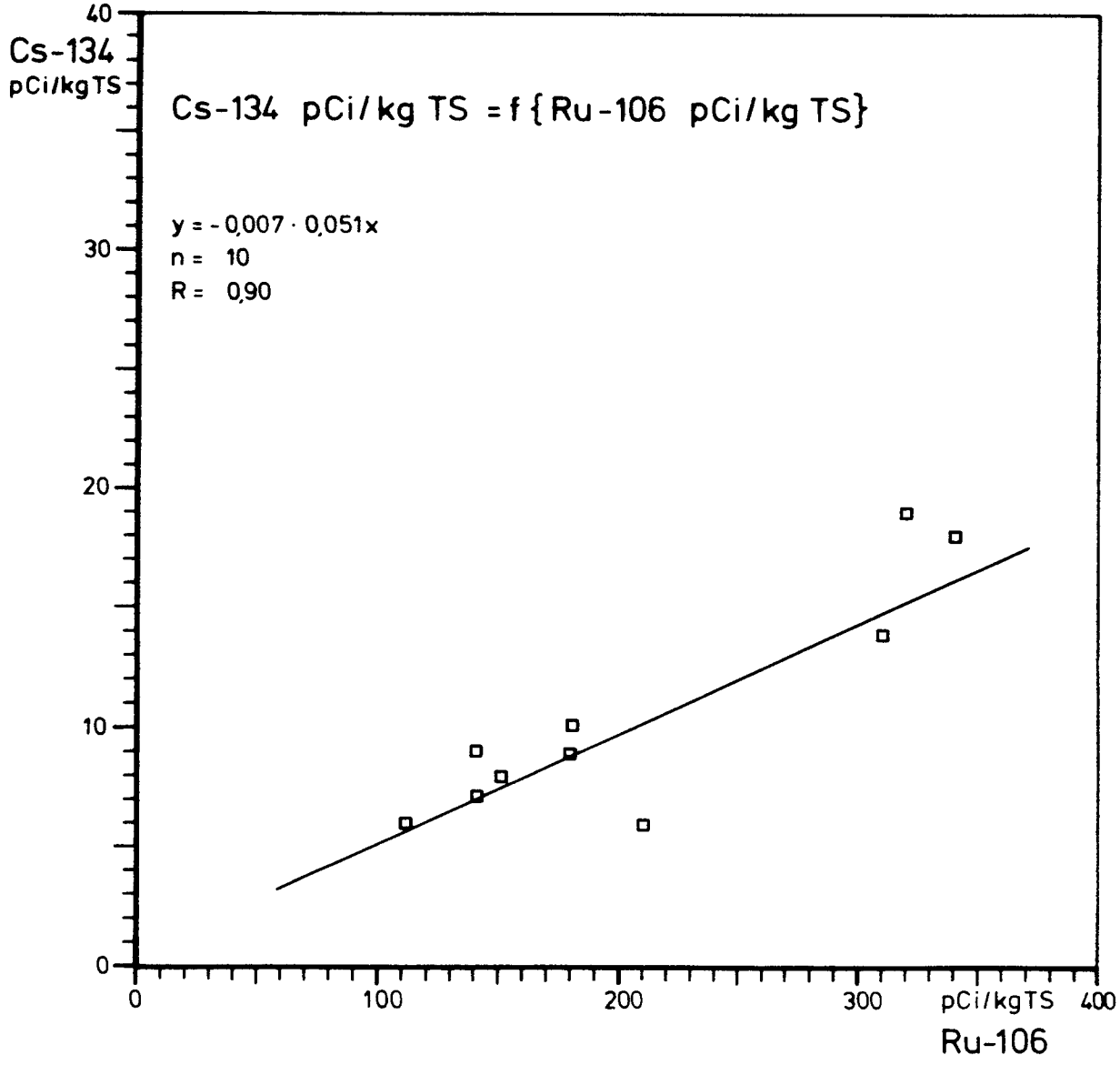


Abb. A 37

Sedimente des Brackwasserbereiches
Meßzeitraum 1981 - 1983

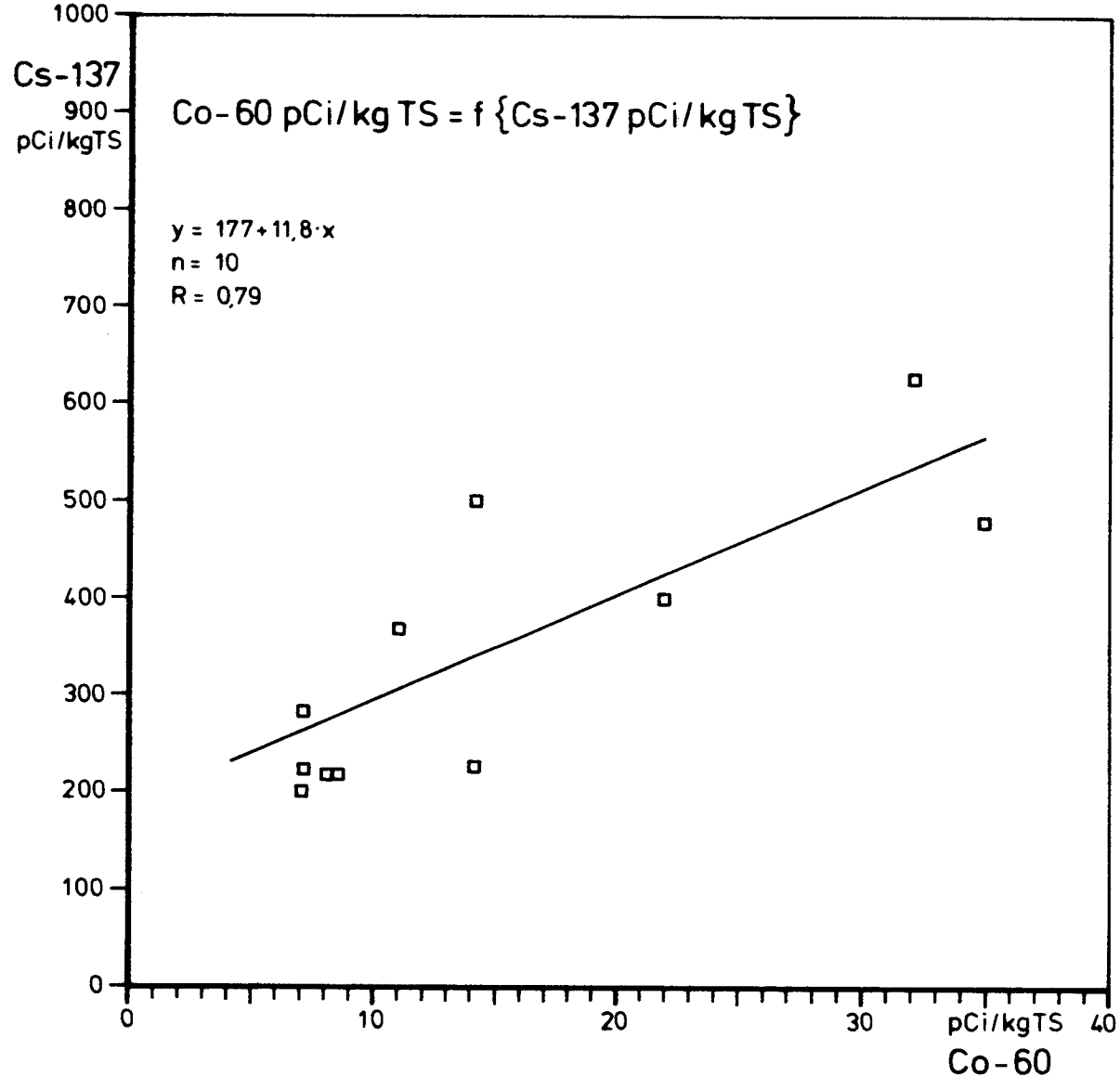


Abb. A 38

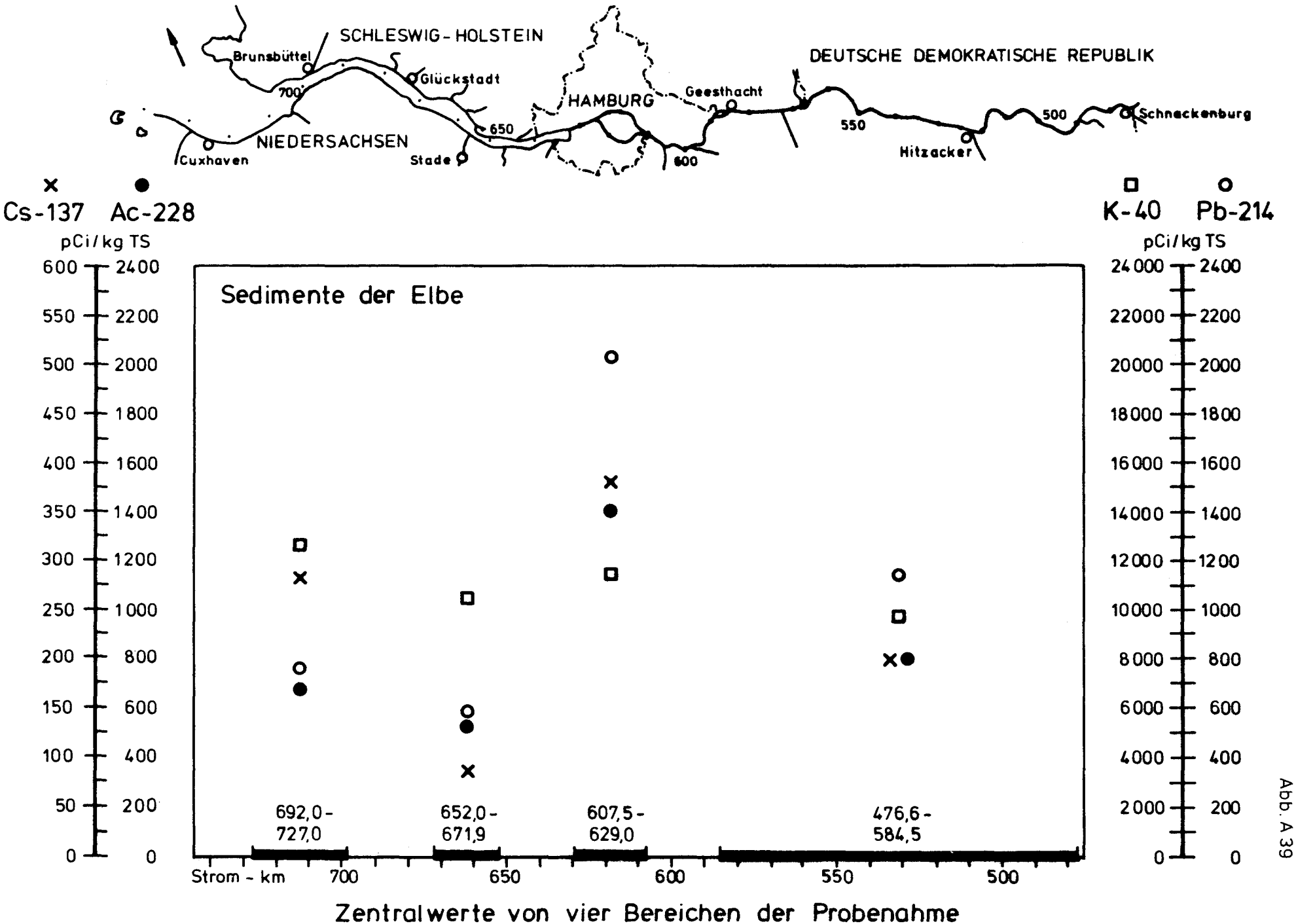

SCHLESWIG-HOLSTEIN
Brunsbüttel
Glückstadt
700
650
HAMBURG
Geesthacht
DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK
550
500
Schnackenburg
Hitzacker
600
NIEDERSACHSEN
Cuxhaven
Stade
Cs-137
Ac-228
K-40
Pb-214
pCi/kg TS
Sedimente der Elbe
692,0 - 727,0
652,0 - 671,9
607,5 - 629,0
476,6 - 584,5
Strom - km
Zentralwerte von vier Bereichen der Probenahme

Abb. A 39

Abb. A 40

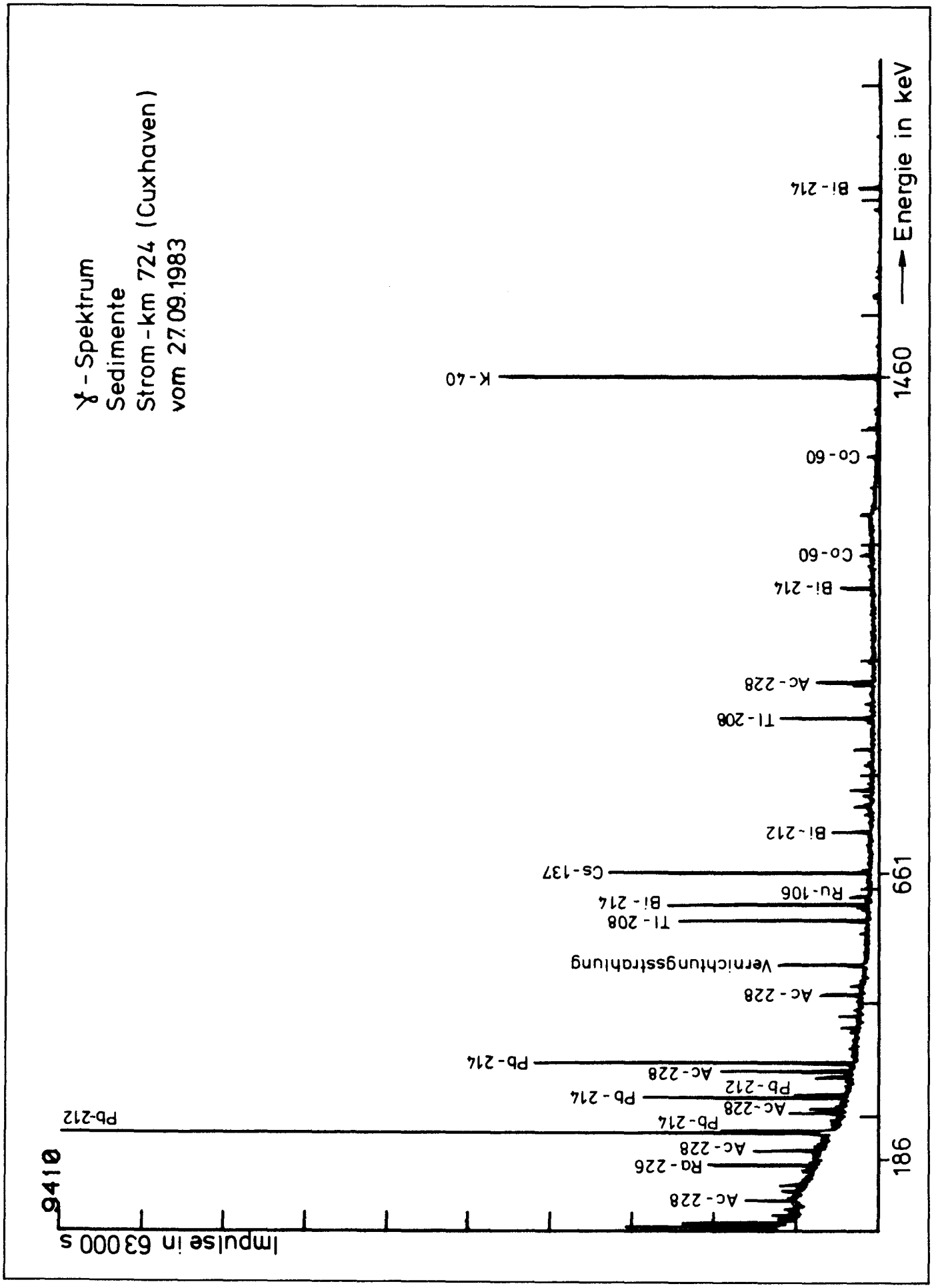

γ - Spektrum
Sedimente
Strom-km 724 (Cuxhaven)
vom 27.09.1983
Impulse in 63000 s
9410
Energie in keV
186
661
1460
Pb-212
Ac-228
Ra-226
Ac-228
Pb-214
Ac-228
Pb-212
Pb-214
Ac-228
Pb-214
Ac-228
Verunreinigungsstrahlung
Tl-208
Bi-214
Ru-106
Cs-137
Bi-212
Tl-208
Ac-228
Bi-214
Co-60
Co-60
K-40
Bi-214

Abb. A 43

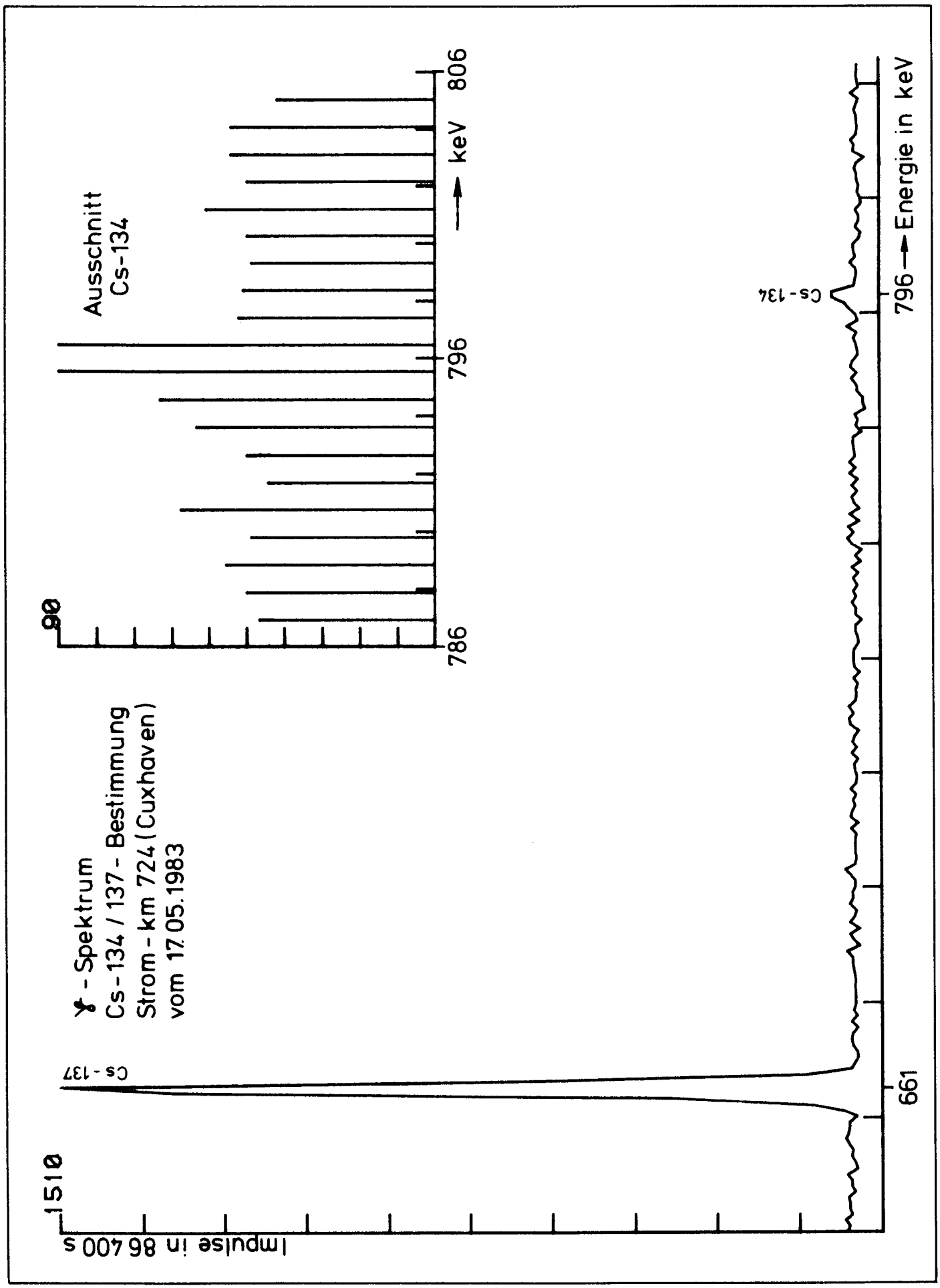

γ - Spektrum
Cs - 134 / 137 - Bestimmung
Strom - km 724 (Cuxhaven)
vom 17.05.1983
Ausschnitt
Cs-134
90
786
796
806
keV
Cs-137
Cs-134
1510
Impulse in 86400 s
661
796
Energie in keV

Abb. A 44

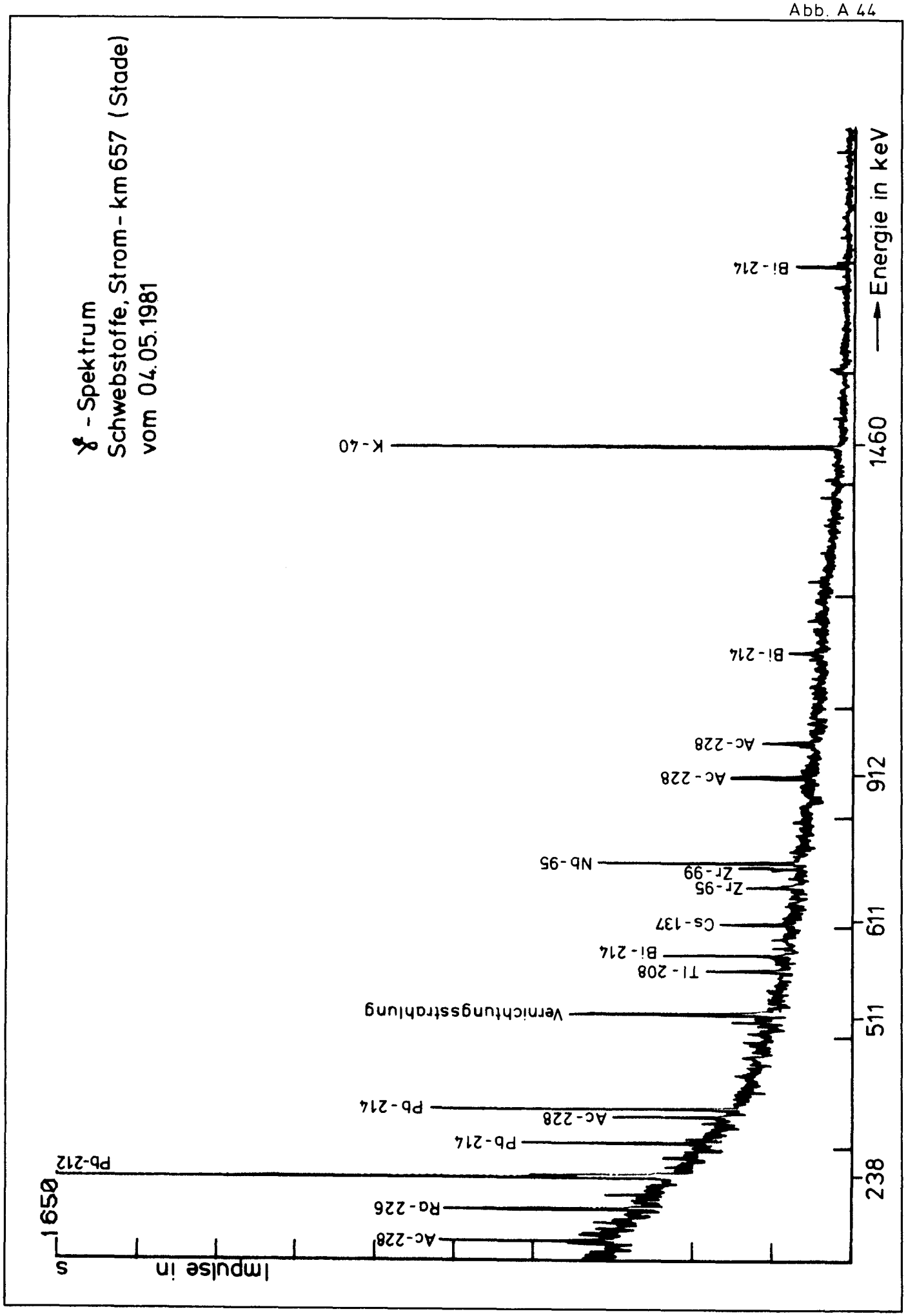
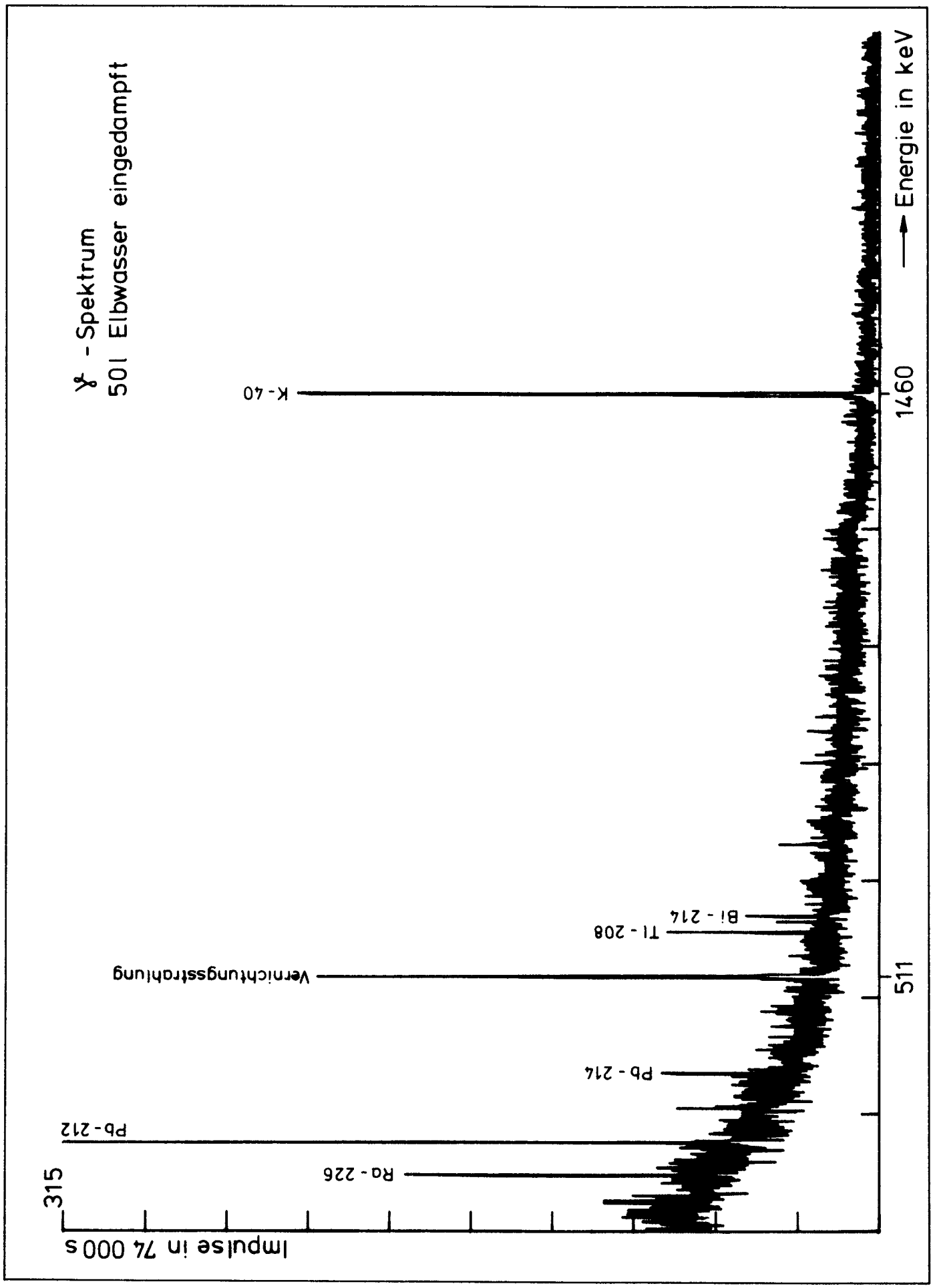

γ - Spektrum
Schwebstoffe, Strom - km 657 (Stade)
vom 04.05.1981
Impulse in s
1650
Energie in keV
238
511
611
912
1460
Ac-228
Ra-226
Pb-212
Pb-214
Ac-228
Pb-214
Verunichtungsstrahlung
Tl-208
Bi-214
Cs-137
Zr-95
Zr-99
Nb-95
Ac-228
Ac-228
Bi-214
K-40
Bi-214

Abb. A45


γ - Spektrum
50l Elbwasser eingedampft
Impulse in 74 000 s
315
Pb - 212
Ra - 226
Pb - 214
Vernichtungsstrahlung
Tl - 208
Bi - 214
K - 40
511
1460
Energie in keV