Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe

Schwermetalldaten der Elbe

von Schnackenburg bis zur See

1979/80

ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR DIE REINHALTUNG DER ELBE
DER LÄNDER HAMBURG -NIEDERSACHSEN - SCHLESWIG-HOLSTEIN
- ARGE ELBE -

SCHWERMETALLDATEN DER ELBE

Bericht

über die Ergebnisse der Schwermetalluntersuchungen
im Elbabschnitt von Schnackenburg bis zur Nordsee
1979 / 1980

ARGE ELBE:

Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Landwirtschaft
Strom- und Hafenbau
Dalmannstr. 1 - 3
2000 Hamburg 11

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

bearbeitet von der

Wassergütestelle Elbe
Focksweg 32 A
2103 Hamburg 95

Dezember 1980

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	Einleitung	2
2.	Untersuchungsprogramm und Analysenmethoden	4
	2.1 Vorbemerkung	4
	2.2 Hydrologische Verhältnisse	6
	2.3 Untersuchungsprogramm Elbwasser	8
	2.3.1 Sondermessung bei Schnackenburg	8
	2.3.2 Längsprofil Tideelbe	9
	2.3.3 Längsprofiluntersuchungen (I und II) von Schnackenburg bis Scharhörn	10
	2.3.4 Analysenmethode	11
	2.4 Untersuchungsprogramm Elbsedimente	11
	2.5 Untersuchungsprogramm Elbbrassen	12
3.	Untersuchungsergebnisse	14
	3.1 Allgemeine Grundlagen	14
	3.2 Schwermetallgehalt des Elbwassers	17
	3.2.1 Sondermeßprogramm Schnackenburg	17
	3.2.2 Monatliche Längsprofile Tideelbe 24	
	3.2.3 Längsprofiluntersuchung von Schnackenburg.bis Scharhörn	29
	3.3 Schwermetallgehalte der Elbsedimente	31
	3.3.1 Beurteilungsgrundlagen	31
	3.3.2 Ergebnisse der Sediment-Längsprofiluntersuchungen	35
	3.4 Schwermetallgehalte der Brassen	43
	3.4.1 Beschreibung der Fischproben	43
	3.4.2 Quecksilberbelastung der Brassen	47
	3.4.3 Cadmiumbelastung der Brassen	55
	3.4.4 Bleibelastung der Brassen	59
4.	Zusammenfassung	63
5.	Schrifttum	66

ANHANG

Im Anhang sind die im Textteil mit Abb. A .. bezeichneten Abbildungen enthalten

		Abbildung
I	Schwermetallgehalte des Elbwassers	
1.	Sondermeßprogramm Schnackenburg	
1.1	Messung 1	A 1 - A 5
1.2	Messung 2	A 6 - A 20
1.3	Messung 4	A 21 - A 41
2.	Monatliche Längsprofile Tideelbe	
2.1	Quecksilbergehalte	A 42 - A 47
2.2	Cadmiumgehalte	A 48 - A 53
2.3	Bleigehalte	A 54 - A 59
2.4	Zinkgehalte	A 60 - A 65
2.5	Kupfergehalte	A 66 - A 71
3.	Längsprofile von Schnackenburg bis Scharhörn	
3.1	Quecksilbergehalte	A 72
3.2	Cadmiumgehalte	A 73
3.3	Bleigehalte	A 74
3.4	Zinkgehalte	A 75
3.5	Kupfergehalte	A 76
3.6	Arsen- und Chromgehalte	A 77
II	Schwermetallgehalte des Elbsediments	
1.	Längsprofile von Schnackenburg bis Scharhörn	
1.1	Quecksilbergehalte	A 78
1.2	Cadmiumgehalte	A 79
1.3	Bleigehalte	A 80
1.4	Zinkgehalte	A 81
1.5	Kupfergehalte	A 82
1.6	Arsen- und Chromgehalte	A 83

Die Untersuchungen wurden von folgenden Dienststellen und Institutionen ausgeführt:

Wasserprobenentnahme und Bestimmung des Gehaltes an ungelösten Stoffen:

BIOBAC - Laboratorium für Gewässeruntersuchungen
Wassergütestelle Elbe
Wasserwirtschaftsamt Stade
Wasserwirtschaftsamt Lüneburg

Sedimentprobenentnahme:

Wassergütestelle Elbe in Zusammenarbeit mit Dipl.-Chem. H. Schumacher

Strom- und Hafenbau	Meßschiff „Nige Wark“
	Meßschiff „R. Woltmann“
Wasserwirtschaftsamt Stade	Meßschiff „Tümmler“

Schwermetalluntersuchung der Wasser- und Sedimentproben:

Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein in Zusammenarbeit mit Dipl.-Chem. H. Schumacher

Fischprobenentnahme:

Wassergütestelle Elbe in Zusammenarbeit mit Elbfischern und einem Anglerverein

Schwermetalluntersuchung der Fischproben:

Staatliches Veterinäruntersuchungsamt für Fische und Fischwaren Cuxhaven

Altersbestimmung der Fische:

Wassergütestelle Elbe

Die Abflußwerte am Pegel Neu Darchau wurden von der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Nord zur Verfügung gestellt.

1. Einleitung

Die Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe (ARGE ELBE) der Länder Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein hat 1979/80 im Rahmen der gemeinsamen Gewässergüteüberwachung eine systematische Untersuchung über die Belastung der Elbe mit Schwermetallen im Abschnitt von Schnackenburg bis zur Nordsee durchgeführt. In diesem Bericht werden die festgestellten Befunde mitgeteilt und die Ergebnisse erläutert.

Die Belastung eines Gewässers mit schwer abbaubaren oder nicht abbaubaren Schadstoffen, wie z. B. Schwermetallen, ist durch die Summe der im gesamten Einzugsgebiet stattfindenden geogenen (z. B. natürliche Auswaschungen) und anthropogenen (Einleitung schwermetallhaltiger Abwässer) Einträge geprägt. Über die natürliche Belastung der Elbe mit Schwermetallen liegen keine verläßlichen Angaben vor, da die Bestimmung dieser Spurenelemente im aquatischen Ökosystem erst aufgrund der Entwicklung spezieller Analyseverfahren mit hoher Nachweisgenauigkeit in den letzten Jahren möglich geworden ist.

Durch das gesamte Flußsystem der Elbe einschließlich der Nebenflüsse wird ein Einzugsgebiet von rd. 146.500 km^2 entwässert. Etwa 35 % des Elbeinzugsgebietes liegen im Gebiet der CSSR, 49,3 % im Gebiet der DDR und 15,7 % im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland.

Da die Schwermetalle im Wasser nicht nur in gelöster Form vorkommen, sondern in erheblichem Maße an im Wasser enthaltene Schwebstoffe mineralischen sowie organischen Ursprunges angelagert sind, findet bei einer Sedimentation der Schwebstoffe eine Anreicherung im Sediment statt. Ebenso tritt bei den verschiedenen im Wasser lebenden Organismen, z. B. beim Zooplankton über die Nahrungskette, eine Akkumulation der Schwermetalle auf. FUr eine Beurteilung der Belastungssituation eines Gewässers sind aus diesem Grunde die Schwermetallgehalte des Sedimentes und des biologischen Indikators Fisch als oberes Glied in der Nahrungskette maßgebend. Im Rahmen des ARGE ELBE-Meßprogramms wurden deshalb zusätzlich zu der Untersuchung von Wasserproben Sedimentproben und Fischproben untersucht.

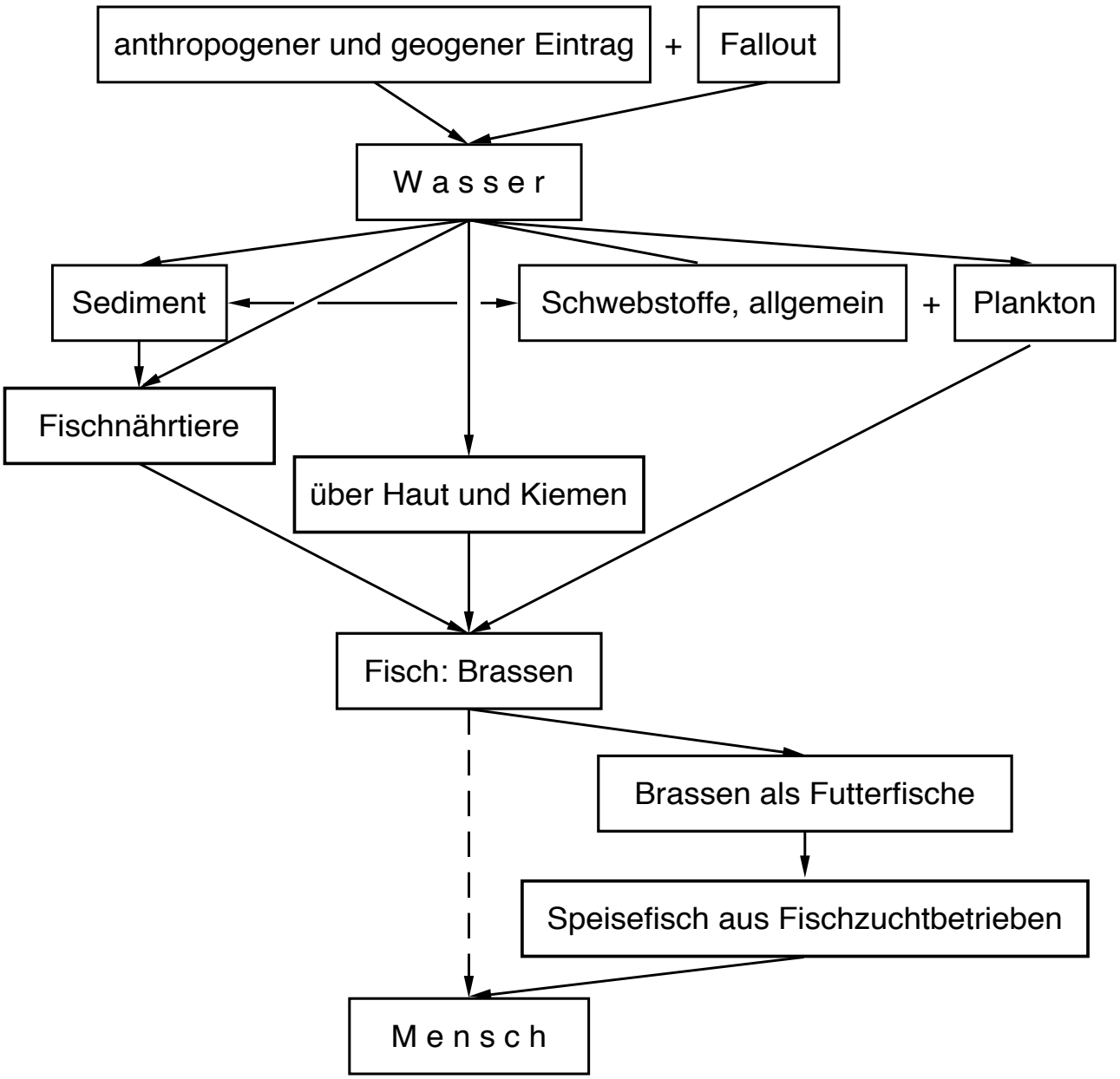


Abb. 1: Beispiel einer Bio-Akkumulation von Schwermetallen

2. Untersuchungsprogramm und Analysemethoden

2.1 Vorbemerkung

Die Untersuchung der Wasser-, Sediment- und Fischproben erfolgte jeweils nach einheitlichen Analysemethoden über den gesamten Längsschnitt der Elbe von Schnackenburg bis zur Nordsee. Da ein erheblicher Anteil der Schwermetalle an die im Wasser vorhandenen Schwebstoffe angelagert ist, wurden die Wasserproben unfiltriert, d. h. einschließlich Schwebstoffanteil, untersucht, um einen Überblick über die Schwermetallfracht zu erhalten. Durch zahlreiche Untersuchungen ist bekannt (FÖRSTNER/MÜLLER [1], LICHTFUß [2]) , daß die Schwermetallanreicherung im Sediment in starkem Maße von der Beschaffenheit des Sedimentes, d. h. von der Korngröße und dem Gehalt an organischer Substanz und anderer chemischer Verbindungen abhängt. Allgemein nimmt das Bindungsvermögen des Sedimentes für Schwermetalle mit abnehmender Korngröße zu. Aus diesem Grunde ist der Gehalt an Schwermetallen in grobkörnigen Sedimenten gegenüber feinkörnigen Sedimenten vergleichsweise gering. Die höchsten Gehalte liegen in der Regel bei gleicher Grundbelastung in feinkörnigen Sedimenten mit hohem organischen Anteil (z. B. Schlick) vor. Deshalb läßt sich der Grad der Schwermetallbelastung an feinkörnigen Sedimenten am deutlichsten feststellen. Im Rahmen der durchgeführten Sedimentuntersuchungen erfolgte die Probenentnahme jeweils in Bereichen, in denen feinkörniges Sediment vorlag (z. B. in Buhnenfeldern). Für die Untersuchung wurde die Korngrößenfraktion kleiner 63 μm ausgewählt, um den Verdünnungseffekt durch die unterschiedlichen grobkörnigen Anteile auszuschalten. Die in der Literatur über Schwermetalluntersuchungen häufig zugrunde gelegte Fraktion < 2 μm (Ton) ist für die Untersuchung der Elbsedimente weniger geeignet, da in größeren Flußabschnitten die Tonfraktion nur in sehr geringen Anteilen im Sediment vorkommt.

Die feinkörnigen Schlickzonen wiederum haben eine besonders hohe biologische Produktivität und sind deshalb für viele Fischarten (z. B. Brassen) das Nahrungsgebiet. Als Bioindikator wurde für die Schwermetalluntersuchungen die Fischart Brassen (Abramis brama, L.) sowie deren Mischform gewählt. Im Gegensatz zu Fischarten, die große Wanderungen durchfuhren (Lachs, Stint, Aal), sind Brassen verhältnismäßig ortstreu. Ihr Aktionsradius beträgt nur rd. 10 km. Aufgrund der Ver-

breitung über das gesamte Untersuchungsgebiet und der bevorzugten Nahrungsaufnahme von Kleintieren aus dem Sediment eignet sich diese Fischart besonders als biologischer Indikator für die Schwermetallbelastung. Anreicherungen von Schwermetallen in Brassen, die überwiegend mit der Nahrungsaufnahme erfolgen, lassen demzufolge einen Zusammenhang zwischen der Schwermetallbelastung des Sediments, der darin oder in unmittelbarer Nähe davon lebenden Organismen und der Brassen erwarten.

Brassen: (Abramis brama, L.)
Die mittlere Länge der Brassen beträgt 30 - 40 cm. Bei optimalen Lebensbedingungen werden Größen bis zu 60 cm Länge und 3 kg Gewicht erreicht. Die Brassen kommen in nährstoffreichen Seen, in langsam fließenden Gewässern mit Schlammgrund (man spricht von der sogenannten Brassenregion) und in Brackwassergebieten vor. Ihre Nahrung bilden hauptsächlich Organismen, die im oder auf dem Sediment leben, wie Schlammröhrenwürmer (Tubificiden), Zuckmückenlarven (Chironomiden), Flohkrebse (Amphipoden), Wasserasseln (Isopoden), Schnecken (Gastropoden) und Muscheln (Bivalva). Bei der Nahrungsaufnahme wird mit dem rüsselartig vorstreckbarem Maul das Sediment durchwühlt (Fraßlöcher bleiben im Schlick sichtbar) und die Nahrung von nicht verwertbarem Material abgetrennt. Jungen Brassen, die oft in Gruppen in der Uferregion, in Hafenbecken und kleinen Buchten leben, dienen überwiegend Planktonorganismen als Nahrungsgrundlage. Bei einer Länge von ca. 30 mm gehen sie dann auch zur Bodennahrung über. Laichreife Tiere bilden im Mai - Juni in flachen pflanzenbestandenen Uferregionen Laichgemeinschaften aus. Die Eier kleben an Wasserpflanzen fest und entwickeln sich je nach Wassertemperatur in drei bis 12 Tagen.

2.2 Hydrologische-Verhältnisse

Der zur Bundesrepublik Deutschland gehörende Elbabschnitt von Schnackenburg bis zur See besteht aus hydrologisch recht 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 $Q_O < 600$ m³/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 m³/s setzt zunächst eine Überströmung der Buhnen und bei Abflüssen über 800 - 1000 m³/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 zur Nordsee sind die instationären Strömungsverhältnisse durch die Überlagerung des Oberwasserabflusses mit der Gezeitenbewegung geprägt. Der Einfluß 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 sägeartig 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 rd. 1 Monat). Bei hohen Oberwasserabflüssen von 2000 m³/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.

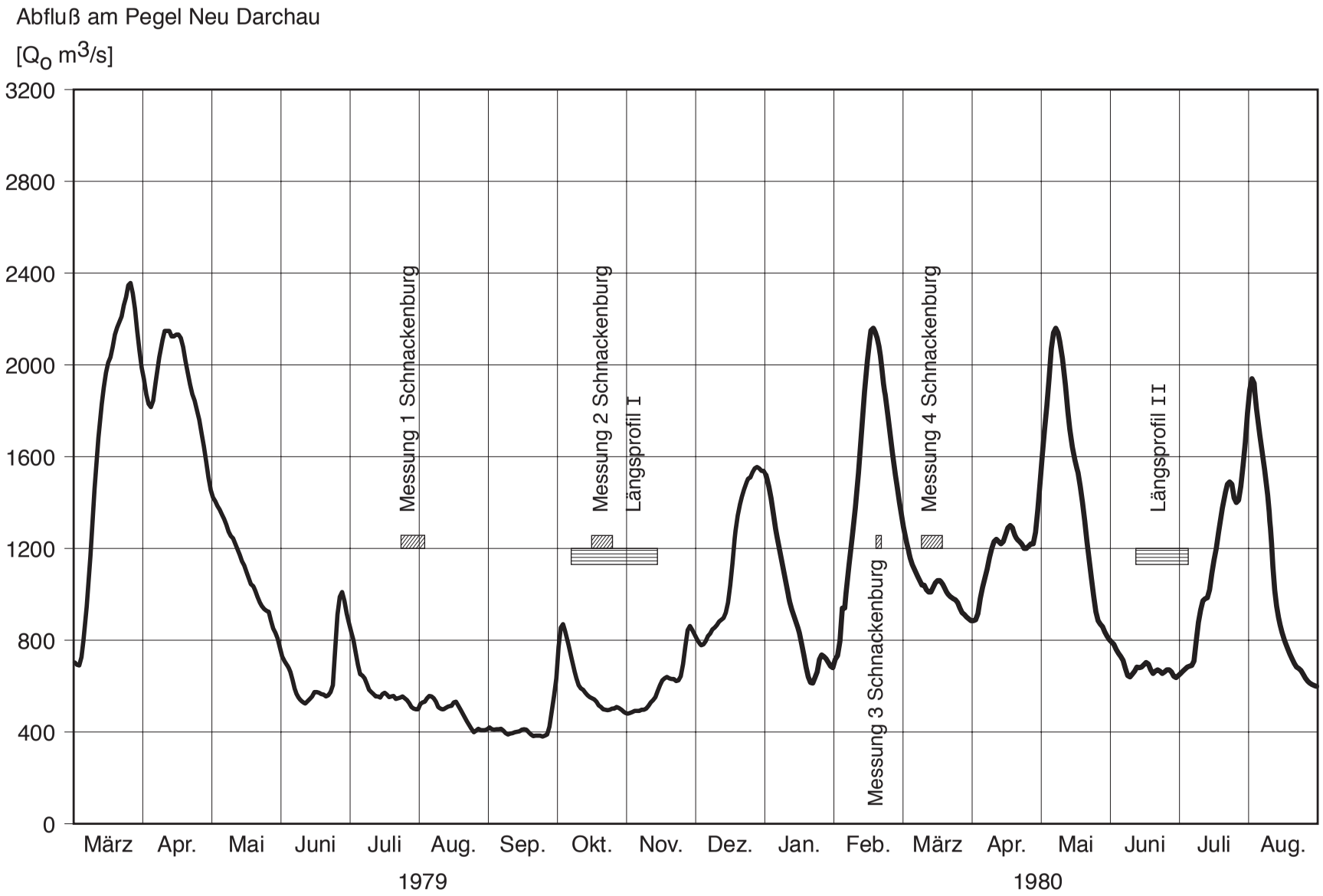


Abb. 2: Abfluß der Elbe im Untersuchungszeitraum

Der Abfluß der Elbe am Pegel Neu Darchau (Strom-km 536,4) ist für den Untersuchungszeitraum 1979/1980 in Abb. 2 angegeben. Die Längsprofiluntersuchung I des Elbwassers und Elbsedimentes wurde am Ende einer Periode mit niedrigen Abflüssen im Oktober / November 1979 durchgeführt. Um einen eventuellen Einfluß hoher Oberwasserabflüsse auf die Verteilung der Schwermetalle im Längsprofil z. B. durch Aufwirbelung und Verlagerung belasteter Sedimente zu erfassen, erfolgte eine weitere Längsprofiluntersuchung (II) unmittelbar nach dem Abklingen der Hochwasserwelle im Juni Juli 1980. Im Winter (Dez. 79/ Jan. 80 und Februar 80) waren zwischenzeitlich zwei weitere Hochwasserwellen abgeflossen.

Ergänzend zu den Längsprofiluntersuchungen wurden durch Sondermessungen bei Schnackenburg die Schwermetallgehalte des Elbwassers im Juli / August 79, Oktober 79 und März 1980 jeweils über eine Periode von rd. einer Woche bestimmt.

Im Bereich der Tideelbe (Geesthacht bis Scharhörn) erfolgte monatlich eine Entnahme der Wasserproben vom Hubschrauber aus. Die Ergebnisse sind im Abschnitt 3.2 erläutert. Die zugehörigen Oberwasserabflüsse sind in den jeweiligen Abbildungen (A 42 - A 71) angegeben.

2.3 Untersuchungprogramm-Elbwasser

2.3.1 Sondermessung bei Schnackenburg

Im Rahmen eines Sondermeßprogrammes zur Erfassung der Vorbelastung der Elbe bei Schnackenburg wurden zu unterschiedlichen Jahreszeiten und bei unterschiedlichen hydrologischen Verhältnissen (Abb. 2) Intensivmessungen durchgeführt. Dabei wurden an ausgewählten Tagen stündlich (Tag und Nacht) Wasserproben entnommen und untersucht, um einen eventuell vorhandenen Tagesgang der Belastung zu erfassen. Ergänzend hierzu wurden bei den Meßeinsätzen über einen Zeitraum von acht bzw. neun aufeinanderfolgenden Tagen jeweils aus stündlichen Teilproben 24-Std.-Mischproben hergestellt und untersucht, um einen eventuell vorhandenen Wochenzyklus der Belastung erkennen zu können. Die Entnahme der Teilproben erfolgte auch an den Wochenenden stündlich (Tag und Nacht).

Messung 1: 25. 7.1979 00.00 Uhr bis 2. 8.1979 23.00 Uhr jeweils 24-Std.-Mischproben aus stündlichen Teilproben, stündliche Einzelproben am 30.7.

Messung 2: 17.10.1979 00.00 Uhr bis 25.10.1979 23.00 Uhr jeweils 24-Std.-Mischproben aus stündlichen Teilproben, stündliche Einzelproben am 17., 19., 21. und 23.10.

Messung 3: 18. 2.1980 12.00 Uhr bis 19. 2.1980 12.00 Uhr 24-Std.-Mischprobe aus 1/4 stündlichen Teilproben

Messung 4: 11. 3.1980 00.00 Uhr bis 18. 3.1980 23.00 Uhr jeweils 24-Std-Mischproben aus 1/4 stündlichen Teilproben, stündliche Mischproben am 11., 13., 15. und 17.3.1980 aus 1/4 stündlichen Teilproben

Für die Probenentnahme wurde vom Wasserwirtschaftsamt Lüneburg die Meßstation Schnackenburg zur Verfügung gestellt. Die Wasserproben wurden sofort vor Ort in besonders präparierte Probengefäße abgefüllt und mit 5 ml konzentrierter Salpetersäure je Liter angesäuert. Die Schwermetallbestimmung an den unfiltrierten Wasserproben erfolgte im Labor des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein in Kiel.

2.3.2 Längsprofiluntersuchung Tideelbe

Im Bereich der Tideelbe wurden im Rahmen der monatlichen Längsprofiluntersuchungen Wasserproben vom Hubschrauber aus einer Wassertiefe von rd. 0,5 bis 1 m unter der Oberfläche mit einem Hartgummigefäß entnommen und sofort in besonders präparierte Polyäthylenflaschen, die zur Ansäuerung 5 ml konzentrierte Salpetersäure je Liter Probenwasser enthielten, abgefüllt. Die Probenentnahme erfolgte im gesamten Flußabschnitt von Scharhörn bis Geesthacht jeweils zur gleichen Tidezeit bei vollem Ebbestrom.

Infolge der unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten und Strömungsrichtungen treten in der Tideelbe auch recht unterschiedliche Schwebstoffkonzentrationen auf. In der Regel sind die Schwebstoffkonzentrationen in einem Wasserkörper zur

Zeit der Strömungskenterungen aufgrund der dann herrschenden geringen Strömungsturbulenz niedriger als bei voll ausgeprägter Tideströmung, weil sich im nahezu ruhenden Wasser ein Teil der Schwebstoffe absetzt bzw. in tiefere Schichten absinkt. Durch die nach der Kenterung mit der einsetzenden Tideströmung zunehmende Turbulenz werden die Schwebstoffe wieder aufgewirbelt und über die Wassertiefe vermischt. Da ein erheblicher Anteil der Schwermetalle an Schwebstoffe angelagert vorliegt, ist die Höhe der Schwermetallbelastung des unfiltrierten Elbwassers auch vom Zeitpunkt der Probenentnahme bezogen auf den Tideablauf abhängig. Um eventuelle Belastungsschwerpunkte innerhalb des Längsprofiles erkennen zu können, ist es erforderlich, die Probenentnahme im gesamten Längsprofil zur gleichen Tidezeit durchzuführen. Für die Beprobung des rd. 160 km langen Elbabschnittes von Scharhörn bis Geesthacht einschließlich der Nebenelben und der Unterläufe der Nebenflüsse (insgesamt 52 Probenentnahmestellen) stehen daher unter Berücksichtigung der Fortschrittsgeschwindigkeit der Tide nur rd. 5 Stunden zur Verfügung. Um diese Zeitspanne einzuhalten, wird für die Wasserprobenentnahme im Längsprofil der Tideelbe regelmäßig ein Hubschrauber eingesetzt. Die Entnahme der Schwermetall-Wasserproben erfolgte jeweils zusammen mit der Probenentnahme im Rahmen der routinemäßigen Gewässergüteuntersuchung. Die gesamte Beprobung der Tideelbe einschließlich der Nebenflüsse dauerte stets nur rd. 3,5 Stunden.

Die Längsprofiluntersuchungen wurden an folgenden Tagen durchgeführt:

1979:	18.4.	18.5.	20.6.	19.7.	16.8.	13.9.	11.10.	15.11.	12.12.
1980:	24.1.	20.2.	20.3.	23.4.	22.5.	18.6.	17. 7.	14. 8.	18. 9.

Die Probenentnahmestellen sind jeweils zusammen mit den Ergebnissen in den Abb. A 42 bis A 71 angegeben.

2.3.3 Längsprofiluntersuchung von Schnackenburg bis Scharhörn

In dem rd. 275 km langen Elbabschnitt von Schnackenburg bis Scharhörn wurden parallel zur Sedimentprobenentnahme jeweils Wasserproben von einem Schiff aus mit einem Hartgummigefäß entnommen und in präparierte Polyäthylenflaschen (mit konzentrierter Salpetersäure angesäuert) abgefüllt.

Die Probenentnahme erstreckte sich wegen der Länge des Untersuchungsabschnittes jeweils über mehrere Tage. Im Bereich der Tideelbe erfolgte die Probenentnahme zu unterschiedlichen Tidezeiten. Eine Längsprofiluntersuchung wurde am Ende einer Periode niedriger Abflüsse im Oktober / November 1979 (Längsprofil I) und eine weitere im Juni / Juli 1980 (Längsprofil II), nachdem drei ausgeprägte Hochwasser abgeflossen waren, durchgeführt (s. Abschnitt 2.2). Die Probeentnahmestellen sind zusammen mit den Ergebnissen in den Abb. A 72 bis A 77 eingetragen.

2.3.4 Analysenmethode

Im Labor des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein wurde die Untersuchung der Wasserproben auf die Metalle Hg, Cd, Pb, Cu und Zn durchgeführt. Bei der Längsprofiluntersuchung II wurden die Elemente Arsen (As) und Chrom (Cr) zusätzlich untersucht. Die Analyse auf die Schwermetalle Cu, Cd, Pb, Zn, As und Cr erfolgte in einer Graphitrohrküvette 500 der Fa. Perkin Elmer in Verbindung mit einem Atomabsorptions-Spektralphotometer (AAS) 5000 (Perkin Elmer). Der Analyse auf Quecksilber ging eine zehnminütige Bestrahlung mit einer UV-Lampe voraus, bei der das organisch gebundene Quecksilber aufgeschlossen wurde. Bei der Untersuchung wird ein Kaltdampf-Verfahren, bei dem das zuvor zum elementaren Quecksilber reduzierte Metall in den Strahlengang des Photometers per Luftdruck geblasen wird, angewendet.

2.4 Untersuchungsprogramm Elbsedimente

Die Untersuchung der Elbsedimente erfolgte im Oktober / November 79 (Längsprofil I) am Ende einer Periode niedriger Abflüsse und im Juni Juli 80 (Längsprofil II) nach dem Abfluß von drei ausgeprägten Hochwasserwellen (s. Abb. 2). Es wurden bevorzugt Bereiche, in denen Auflandungen stattfinden, beprobt. Als Grundlage für die Auswahl der Probenentnahmestellen dienten Peil- und Stromkarten. Die Probenentnahmestellen sind zusammen mit den Ergebnissen in den Abb. A 78 - A 83 angegeben. Aufgrund der Ergebnisse der ersten Längsprofiluntersuchung wurden die Probenentnahmestellen im Bereich Geesthacht - Hamburg verdichtet.

Die Entnahme der Sedimentproben erfolgte von einem Meßschiff oder Beiboot aus mit einem van VEEN-Greifer. Die Proben wurden sofort in präparierte Polyäthylenflaschen abgefüllt. Im Labor wurden 300 mg (bezogen auf die Trocketisubstanz) von der durch ein Nylonsieb mit 63 Mikrometer (μm) Maschenweite gespülten Sedimentprobe (Fraktion < 63 μm) genau ausgewogen, mit 1 ml konzentrierter Salpetersäure und 0,5 ml Flußsäure versetzt und in einem Teflonautoklaven bei 180 °C 3,5 Stunden aufgeschlossen. Die auf diese Weise nahezu vollständig in Lösung gegangenen Schwermetalle können direkt oder nach evtl. Verdünnung bestimmt werden. Die Analyse auf die Schwermetalle Cu, Cd, Pb, Zn, As, Hg, Cr erfolgte wie im Abschnitt 2.3.4 beschrieben.

Die Korngrößenbestimmung erfolgte jeweils an einer aus der Gesamtprobe abgezweigten Teilprobe. Die durch verschiedene chemische Vorbehandlungen vollständig dispergierten Sedimentproben wurden getrocknet und auf die Korngrößenklassen 63 bis 2000 Mikrometer (Kies- und Sandfraktion) mit standardisierten Siebsätzen nach DIN untersucht. Die Bestimmung der Silt und Tonfraktionen (63 bis kleiner 2 Mikrometer) erfolgte durch eine Schlämmanalyse (Andreasen-Zylinder). Hierbei werden die unterschiedlichen Korngrößen aufgrund ihrer Sinkgeschwindigkeit in einem flüssigen Medium (hier Wasser) differenziert. Die Korngrößenverteilung der Sedimentproben wurde bestimmt, um bei späteren Untersuchungen an vergleichbaren Sedimentproben eventuelle Belastungsänderungen feststellen zu können.

2.5 Untersuchungprogramm Elbbrassen

In den Jahren 1979/1980 wurden in verschiedenen Elbabschnitten zwischen Schnackenburg und Glückstadt Brassen für Untersuchungszwecke gefangen. Die Probengewinnung erfolgte in Zusammenarbeit mit Elbfischern und einem Anglerverein. Dementsprechend waren auch die Fangmethoden unterschiedlich (Hamen, Treibnetz, Zugnetz, kleines Grundschleppnetz und Angel). Sowohl Datum, Länge, Gewicht und Geschlecht als auch Fangplatz und Fanggerät wurden im Fangprotokoll aufgezeichnet. Die Fische wurden entweder noch am Entnahmeort oder unmittelbar anschließend in der Wassergütestelle in gasdichte Plastikbeutel verpackt und bis zur Aufarbeitung tiefgefroren gelagert. Die Schwermetalluntersuchungen wurden im

Staatlichen Veterinäruntersuchungsamt für Fische und Fischwaren in Cuxhaven durchgeführt. Es wurden die Metalle Pb, Cd und Hg quantitativ in verschiedenen Organen (Haut, Kiemen, Muskulatur, Leber, Magen-Darmtrakt, Niere, Milz und Gonaden) getrennt bestimmt. Die Bestimmung des Quecksilbers im Fisch erfolgte nach einer Methode von R. Kruse (1979) [3)] , bei der das Probenmaterial einer Naßveraschung mit HNO_3/ $HClO_4$ in Gegenwart von Chlorsäure unterworfen wird. Die Bestimmung selbst wurde, wie auch bei den anderen untersuchten Metallen, nach bekannten Verfahren der Kaltdampf-Atomabsorptions-Spektroskopie (ASS) durchgeführt.

Die Altersbestimmung der untersuchten Brassen erfolgte durch die Wassergütestelle Elbe nach einer von G. Rauck (1975) [4)] entwickelten Methode. Dabei werden die Otolithen (Steinchen aus den Gleichgewichts- und Gehörorganen von rd. 1 bis 5 mm Länge) in Polyester eingegossen und nach dem Aushärten in dünne Scheiben von rd. 0,1 mm Dicke aufgesägt. Die Otolithen zeigen mit dem Wachstum des Fisches gleichlaufende Anlagerungen, die als „Jahresringe“ zur Altersbestimmung unter einem Mikroskop ausgewertet werden.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Allgemeine Grundlagen

Die Schwermetallbelastung der Gewässer ist erst im letzten Jahrzehnt systematisch untersucht worden, nachdem durch die Entwicklung spezieller Analysenverfahren die Bestimmung der sehr geringen Konzentrationen (Spuren) möglich geworden ist. Aus diesem Grunde liegen z. B. für die Elbe keine sicheren Erkenntnisse über die natürliche Belastung, die durch die Auswaschung der im natürlichen Gestein vorhandenen Schwermetalle besteht, vor. Da die natürliche Belastung jeweils von der geochemischen Zusammensetzung des Gesteins im gesamten Einzugsgebiet abhängt, sind die an bisher durch menschliche Einwirkungen unbelasteten Gewässern festgestellten Basiswerte nur bedingt auf andere Gewässer übertragbar. WACHS [5)] gibt für weitgehend unkontaminierte Oberflächengewässer, d.h. solche ohne bedeutenden Einfluß durch Luftverschmutzungen, lokale geologische Besonderheiten (z. B. Erzvorkommen) und Abwassereinflüsse, folgende Größenordnung der Werte an:

Schwermetall		Bereich des "Nullpegels" in Oberflächengewässern
Cadmium	Cd	0,1 - 0,5 µg/l
Kupfer	Cu	1,0 - 7 0 µg/l
Quecksilber	Hg	≤ 0,1 µg/l
Blei	Pb	0,5 - 3 µg/l

Ob die Größenordnung dieser Werte für die natürliche Belastung der Elbe (d.h. für den Zustand ohne anthropogene Einflüsse) repäsentativ ist, kann aufgrund der bisher vorliegenden Erkenntnisse nicht sicher beurteilt werden. Es ist vorgesehen, durch die Untersuchung von älteren Sedimentschichten, die in einer Zeit vor der Verwendung von Schwermetallen durch den Menschen entstanden sind, Aufschlüsse über die ursprungliche Belastung der Elbe zu erhalten.

Für eine Beurteilung der Schwermetallbelastung des Elbwassers im Hinblick auf mögliche Nutzungen können z. B. die Richtwerte für Trinkwasser zugrunde gelegt werden. In der folgenden Tabelle sind die in verschiedenen Ländern geltenden zum Teil recht unterschiedlichen Werte zusammengestellt:

Parameter	USPHS (1962)	Japan (1968)	UdSSR (1970)	WHO Europa (1970)	WHO Intern. (1971)	SABS (1971)	NAS (1972)	Austra-lien (1973)	US EPA (1975)	Bundes-republik (1975)
Arsen	10	50	50	50	50	50	100	50	50	40
Barium	1000	-	4000	1000	-	-	1000	1000	1000	-
Cadmium	10	-	10	10	10	50	10	10	10	6
Chrom	50	50	100	50	-	50	50	50	50	50
Kupfer	1000	10000	100	50	50	1000	1000	10000	-	-
Blei	50	100	100	100	100	50	50	50	50	40
Quecksilber	-	1	5	-	1	-	2	-	2	4
Selen	10	-	1	10	10	-	10	10	10	8
Silber	50	-	-	-	-	-	-	50	50	-
Zink	5000	100	1000	5000	5000	5000	5000	5000	-	2000

Vorschläge der World Health Organization (WHO), US Public Health Service (USPHS), South African Bureau of Standards (SABS), Sowjetunion (UdSSR), USA National Academy of Sciences (NAS), Australien, Japan, Environmental Protection Agency (EPA) der USA, Bundesrepublik Deutschland.

Alle Konzentrationen in *µg/l* Quelle: FÖRSTNER/WITTMANN [6]

Tab. 1: Richtwerte für Trinkwasser

Die Europäische Gemeinschaft (EG-Entwurf 1974) gibt als Grenzwerte für Oberflächengewässer, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden, für

Cadmium	5 µg/l
Kupfer	50 µg/l
Quecksilber	1 µg/l
Blei	50 µg/l

an. Die für das Trinkwasser angegebenen Richtwerte berücksichtigen die Schwermetallzufuhr über den „Trinkwasserpfad“ zum Menschen. Für eine Bewertung der Schwermetallbelastung eines Gewässers aus ökologischer Sicht sind diese Richtwerte nicht verwendbar. Im aquatischen Ökosystem finden erhebliche Anreicherungsvorgänge, z. B. in Algen statt, so daß auch bei im Vergleich zu den Trinkwasser-Richtwerten erheblich niedrigeren Schwermatallgehalten des Wassers

hohe und evtl. schädigend wirkende Konzentrationen in den Organismen auftreten können. WACHS [5)] hat bei Untersuchungen am Lech folgende mittlere Biokonzentrationsfaktoren (Schwermetallgehalt der Organismen (Trockengewicht) bezogen auf den Schwermetallgehalt des Wassers) festgestellt:

Für Phytobenthos (pflanzliche Bodenorganismen)

Schwermetall	Biokonzentrationsfaktor
Cadmium	500 - 10.000
Kupfer	10.000 - 150.000
Quecksilber	2.000 - 20.000
Blei	1.000 - 10.000

Für Zoobenthos (tierische Bodenorganismen)

Schwermetall	Biokonzentrationsfaktor
Cadmium	100 - 3.000
Kupfer	1.000 - 50.000
Quecksilber	500 - 10.000
Blei	500 - 5.000

Diese Werte sind nicht ohne weiteres auf die Verhältnisse in der Elbe übertragbar, da sowohl das Artenspektrum als auch die Umweltbedingungen im Vergleich zum Lech unterschiedlich sind. Diese Zahlen vermitteln jedoch eine Vorstellung von der Größenordnung der Biokonzentrationsfaktoren.

Für eine Beurteilung der Schwermetallbelastung aus ökologischer Sicht liegen bisher noch keine allgemein anerkannten, naturwissenschaftlich erwiesenen Angaben über Schädlichkeitsgrenzen vor. Die Auswirkungen der geringen Schwermetallkonzentrationen, wie sie in Gewässern auftreten, zeigen sich häufig nur durch chronische und unterschwellige Effekte, die meistens durch Symptome infolge anderer Einflüsse überlagert sind. Da die Wirkungen in starkem Maße von der Art, in der das Schwermetall im Gewässer vorhanden ist, abhängt (z. B. ist Methylquecksilber wesentlich toxischer als anorganische Quecksilberverbindungen) und in Kombination mit ande-

ren Schadstoffen eine Multiplikation des Effektes auftreten kann, können allgemein gültige Dosis-Wirkungsbeziehungen für das vielfältige aquatische Ökosystem bisher nicht angegeben werden. Auch bei Tests mit erhöhten Konzentrationen ist es oft schwierig, eindeutige Schädigungen an Organismen zu bestimmen. Selbst wenn bei solchen Tests mit z. B. zehnfacher Konzentration Auswirkungen festgestellt werden, ist eine Extrapolation der Ergebnisse auf die Verhältnisse bei niedrigeren Konzentrationen stets mit großer Unsicherheit verbunden.

3.2 Schwermetallgehalte des Elbwassers

3.2.1 Sondermeßprogramm Schnackenburg

Entsprechend dem unter Punkt 2.3.1 beschriebenen Untersuchungsprogramm wurde bei Schnackenburg der Schwermetallgehalt des Elbwassers bestimmt. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen A 1 bis A 41 (im Anhang) dargestellt. Die während der Meßzeiträume herrschenden hydrologischen Verhältnisse sind in Abb. 2 (S. 7) angegeben.

Am 30.7.1979 wurden die Schwermetallgehalte des unfiltrierten Elbwassers im stündlichen Abstand untersucht. Der Quecksilbergehalt schwankte zwischen rd. 0,2 bis 4 µg Hg/l. Ein ausgesprochener Tagesgang war nicht feststellbar. Der Cadmiumgehalt des Elbwassers wies nicht so große Schwankungen auf; die Werte lagen zwischen 0,2 und 1,4 µg Cd/l. Die Bleikonzentration des Elbwassers wies eine Schwankungsbreite von 0,5 bis rd. 3,8 µg Pb/l auf. Der Zinkgehalt des Elbwassers lag überwiegend in der Größenordnung zwischen 60 und 100 µg Zn/l. Ein maximaler Einzelwert in Höhe von 157 µg Zn/l wurde in der um 19.00 Uhr entnommenen Wasserprobe gemessen. Die Kupferwerte schwankten zwischen 2 und 12 µg Cu/l. Die Untersuchungen der stündlichen Einzelproben haben keinen signifikanten Tagesgang der Schwermetallbelastung gezeigt. Bemerkenswert ist, daß die höchsten Konzentrationen für die untersuchten Elemente nicht gleichzeitig aufgetreten sind. Die graphischen Darstellungen zeigen ferner keinen signifikanten Zusammenhang der jeweiligen Schwermetallkonzentrationen mit dem Gehalt an ungelösten Stoffen sowie dem Glühverlust.

Während des gesamten Untersuchungszeitraumes vom 25.7. 00.00 Uhr bis zum 2.8. 24.00 Uhr 1979 wurden jeweils aus stündlichen Teilproben 24 Std.Mischproben hergestellt und untersucht. Die Ergebnisse sind ebenfalls in den Abb. A 1 bis A 5 dargestellt. Die Tagesmittelwerte der Quecksilberkonzentrationen schwankten dabei zwischen rd. 0,2 und 2,2 µg Hg/l. Für Cadmium ergab sich eine Schwankungsbreite von 0,7 bis 1,8 µg Cd/l. Die Zinkkonzentration schwankte im Mittel um etwa 90 µg Zn/l. Am 31.7. trat jedoch eine deutlich erhöhte Konzentration mit 147 µg Zn/l auf. Die Kupferqehalte pendelten zwischen 4 und 12 µg Cu/l. Die Untersuchungen der über den gesamten Meßzeitraum von 9 Tagen unter Einschluß eines Wochenendes entnommenen Proben zeigen keinen Wochenzyklus. Für die untersuchten Metalle sind die maximalen mittleren Tageskonzentrationen an verschiedenen Tagen aufgetreten.

Um einen Überblick über die von oberstrom in den zur Bundesrepublik Deutschland gehörenden Elbabschnitt einströmenden Schwermetallmengen zu erhalten, wurden die Schwermetallfrachten an Hand der gemessenen Konzentrationen durch Multiplikation mit den für Schnackenburg maßgebenden Abflüssen berechnet. Es wurde dabei der Abfluß am Pegel Neu Darchau mit dem Faktor 0,942, der sich aus dem Verhältnis der Einzugsgebiete ergibt, zugrunde gelegt. Eine derartige Frachtenermittlung ist sicherlich mit Fehlern verbunden, da die Probenentnahme nur aus dem linken Querschnittsteil der Elbe erfolgen konnte. Für eine exakte Frachtenermittlung hätten jeweils gleichzeitig im gesamten Querprofil Proben entnommen werden müssen. Dies war u.a. wegen der Grenznähe und auch vom Aufwand her praktisch nicht durchführbar. Stichprobenartig wurden zeitgleich mit der Probenentnahme im linken Querschnittsteil von einem Zollboot aus Proben aus der Strommitte entnommen. Eine Gegenüberstellung beider Ergebnisse zeigte jeweils geringfügige Abweichungen. Die in der folgenden Tabelle angegebenen Frachten sind deshalb nicht als exakte Mengenangaben, sondern als Abschätzungen für die Größenordnungen der tatsächlichen Schwermetallfrachten anzusehen. Die ermittelten Tagesfrachten wiesen insbesondere beim Quecksilbergehalt erhebliche Schwankungen auf. Für die Metalle Cadmium und Blei sowie Kupfer und Zink ergab sich eine deutlich geringere Schwankungsbreite. Auffallend ist, daß die höchste Quecksilberfracht zusammen mit der höchsten Zinkfracht auftrat.

	25.7.79	26.7.79	27.7.79	28.7.79	29.7.79	30.7.79	31.7.79	1.8.79	2.8.79	Mittelwert
Quecksilber	4	4	13	4	33	45	89	34	60	32
Cadmium	67	83	31	33	33	33	34	25	28	41
Kupfer	356	465	360	207	188	276	227	170	254	278
Blei	67	140	116	95	65	65	65	64	56	81
Zink	3873	4036	3596	3314	3677	3574	5970	3696	3746	3943
Abfluß (Q_o m^3/s)	547	539	526	509	502	499	499	522	529	519

Tabelle 2: Schwermetallfrachten (kg/Tag) der Elbe bei Schnackenburg (Messung 1)

Die Untersuchungsergebnisse des Meßzeitraums vom 17.10. 00.00 Uhr bis zum 25.10.1979 24.00 Uhr sind in den Abbildungen A 6 bis A 20 dargestellt. Es wurden am 17., 19., 21. und 23.10. jeweils über 24 Stunden stündliche Einzelproben des Elbwassers untersucht. Die Quecksilbergehalte lagen stets in der Größenordnung zwischen 0,2 und rd. 1 µg Hg/l. Die Cadmiumkonzentrationen lagen überwiegend in der Größenordnung zwischen 0,5 und 1,5 µg Cd/l. Als maximaler Wert wurden 3,1 µg Cd/l gemessen. Erhebliche Schwankungsbreiten wiesen die Bleigehalte mit Werten zwischen 2,5 und 8 µg Pb/l auf. Die Zinkgehalte lagen, wie bereits bei der Julimessung festgestellt, in der Größenordnung zwischen 70 und 100 µg Zn/l (maximaler Wert 213 µg Zn/l). Die Kupferwerte schwankten überwiegend im Bereich zwischen 10 und 15 µg Cu/l. Ergänzend zu den stündlichen Einzelprobenentnahmen wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum vom 17. bis zum 25.10.79 24 Std.-Mischproben aus stündlichen Teilproben hergestellt und untersucht. Die Ergebnisse sind jeweils zusammen mit dem Gehalt an ungelösten Stoffen in den Abbildungen A 8, A 11, A 14, A 17 und A 20 angegeben. Die Tagesmittelwerte wiesen

zum Teil erhebliche Schwankungen auf. So wurde z. B. beim Quecksilbergehalt am 25.10. ein Wert von ~ 12 µg Hg/l gemessen. Beim Cadmium hingegen lagen die mittleren Konzentrationen in der Größenordnung zwischen 0,5 und 1 µg Cd/l auf nahezu konstantem Niveau. Bei den Bleiwerten wurde eine Schwankungsbreite von 3,3 bis 6,4 µg Pb/l der Tagesmittelwerte festgestellt. Der Bereich der Zinkwerte lag im Mittel zwischen 77 und 104 µg Zn/l; am 22.10. trat ein Extremwert mit 141 µg Zn/l auf. Die mittleren Kupfergehalte wiesen nur geringe Schwankungen (8 bis 13 µg Cu/l) auf.

An Hand der aus den 24 Std.-Mischproben ermittelten Konzentrationen wurden nach dem vorstehend beschriebenen Verfahren die Schwermetallfrachten überschläglich ermittelt und in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

	17.10.79	18.10.79	19.10.79	20.10.79	21.10.79	22.10.79	23.10.79	24.10.79	25.10.79	Mittelwert
Quecksilber	18	22	38	29	20	307	28	24	519	112
Cadmium	27	26	34	27	26	37	28	30	25	29
Kupfer	450	515	508	423	479	522	407	356	454	457
Blei	176	204	269	162	203	198	169	154	139	186
Zink	3397	3724	3612	4308	3330	5703	3505	3924	3718	3913
Abfluß (Q_O m^3/s)	542	532	516	509	499	497	495	497	502	510

Tabelle 3: Schwermetallfrachten (kg/Tag) der Elbe bei Schnackenburg (Messung 2)

Die Frachten zeigen wiederum beim Quecksilbergehalt erhebliche Schwankungen auf. Demgegenüber sind die Schwankungen bei den übrigen Elementen vergleichsweise gering.

Die bei der Sondermessung im März 1980 ermittelten Schwermetallgehalte sind in den Abbildungen A 21 bis A 41 aufgetragen. Bei dieser Messung wurden zusätzlich die Metalle Arsen und Chrom bestimmt. Es wurden jeweils am 11., 13., 15. und 17.3. stündliche Einzelproben entnommen und untersucht. Die Quecksilbergehalte lagen überwiegend in der Größenordnung von 0,5 µg Hg/l (maximaler Wert 1,9 µg Hg/l). Die Cadmiumkonzentrationen schwankten im Bereich zwischen 0,5 und 1,5 µg Cd/l. Als Spitzenwert wurden 3,3 µg Cd/l festgestellt. Die Bleiwerte zeigten erhebliche Schwankungen (0,5 bis 3,4 µg Pb/l) an. Die Zinkwerte wiesen, wie bereits die Messungen im Juli und Oktober 1979 gezeigt haben, auch im März starke Schwankungen zwischen 32 und 144 µg Zn/l auf. Demgegenüber lagen die Kupferkonzentrationen nahezu konstant in der Größenordnung zwischen 2 und 5 µg Cu/l (maximaler Einzelwert 14 µg Cu/l). Die Arsengehalte lagen nahezu konstant bei 2 bis 3 µg As/l. Auch die Chromgehalte wiesen nur geringfügige Schwankungen auf; der mittlere Gehalt betrug rd. 5 µg Cr/l. Die Untersuchungen haben für alle sieben Schwermetalle keinen signifikanten Tagesgang aufgezeigt. Die Maximalwerte der verschiedenen Elemente sind nicht gleichzeitig, sondern stets zu verschiedenen Zeiten aufgetreten. Während des gesamten Meßzeitraumes im März wurden täglich 24 Std.-Mischproben aus viertelstündlichen Teilproben hergestellt und untersucht. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen A 23, A 26, A 29, A 32, A 35, A 38 und A 41 aufgetragen. Die Quecksilberkonzentrationen der Tagesmischproben wiesen im Vergleich zu den Befunden der Juli- als auch Oktobermessung 1979 keine großen Schwankungen auf. Die Werte lagen zwischen 0,5 und 1,4 µg Hg/l. Das gleiche gilt für die Cadmiumkonzentrationen, die zwischen 0,8 und 1,8 µg Cd/l schwankten. Die Tagesmittelwerte des Bleigehaltes pendelten überwiegend zwischen 2 und 2,6 µg Pb/l (minimaler Wert 0,8 µg Pb/l). Erhebliche Schwankungen traten bei den mittleren Tageswerten der Zinkgehalte auf (Minimum 50 µg Zn/l; Maximum 150 µg Zn/l). Die mittleren Kupfergehalte lagen mit rd. 3 µg Cu/l deutlich niedriger als die im Juli und Oktober gemessenen Werte. Die Arsenwerte waren nahezu konstant (1,6 bis 2,3 µg As/l). Die Chromgehalte des Elbwassers schwankten im Tagesmittel zwischen 2,4 und 7,8 µg Cr/l.

An Hand der aus den 24 Std.-Mischproben gewonnenen Tagesmittelwerte wurden nach der vorstehend beschriebenen Berechnungsmethode die in der nachfolgenden Tabelle aufgefiihrten Frachten ermittelt:

	11.3.80	12.3.80	13.3.80	14.3.80	15.3.80	16.3.80	17.3.80	18.3.80	Mittelwert
Quecksilber	42	67	75	117	77	51	43	43	64
Cadmium	74	100	149	92	94	94	74	71	94
Kupfer	418	191	199	176	214	240	286	138	233
Blei	176	167	199	176	223	214	69	103	166
Zink	13207	11323	11528	9780	7542	9770	4338	7578	9383
Arsen	159	266	166	159	154	206	139	250	187
Chrom	476	425	373	502	403	668	382	207	436
Abfluß (Q_o m^3/s)	1027	1023	1019	1027	1053	1053	1066	1058	1041

Tabelle 4: Schwermetallfrachten (kg/Tag) der Elbe bei Schnackenburg (Messung 4)

Während des Meßzeitraumes im März 1980 lagen die Oberwasserabflüsse jeweils in der Größenordnung von 1000 m^3/s und damit rd. doppelt so hoch wie während der Untersuchungszeiträume im Juli/August und im Oktober 1979. Sowohl bei den Konzentrationen als auch bei den Frachten ist eine Verdünnungswirkung durch die erhöhten Abflüsse nicht signifikant nachweisbar. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß infolge der Aufwirbelung von schwermetallhaltigen Schwebstoffen aus den Buhnenfeldern und Randbereichen bei hohen Abflüssen (Überströmung der Buhnen bzw. Ausuferung) ein zusätzlicher Eintrag in die Strömung erfolgt. Ein Vergleich der für die drei Meßzeiträume ermittelten Frachten zeigt die große Schwankungsbreite der transportierten Schwermetallmengen auf.

Um eine etwaige Beziehung zwischen dem Schwermetallgehalt und dem Gehalt an ungelösten Stoffen herauszufinden, wurden die Schwermetallkonzentrationen des Elbwassers bei Schnackenburg statistisch untersucht. Durch eine Korrelationsberechnung [+] unter Zugrundelegung einer Irrtumswahrscheinlichkeit von < 0,1 % wurden etwaige Abhängigkeiten der Schwermetallgehalte zueinander als auch im Verhältnis zum Anteil der ungelösten Stoffe sowie deren Glühverlust berechnet. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.

[+] Erläuterung der Korrelationsberechnung s. S. 28

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu
Hg		(205) 0,02	(205) -0,17	(205) -0,01	(204) -0,004
Cd			(216) 0,04	(216) 0,23 +)	(215) 0,10
Pb	(n) r			(216) 0,23 +)	(215) 0,75 +)
Zn					(215) 0,09
Ungelöste Stoffe	(204) 0,13	(215) -0,04	(215) 0,43 +)	(215) 0,05	(214) 0,54 +)
Glühverlust	(204) 0,03	(215) -0,11	(215) 0,03	(215) -0,09	(214) 0,18

+) signifikant mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,1 %

Tabelle 5: Korrelation der Schwermetallgehalte des Elbwassers bei Schnackenburg aus stündlichen Einzelproben (Messung 1, 2, 4)

Die unterschiedliche Anzahl der zugrunde gelegten Wertepaare ist darauf zurückzuführen, daß mehrfach die Werte unterhalb der Nachweisgrenze lagen und somit nicht bei der Korrelationsberechnung berücksichtigt werden konnten. Die Auswertung zeigt, daß lediglich zwischen dem Blei- sowie Kupfergehalt mit dem Gehalt an ungelösten Stoffen eine schwache aber doch signifikante Korrelation besteht. Alle übrigen Elemente sind nicht mit dem Gehalt an ungelösten Stoffen korreliert. Eine Abhängigkeit zwischen den Schwermetallgehalten und dem Glühverlust der ungelösten Stoffe hat sich nicht ergeben. Eine deutliche Korrelation besteht offenbar zwischen dem Bleigehalt und Kupfergehalt des Elbwassers bei Schnackenburg. Zwischen dem Zinkgehalt und dem Cadmiumgehalt sowie dem Bleigehalt besteht nur eine sehr schwache eben noch signifikante Abhängigkeit. Diese Ergebnisse bedeuten jedoch nicht, daß keine Schwermetalle an Schwebstoffe angelagert sind, sondern weisen darauf hin, daß der Schwebstoffgehalt (ungelöste Stoffe) durch andere Randbedingungen, z. B. Strömungsturbulenz, beeinflußt wird, als der Schwermetallgehalt der unfiltrierten Elbwasserproben.

Als Sonderfall wurde der Schwermetallgehalt des unfiltrierten Elbwassers an der aus stündlichen Teilproben am 18./19.2.80 bei einem sehr hohen Oberwasserabfluß von rd. 2.140 m^3/s hergestellten 24 Std.-Mischprobe bestimmt. Der Gehalt an ungelösten Stoffen betrug 11 mg/l, der Glühverlust 33 %. Die Untersuchungen haben folgende Schwermetallgehalte und Frachten ergeben:

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	As	Cr
Schwermetall-gehalt (µg/l)	1,5	0,72	1,6	89	4,1	3,5	7,3
Frachten (kg/Tag)	254	122	271	15.070	694	593	1.236

Auch wenn die Frachtenermittlung mit Unsicherheiten verbunden ist, wie vorstehend erläutert, so geben diese Zahlen jedoch einen Eindruck von der Größenordnung der bei diesen hohen Oberwasserabflüssen transportierten Schwermetallmengen. Die festgestellten Konzentrationen zeigen, daß durch den hohen Oberwasserabfluß keine merkliche Verdünnungswirkung eintritt.

3.2.2 Schwermetallgehalt des Elbwassers (monatliche Längsprofile Tideelbe)

Im Bereich der Tideelbe von Scharhörn bis Geesthacht wurden seit April 1979 monatlich Wasserproben jeweils tidezeitgleich (bei voll laufendem Ebbstrom) vom Hubschrauber aus entnommen. Die dabei festgestellten Schwermetallkonzentrationen sowie der Gehalt an ungelösten Stoffen sind jeweils in den Abbildungen A 42 bis A 71 dargestellt.

Ein Vergleich der in den verschiedenen Monaten festgestellten Quecksilberkonzentrationen (Abb. A 42 bis A 47) zeigt die große Schwankungsbreite auf. So wurden im Juli und August'79 in der Außenelbe bei Scharhörn extrem hohe Quecksilberkonzentrationen, die zum Teil über 10 µg Hg/l lagen, gemessen, während im Juli und August 1980 an der gleichen Stelle nur Konzentrationen in der Größenordnung von 0,1 und darunter festgestellt werden konnten. Auch im übrigen Elbabschnitt weisen die gemessenen Quecksilberkonzentrationen erhebliche Schwankungen auf. örtliche Belastungsschwerpunkte sind aus diesen Auftragungen nicht zu erkennen. Für die ab Oktober 1979 regelmäßig beprobten Elbnebenflüsse haben sich keine höheren Quecksilbergehalte ergeben.

Der für Quecksilber im Richtlinienentwurf der EG (1974) angebene Grenzwert von 1 µg Hg/l für Oberflächengewässer, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden, wurde vereinzelt deutlich überschritten.

Die Cadmiumgehalte des unfiltrierten Elbwassers (Abb. A 48 bis A 53) liegen im gesamten Längsprofil von Scharhörn bis Geesthacht überwiegend in der Größenordnung zwischen 0,5 und 1,5 µg Cd/l. An einzelnen Stellen wurden in der mittleren Tideelbe Werte bis maximal 3,9 µg Cd/l gemessen. Als höchste Werte wurden bei Cuxhaven 8,2, bei Scharhörn 4,7 µg Cd/l festgestellt. Im Vergleich zur Quecksilberbelastung ist die Cadmiumbelastung des Elbwassers wesentlich geringeren Schwankungen unterworfen. Eine Verdünnungswirkung infolge hoher Oberwasserabflüsse ist nicht feststellbar. Besondere Belastungsschwerpunkte sind aus den Längsverteilungen der Cadmiumkonzentrationen nicht zu erkennen. Auch die Belastung der untersuchten Elbnebenflüsse liegt überwiegend in der gleichen Größenordnung. Der im EG-Richtlinienentwurf (1974) angegebene Grenzwert für Oberflächengewässer, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden, in Höhe von 5 µg Cd/l wurde mit Ausnahme des Einzelwertes bei Cuxhaven in keinem Falle überschritten.

Die Bleigehalte des Elbwassers sind in den Abbildungen A 54 bis A 59 dargestellt. Während in den Monaten April bis Juli'79 verhältnismäßig geringe Bleikonzentrationen zwischen 0,1 und 2 µg Pb/l auftraten, wurden insbesondere im Winter 1979/80 zum Teil erheblich höhere Werte gemessen. Die Konzentrationen lagen häufig in der Größenordnung zwischen 5 und 10 µg Pb/l. Der im Richtlinienentwurf der EG (1974) angegebene Grenzwert für Oberflächengewässer, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden, in Höhe von 50 µg Pb/l wurde in keinem Fall überschritten. Dies gilt auch für die in den Nebenflüssen festgestellten Konzentrationen.

In den Abbildungen A 60 bis A 65 sind die gemessenen Zinkkonzentrationen des Elbwassers angegeben. Die Werte schwanken überwiegend in der Größenordnung zwischen 10 und 100 µg Zn/l. Vereinzelt wurden auch Werte um 200 µg Zn/l gemessen. Die in den Nebenflüssen festgestellten Zinkkonzentrationen lagen überwiegend unter 100 µg Zn/l. Der für die Bundesrepublik Deutschland für Trinkwasser festgesetzte Grenzwert beträgt im Vergleich hierzu 2000 µg Zn/l.

Die gemessenen Kupfergehalte des unfiltrierten Elbwassers sind in den Abbildungen A 66 bis A 71 dargestellt. Die Kupferkonzentrationen liegen überwiegend unter 10 µg Cu/l, häufig sogar unter 5 µg Cu/l. Mehrere Einzelwerte erreichten jedoch auch die Größenordnung von 20 bis 50 µg Cu/l. Die maximale Konzentration betrug 63 µg Cu/l. Der Richtwert für Oberflächengewässer, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden (EG-Entwurf 1974), liegt für Kupfer bei 50 µg Cu/l. Ein Vergleich mit den für Trinkwasser zulässigen Werten (s. S. 15) zeigt, daß teilweise erheblich höhere Kupferkonzentrationen zugelassen sind. Der Richtwert von 50 µg Cu/l (EG und auch WHO) liegt deutlich über den in der Elbe im Mittel vorkommenden Konzentrationen.

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse einer statistischen Auswertung der Schwermetallgehalte des Elbwassers sowie der ungelösten Stoffe und deren Glühverlust angegeben. Die unterschiedliche Anzahl der für die Korrelationsberechnung zugrunde gelegten Meßwerte ergibt sich dadurch, daß die unter den Nachweisgrenzen liegenden Werte für eine Korrelationsrechnung entfallen.

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu
Hg		(128) 0,18	(128) -0,02	(128) 0,003	(128) -0,08
Cd			(378) 0,19 +)	(379) 0,34 +)	(377) 0,45 +)
Pb	(n) r			(378) 0,19 +)	(376) 0,24 +)
Zn					(378) 0,52 +)
Ungelöste Stoffe	(86) -0,04	(227) 0,003	(212) 0,01	(229) -0,13	(229) 0,32 +)
Glühverlust	(71) 0,02	(185) -0,05	(171) -0,10	(187) 0,08	(187) -0,17

+) signifikant mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,1 %

Tabelle 6: Korrelation der Schwermetallgehalte des Elbwassers von Geesthacht bis Scharhörn (monatliche Längsprofile April 79 - Sept. 80)

Die Korrelationsanalyse zeigt, daß zwischen dem Quecksilbergehalt des Elbwassers und der Belastung mit Cadmium, Blei, Zink und Kupfer kein signifikanter Zusammenhang besteht. Zwischen den Schwermetallen Zink und Kupfer hingegen ergibt sich eine deutlich signifikante Korrelation. Demgegenüber zeigen die Korrelationskoeffizienten für die übrigen untersuchten Schwermetalle signifikante, aber wesentlich schwächere Korrelationen an. Bemerkenswert ist, daß für die Schwermetalle Quecksilber, Cadmium, Blei und Zink im Verhältnis zu dem Anteil der ungelösten Stoffe der untersuchten Wasserproben kein signifikanter Zusammenhang bemerkbar wird. Lediglich zwischen der Kupferkonzentration und dem Gehalt an ungelösten Stoffen besteht eine schwach ausgeprägte signifikante Korrelation (r = 0,32). Um Unterschiede innerhalb des Längsprofils der Tideelbe infolge der Salzgehaltsänderungen im unteren Bereich des Aestuars festzustellen, wurde die Korrelationsanalyse zusätzlich getrennt für den limnischen Bereich von Geesthacht bis Kollmar und von Glückstadt bis Scharhörn(für den Brackwasser- und Meerwasserbereich) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen aufgeführt:

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu
Hg		(76) 0,15	(76) 0,05	(76) 0,04	(76) -0,03
Cd			(235) 0,24 +)	(236) 0,33 +)	(235) 0,39 +)
Pb	(n) r			(235) 0,16	(234) 0,21
Zn					(236) 0,36 +)
Ungelöste Stoffe	(58) -0,07	(152) -0,07	(146) -0,01	(153) -0,16	(153) 0,13
Glühverlust	(45) -0,06	(119) -0,05	(114) -0,12	(120) 0,08	(120) -0,17

+) signifikant mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,1 %

Tabelle 7: Korrelation der Schwermetallgehalte des Elbwassers von Geesthacht bis Kollmar (monatliche Längsprofile April 79 - Sept. 80)

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu
Hg		(52) 0,18	(52) -0,06	(52) 0,01	(52) -0,02
Cd			(149) 0,36 +)	(150) 0,36 +)	(149) 0,49 +)
Pb	(n) r			(149) 0,59 +)	(148) 0,69 +)
Zn					(149) 0,68 +)
Ungelöste Stoffe	(29) < 0,001	(86) 0,03	(77) 0,29	(87) 0,13	(87) 0,58 +)
Glühverlust	(27) 0,18	(77) 0,04	(68) -0,15	(78) -0,17	(78) -0,19

+) signifikant mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,1 %

Tabelle 8: Korrelation der Schwermetallgehalte des Elbwassers von Glückstadt bis Scharhörn (monatliche Längsprofile April 79 - Sept 80)

Die Korrelationskoeffizienten zeigen, daß im Brackwasser- und Seewasserbereich offensichtlich ein schwacher Zusammenhang zwischen den Gehalten von Cadmium, Blei, Zink und Kupfer besteht. Für Quecksilber ergab sich wiederum keine signifikan-

---

Korrelation

Statistische Untersuchung, ob für eine Zufallsstichprobe mit n Elementen, die jeweils zwei Merkmale (x, y) haben, ein statistischer Zusammenhang besteht. Der Korrelationskoeffizient

$$r = \frac{\sum x_i y_i - \frac{1}{n}\sum x_i \sum y_i}{\sqrt{\left[\sum x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum x_i\right)^2\right]\left[\sum y_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum y_i\right)^2\right]}}$$

ist ein Maß für den linearen Zusammenhang zwischen den Merkmalen. Zwei Merkmale sind unkorreliert, wenn r = 0 ist, und um so stärker korreliert, je näher r bei 1 liegt. Ein funktionaler Zusammenhang besteht,-wenn r = 1 ist. Ein positiver Wert r zeigt eine gleichsinnige Korrelation an (d.h. wenn x zunimmt, nimmt auch y zu) und ein negativer Wert r eine gegensinnige Korrelation an. Durch den Korrelationskoeffizienten r wird jeweils nur der formale Zusammenhang zwischen den der Berechnung zugrunde gelegten Wertepaaren (x, y) geprüft. Ein möglicher kausaler Zusammenhang kann nur von der Sache her abgeleitet werden. Die Aussagesicherheit des Korrelationskoeffizienten ist u.a. abhängig von der Anzahl der für die Berechnung zugrunde gelegten Wertepaare. Der Korrelationskoeffizient muß deshalb stets unter Festlegung einer bestimmten Irrtumswahrscheinlichkeit a über eine Hypothese geprüft werden. Überlicherweise werden Irrtumswahrscheinlichkeiten von α = 5 %, 1 % oder 0,1 % gewählt. Die Angabe r = ..., α = 0,01 bedeutet, daß die Korrelation für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von a = 1 % signifikant ist. Die Prüfung des Korrelationskoeffizienten r kann jedoch auch ergeben, daß die Korrelation für eine bestimmte Irrtumswahrscheinlichkeit nicht signifikant ist, d.h. kein statistischer Zusammenhang zwischen x und y erkennbar ist.

te Korrelation in Beziehung zu den anderen Schwermetallen. Bemerkenswert ist, daß nur zwischen dem Kupfergehalt und dem Gehalt an ungelösten Stoffen eine deutlich signifikante Korrelation besteht, was darauf hinweist, daß Kupfer in starkem Maße an die ungelösten Stoffe angelagert ist. Im limnischen Bereich besteht auch für die Kupferkonzentrationen des Elbwassers keine signifikante Beziehung zu dem Gehalt an ungelösten Stoffen (Tab.7).

3.2.3 Schwermetallgehalt des Elbwassers (Längsprofiluntersuchung I und II von Schnackenburg bis Scharhörn)

Parallel zu den Sedimentprobenentnahmen, die im gesamten Längsprofil von Schnackenburg bis Scharhörn vom Schiff aus vorgenommen wurden, erfolgte gleichzeitig jeweils eine Wasserprobenentnahme. Wegen der Länge des Untersuchungsabschnittes erstreckte sich die Untersuchung über einen Zeitraum von mehreren Tagen. Die Untersuchungsabschnitte und -zeiten sind in der folgenden Übersicht angegeben:

Schnackenburg	- Bunthaus	8. - 10.10.1979	Längsprofil I
Bunthaus	- Wedel	12.11.1979	
Wedel	- Brunsbüttel	6.11.1979	
Brunsbüttel	- Scharhörn	14.11.1979	
Schnackenburg	- Bunthaus	9. - 11. 6.1980	Längsprofil II
Bunthaus	- Wedel	24. 6.1980	
Wedel	- Brunsbüttel	2. 7.1980	
Brunsbüttel	- Scharhörn	3. 7.1980	

Die Wasserprobenentnahme erfolgte in der Tideelbe zu unterschiedlichen Tidezeiten. Die Untersuchungsergebnisse sind in den Abbildungen A 72 bis A 77 aufgetragen. Die Quecksilberwerte lagen häufig unterhalb der Nachweisgrenze von 0,1 µg Hg/l. Beim Längsprofil I wurde ein Wasserkörper mit Quecksilbergehalten zwischen 0,2 und 0,5 µg Hg/l im Abschnitt Geesthacht bis Brunsbüttel erfaßt. Wie bereits unter Abschnitt 3.2.2 beschrieben, weisen gerade die Quecksilbergehalte des Elbwassers erhebliche Schwankungen auf, so daß die bei den Längsprofiluntersuchungen I und II festgestellten Werte einen zufälligen Charakter haben.

Die Cadmiumkonzentrationen lagen überwiegend in der Größenordnung zwischen 0,2 und 1 µg Cd/l. Ausgeprägte Belastungsschwerpunkte innerhalb der Längsprofile sind nicht erkennbar. Lediglich unterhalb von Schnackenburg sind beim Längsprofil I deutlich erhöhte Werte (4,2 µg Cd/l) aufgetreten.

Die Bleigehalte lagen bei beiden Längsprofiluntersuchungen überwiegend unter 5 µg Pb/l. Sowohl die Größenordnung als auch die Schwankungsbreite wurden bei den monatlichen Längsprofilen (Abschnitt 3.2.2) ebenfalls festgestellt.

Die Zinkgehalte des Elbwassers lagen im gesamten Längsprofil in der Größenordnung von 100 µg Zn/l. Diese Größenordnung hat sich auch bei den Längsprofiluntersuchungen der Tideelbe ergeben.

Die bei den Längsprofilen I und II festgestellten Kupferkonzentrationen lagen ebenfalls in der gleichen Größenordnung (10 bis 15 µg Cu/l) wie die Ergebnisse der monatlichen Längsprofiluntersuchungen. Beim Längsprofil II lag der Kupfergehalt im Bereich des Elbabschnitts Schnackenburg - Bunthaus deutlich höher als in der Tideelbe.

Die Elemente Arsen und Chrom wurden bei der Längsprofiluntersuchung II zusätzlich mituntersucht. Der Arsengehalt lag in der Größenordnung von 2 bis 3 µg As/l. Lediglich im Hamburger Bereich und unterhalb von Brunsbüttel wurden Werte bis zu 6 µg As/l gemessen. Die Chromkonzentrationen des Elbwassers wiesen überwiegend Werte von 1 bis 2 µg Cr/l auf. Nur im Bereich der Brackwasserzone wurden vereinzelt höhere Werte festgestellt (bis zu 5 µg Cr/l).

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die bei den Längsprofilen I und II gemessenen Schwermetallkonzentrationen des Elbwassers deutlich unter den in Abschnitt 3.1 (S. 15) angegebenen Werten für Trinkwasser lagen.

3.3 Schwermetallgehalte der Elbsedimente

3.3.1 Beurteilungsgrundlagen

Während die Schwermetallgehalte des Flußwassers die augenblickliche Belastungssituation wiederspiegeln, kennzeichnen die Schwermetallgehalte des Sedimentes die anhaltende Belastungssituation eines Gewässers, sofern nicht durch besondere Bedingungen, wie z.B. anaerober Zustand, Veränderung des pH-Wertes o.ä., ein Teil der gebundenen Schwermetalle freigesetzt wird.

Da die Schwermetalle auch im natürlichen Gestein in unterschiedlicher chemischer Form und Konzentration vorkommen, findet laufend ein natürlicher Eintrag in das Gewässer durch Auswaschungen statt. Jedes Gewässer hat deshalb ein dem geochemischen Charakter seines gesamten Einzugsgebietes entsprechendes natürliches „Schwermetallklima“ der Sedimente. Für die Elbe liegen bisher keine zuverlässigen Angaben über die Höhe der natürlichen Schwermetallbelastung vor. TUREKIAN und WEDEPOHL +) haben durch sehr umfangreiche Schwermetalluntersuchungen an zivilisatorisch unbelasteten Tongesteinen folgenden mittleren, natürlichen „Tongestein-Standard“ aufgestellt:

Quecksilber	0,4	µg/kg
Cadmium	0,3	µg/kg
Blei	20	µg/kg
Zink	95	µg/kg
Kupfer	45	µg/kg
Chrom	90	µg/kg

Dieser Tongestein-Standard vermittelt einen Eindruck über die Größenordnung der natürlichen Grundbelastung. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß die natürliche Grundbelastung des Elbsedimentes z.B. durch Auswaschungen im Oberlauf („Erzgebirge“) für die verschiedenen Elemente wesentlich höher liegt. Der Anteil der anthropogenen Belastung läßt sich deshalb für die Elbe nicht genau angeben.

Einen überblick über die Belastungssituation Europäischer Gewässer mit Quecksilber bieten die von FÖRSTNER, U. und WITTMANN, G.T.W. [6] zusammengestellten Werte:

+) Quelle: FÖRSTNER, U./MÜLLER [1]

F l u ß	Max. Konz. (mg/kg)	Belastungsquelle
Danube (Ungarn)	0,1 - 2,6	verschiedene Quellen
Seine (Frankreich)	8,4	Industrie, kommunale Abwässer
Blies/Saar (BRD)	9,6	Industrie (?)
Gurk (österreich)	23,3	Chloralkali-Industrie
Kaminska Bistrica (Jugoslawien)	31,8	Industrie (?)
Elbe (BRD)	35,0	Industrie, kommunale Abwässer
Toce (Italien)	46,0	Industrie (?)
Wupper (BRD)	47,0	Industrie
Rhone (Schweiz)	5510	Chemische Industrie
Sambre (Belgien)	70,0	Industrie
Ume Älv (Schweden)	102,0	Holzmühle
Ginsheimer Altrhein (BRD)	110,0	Industrie
Monte Amiata Rs. (Italien)	288	Quecksilber-Bergbaugebiet
Mt. Avala (Jugoslawien)	6000	Quecksilber-Bergbaugebiet

Tabelle 9: Quecksilbergehalt in den Sedimenten einiger europäischer Flüsse

Der Elbabschnitt oberhalb von Hamburg (max. 30 bis 40 mg Hg/kg) ist demzufolge mit in die Gruppe der stark mit Quecksilber belasteten Gewässer einzustufen.

Die Schwermetallkonzentration des Sedimentes hängt jeweils von der Korngrößenzusammensetzung der untersuchten Probe ab. Häufig wird für die Untersuchung nur die Tonfraktion (< 2 μm) zugrunde gelegt, um unabhängig von der natürlichen Korngrößenverteilung im Gewässer vergleichbare Werte zu erhalten. Dabei ist zu beachten, daß die auf die Tonfraktion bezogenen Werte nur eine „partielle“ Belastung anzeigen, die für eine Beurteilung der ökologisch wirksamen Belastung nur dann maßgebend sind, wenn der Anteil der Tonfraktion den Charakter der Sedimentprobe überwiegend prägt. Bei der Untersuchung der Elbsedimente wurden stichprobenartig an ausgewählten Proben die Quecksilber- und Kupfergehalte der unterschiedlichen Korngrößenfraktionen bestimmt.

Probe A (sehr grobkörnig)

Korngrößen Fraktion (µm)	Anteil (%)	Kupfer (mg Cu/kg)	Quecksilber (mg Hg/kg)
> 2000	4,3	n.n.	n.n.
2000 - 630	76,0	2,5	n.n.
630 - 200	14,8	5,9	0,05
200 - 63	3,9	76,0	0,3
63 - 20	0,5	388	2,2
20 - 6,3	0,5	206	3,6
6,3 - 2	n.n.	n.n.	n.n.
< 2	n.n.	n.n.	n.n.

Die getrennt durchgeführte Untersuchung an der Fraktion < 63 µm ergab

Cu = 329 mg/kg; Hg = 3,5 mg/kg

Probe B (mittel- bis feinkörnig)

Korngrößen Fraktion (µm)	Anteil (%)	Kupfer (mg Cu/kg)	Quecksilber (mg Hg/kg)
> 2000	n.n.	n.n.	n.n.
2000 - 630	n.n.	n.n.	n.n.
630 - 200	4,4	55,0	4,0
200 - 63	8,3	109	4,2
63 - 20	18,7	212	8,7
20 - 6,3	44,6	528	11,9
6,3 - 2	18,0	313	40,6
< 2	6,0	181	39,2

Die getrennt durchgeführte Untersuchung an der Fraktion < 63 µm ergab

Cu = 427 mg/kg; Hg = 22,3 mg/kg

Probe C (sehr feinkörnig)

Korngrößen Fraktion (µm)	Anteil (%)	Kupfer (mg Cu/kg)	Quecksilber (mg Hg/kg)
> 2000	n.n.	n.n.	n.n.
2000 - 630	n.n.	n.n.	n.n.
630 - 200	n.n.	n.n.	n.n.
200 - 63	n.n.	n.n.	n.n.
63 - 20	0,7	416	5,3
20 - 6,3	19,1	1090	14,6
6,3 - 2	34,0	511	29,7
< 2	46,2	319	63,1

Die getrennt durchgeführte Untersuchung an der Fraktion < 63 µm ergab

Cu = 573 mg/kg; Hg = 49 mg/kg

Diese Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die Schwermetalle der Elbsedimente nicht im überwiegenden Maße an die Tonfraktion angelagert sind, sondern ein erheblicher Anteil auch in gröberen Fraktionen vorhanden ist. Dies gilt insbesondere für Kupfer. Für die Untersuchung der Elbsedimente wurde einheitlich im gesamten Längsprofil die Fraktion < 63 µm zugrunde gelegt. Dadurch wurde der überwiegende Anteil der im Sediment vorhandenen Schwermetalle erfaßt und die für die an der Gewässersohle lebenden pflanzlichen und tierischen Organismen (Phyto- und Zoobenthos) maßgebende Belastung ermittelt.

3.3.2 Ergebnisse der Sediment-Längsprofiluntersuchungen

Die Entnahme der Sedimentproben wurde für das Längsprofil 1 wegen der Länge des Untersuchungsgebietes abschnittsweise an folgenden Tagen durchgeführt:

Schnackenburg	- Bunthaus	8. - 10.10.1979	Längsprofil I
Bunthaus	- Wedel	12.11.1979	
Wedel	- Brunsbüttel	6.11.1979	
Brunsbüttel	- Scharhörn	14.11.1979	

Eine weitere Probenentnahme erfolgte nach dem Abklingen einer Hochwasserwelle im Frühjahr 1980:

Schnackenburg	- Bunthaus	9. - 11. 6.1980	Längsprofil II
Bunthaus	- Wedel	24. 6.1980	
Wedel	- Brunsbüttel	2. 7.1980	
Brunsbüttel	- Scharhörn	3. 7.1980	

Die für die Untersuchungszeiträume maßgebenden hydrologischen Verhältnisse sind in Abschnitt 2.2 erläutert. In den Abbildungen A 78 bis A 83 sind die Ergebnisse dargestellt.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die Quecksilbergehalte des Sediments (Fraktion <63 μm) in dem Elbabschnitt zwischen Schnackenburg und Hamburg mit Spitzenwerten zwischen 30 und 40 mg Hg/kg bei beiden Längsprofiluntersuchungen am höchsten waren. Dagegen wies der Unterelberaum bis zu den Stationen bei Scharhörn deutlich niedrigere Gehalte im Sediment auf. Bei den Stationen in der Unterelbe unterhalb Hamburg, Glückstadt, Brunsbüttel, Otterndorf, Altenbruch und Cuxhaven wurden zum Teil Quecksilbergehalte im Sediment unter 3 mg Hg/kg ermittelt. Eine stark ausgeprägte Abnahme der Quecksilbergehalte in den untersuchten Sedimentproben liegt bei Hamburg vor.

Für die Cadmiumgehalte der untersuchten Sedimentproben ergibt sich ein ähnliches Verteilungsmuster wie beim Quecksilber. Die höchsten gemessenen Gehalte lagen wiederum im Gebiet oberhalb Hamburgs. Zwischen 30 und 40 mg Cd/kg wiesen die Untersuchungen im Bereich Schnackenburg, Bleckede, Lauenburg und Bunthaus

auf. Wesentlich niedriger war der Cadmiumanteil im untersuchten Sediment im Unterelbebereich zwischen Hamburg und Scharhörn. Hier wurden oft Werte um 1 mg Cd/kg gemessen. Wie bei den Quecksilbergehalten war auch für die Cadmiumgehalte ein deutlicher Abfall bei Hamburg zu verzeichnen.

Für Blei ergibt sich nach den gemessenen Werten im untersuchten Sediment der Elbe ein ähnliches Bild wie für Quecksilber und Cadmium. Die Bleiwerte lagen oberhalb Hamburgs höher als im Unterlauf der Elbe, doch waren die gemessenen Unterschiede in den Gehalten weniger ausgeprägt als bei Quecksilber und Cadmium. Höhere Werte bis 800 mg Pb/kg traten bei Schnackenburg, Hitzacker, Bleckede und Bunthaus vereinzelt auf. Werte unter 100 mg Pb/kg wurden häufig in den Sedimentproben des Unterelbebereichs gemessen. Der hohe Einzelwert in der Einfahrt zum Nord-Ostsee-Kanal zeigt eine örtliche Bleiverschmutzung (Schiffsfarbe?) an.

Die gemessenen Kupfergehalte des Elbsedimentes zeigen im Längsschnitt ein zur Bleibelastung ähnliches Muster. Die höchsten Werte bis zu rd. 700 mg Cu/kg wurden im Abschnitt oberhalb von Hamburg festgestellt. Im Mittel lagen die Gehalte zwischen Schnackenburg bis Hamburg in der Größenordnung von 300 mg Cu/kg beim Längsprofil I und 500 mg Cu/kg beim Längsprofil II. Demgegenüber wurde im Unterelbabschnitt eine deutlich geringere Kupferbelastung von im Mittel unter 100 mg Cu/kg festgestellt.

Auch die Zinkgehalte des Elbsedimentes lagen im Bereich Schnackenburg bis Hamburg mit Werten zwischen 3000 und 5000 mg Zn/kg (Längsprofil I) und 2000 bis 3000 mg Zn/kg (Längsprofil II) deutlich höher als im Unterelbabschnitt, wo Werte unter 1000 mg Zn/kg, häufig sogar unter 500 mg Zn/kg festgestellt wurden. Eine deutliche Abnahme der Zinkgehalte trat - wie auch bei den anderen untersuchten Schwermetallen - im Hamburger Bereich auf.

Für die beim Längsprofil II mituntersuchten Metalle Arsen und Chrom (Abb. A 83) wurden ebenfalls im oberen Elbabschnitt die höchsten Konzentrationen im Sediment festgestellt. Im Vergleich zu den anderen gemessenen Schwermetallverteilungen ist die Abnahme der Werte unterhalb von Hamburg nicht so ausgeprägt.

Die statistische Untersuchung (Korrelationsanalyse) der bei der Längsprofiluntersuchung I festgestellten Schwermetallgehalte ergibt hohe Korrelationskoeffizienten (Tab. 10). Dies bedeutet, im statistischen Sinn besteht jeweils ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Gehalten der verschiedenen Schwermetalle. Beispielsweise sind in Proben mit hohen Quecksilbergehalten in der Regel auch die Konzentrationen der anderen Schwermetalle hoch. Dies gilt insbesondere für die Beziehung zwischen dem Kupfergehalt und den Gehalten an Blei und Zink.

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu
Hg		(89) 0,83 +)	(89) 0,76 +)	(89) 0,92 +)	(89) 0,84 +)
Cd			(89) 0,76 +)	(89) 0,86 +)	(89) 0,82 +)
Pb	(n) r			(89) 0,90 +)	(89) 0,96 +)
Zn					(89) 0,96 +)
Ton (< 2 μm)	(79) 0,15	(79) 0,05	(79) 0,09	(79) 0,10	(79) 0,11
Feinsilt (< 6,3 μm)	(86) 0,10	(86) 0,06	(86) 0,06	(86) 0,09	(86) 0,08
Mittelsilt (< 20 μm)	(89) -0,09	(89) -0,11	(89) -0,08	(89) -0,12	(89) -0,13

+) signifikant mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,1 %

Tabelle 10: Korrelation der Schwermetallgehalte der Elbsedimente von Schnackenburg bis Scharhörn (Längsprofil I)

Demgegenüber besteht zwischen den Schwermetallgehalten und den Korngrößenanteilen Ton, Feinsilt, Mittelsilt (bezogen auf die Fraktion < 63 μm = 100 %) kein signifikanter Zusammenhang (niedrige Korrelationskoeffizienten).

Um eventuelle Abhängigkeiten der Schwermetallanlagerungen von der Höhe der Belastung erkennen zu können, wurde die Korrelationsanalyse zusätzlich getrennt für den hochbelasteten Abschnitt Schnackenburg bis Bunthaus und den niedriger belasteten Bereich Blankenese bis Scharhörn durchgeführt.

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu
Hg		(29) 0,31	(29) 0,50	(29) 0,71 +)	(29) 0,52
Cd			(29) 0,47	(29) 0,48	(29) 0,50
Pb	(n) r			(29) 0,92 +)	(29) 0,98 +)
Zn					(29) 0,95 +)
Ton (< 2 μm)	(23) 0,13	(23) -0,24	(23) -0,05	(23) 0,06	(23) -0,01
Feinsilt (< 6,3 μm)	(27) 0,09	(27) -0,16	(27) -0,04	(27) 0,004	(27) -0,03
Mittelsilt (< 20 μm)	(29) 0,22	(29) 0,18	(29) 0,01	(29) 0,07	(29) 0,02

+) signifikant mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,1 %

Tabelle 11: Korrelation der Schwermetallgehalte der Elbsedimente von Schnackenburg bis Bunthaus (Längsprofil I)

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu
Hg		(48) 0,89 +)	(48) 0,59 +)	(48) 0,79 +)	(48) 0,74 +)
Cd			(48) 0,68 +)	(48) 0,79 +)	(48) 0,78 +)
Pb	(n) r			(48) 0,80 +)	(48) 0,90 +)
Zn					(48) 0,90 +)
Ton (< 2 μm)	(45) -0,30	(45) -0,26	(45) -0,05	(45) -0,18	(45) -0,23
Feinsilt (< 6,3 μm)	(47) -0,05	(47) 0,02	(47) 0,13	(47) 0,10	(47) 0,01
Mittelsilt (< 20 μm)	(48) -0,12	(48) -0,12	(48) 0,06	(48) -0,02	(48) -0,06

+) signifikant mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,1 %

Tabelle 12: Korrelation der Schwermetallgehalte der Elbsedimente von Blankenese bis Scharhörn (Längsprofil I)

Auch bei diesen Berechnungen ergab sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Tongehalt und der Schwermetallkonzentration. In dem hochbelasteten Bereich besteht nur ein enger Zusammenhang zwischen den Gehalten an Blei, Zink und Kupfer. Im geringer belasteten Unterelbabschnitt hingegen ergibt sich für alle untersuchten Metalle eine signifikante Korrelation.

Die statistische Auswertung der zu einer anderen Jahreszeit (Biomasse!) und bei anderen hydrologischen Randbedingungen (s. Abschnitt 2.2) durchgeführten Längsprofiluntersuchung II zeigt ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Schwermetallgehalten.

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	As	Cr
Hg		(101) 0,90 +)	(101) 0,74 +)	(101) 0,88 +)	(101) 0,78 +)	(101) 0,73 +)	(101) 0,72 +)
Cd			(101) 0,77 +)	(101) 0,89 +)	(101) 0,83 +)	(101) 0,67 +)	(101) 0,72 +)
Pb				(101) 0,82 +)	(101) 0,87 +)	(101) 0,70 +)	(101) 0,76 +)
Zn	(n) r				(101) 0,82 +)	(101) 0,77 +)	(101) 0,82 +)
Cu						(101) 0,69 +)	(101) 0,76 +)
As							(101) 0,83 +)
Ton (< 2 µm)	(90) 0,64 +)	(90) 0,51 +)	(90) 0,38 +)	(90) 0,57 +)	(90) 0,42 +)	(90) 0,46 +)	(90) 0,41 +)
Feinsilt (< 6,3 µm)	(97) 0,28	(97) 0,25	(97) 0,10	(97) 0,19	(97) 0,13	(97) 0,16	(97) 0,08
Mittelsilt (< 20 µm)	(101) -0,10	(101) 0,03	(101) 0,004	(101) -0,06	(101) 0,04	(101) -0,15	(101) -0,02

+) signifikant mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,1 %

Tabelle 13: Korrelation der Schwermetallgehalte der Elbsedimente von Schnackenburg bis Scharhörn (Längsprofil II)

Eine getrennte Betrachtung der in der Belastungshöhe unterschiedlichen Bereiche Schnackenburg - Bunthaus und Blankenese - Scharhörn ergibt jeweils geringerwertige, teilweise nichtsignifikante Korrelationskoeffizienten.

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	As	Cr
Hg		(34) 0,79 +)	(34) 0,43	(34) 0,72 +)	(34) 0,46	(34) 0,60 +)	(34) 0,43
Cd			(34) 0,59 +)	(34) 0,68 +)	(34) 0,60 +)	(34) 0,51	(34) 0,40
Pb				(34) 0,59 +)	(34) 0,91 +)	(34) 0,47	(34) 0,47
Zn	(n) r				(34) 0,51	(34) 0,66 +)	(34) 0,68 +)
Cu						(34) 0,40	(34) 0,46)
As							(34) 0,67 +)
Ton (< 2 µm)	(30) 0,79 +)	(30) 0,59 +)	(30) 0,17	(30) 0,59 +)	(30) 0,29	(30) 0,55	(30) 0,49
Feinsilt (< 6,3 µm)	(32) 0,39	(32) 0,33	(32) -0,02	(32) 0,09	(32) -0,04	(32) 0,23	(32) -0,06
Mittelsilt (< 20 µm)	(34) -0,34	(34) -0,11	(34) 0,13	(34) -0,25	(34) 0,18	(34) -0,29	(34) -0,14

+) signifikant mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,1 %

Tabelle 14: Korrelation der Schwermetallgehalte der Elbsedimente von Schnackenburg bis Bunthaus (Längsprofil II)

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	As	Cr
Hg		(50) 0,89 +)	(50) 0,33	(50) 0,72 +)	(50) 0,44	(50) 0,38	(50) 0,36
Cd			(50) 0,31	(50) 0,77 +)	(50) 0,59 +)	(50) 0,35	(50) 0,44
Pb				(50) 0,49 +)	(50) 0,51 +)	(50) 0,37	(50) 0,50 +)
Zn	(n) r				(50) 0,74 +)	(50) 0,61 +)	(50) 0,66 +)
Cu						(50) 0,53 +)	(50) 0,83 +)
As							(50) 0,67 +)
Ton (< 2 µm)	(45) 0,61 +)	(45) 0,66 +)	(45) 0,16	(45) 0,50 +)	(45) 0,47	(45) 0,01	(45) 0,06
Feinsilt (< 6,3 µm)	(49) 0,17	(49) 0,11	(49) -0,09	(49) -0,09	(49) -0,03	(49) 0,11	(49) -0,13
Mittelsilt (< 20 µm)	(50) -0,28	(50) -0,20	(50) -0,08	(50) -0,28	(50) -0,15	(50) -0,26	(50) -0,13

+) signifikant mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,1 %

Tabelle 15: Korrelation der Schwermetallgehalte der Elbsedimente von Blankenese bis Scharhörn (Längsprofil II)

Auffallend ist, daß bei der Untersuchung II im Vergleich zur Untersuchung I deutlich höhere, zum Teil sogar schwach signifikante Korrelationen zwischen dem Tongehalt und den Schwermetallgehalten bestehen. Ob diese Unterschiede auf jahreszeitliche (biochemische Stoffumsetzungen im Sediment) oder auf hydrologische Einflüsse (Aufwirbelung und Vermischung der Sedimentfraktionen) zurückzuführen sind, läßt sich aus den bisher vorliegenden Daten nicht erkennen. Diese Erscheinungen weisen jedoch daraufhin, daß die Anlagerung der Schwermetalle an die Sedimente durch vielfältige, komplexe Vorgänge beeinflußt wird, und deshalb wenige Einzelmessungen keine sichere Beurteilung zulassen.

Die vorstehend erläuterten Ergebnisse stehen in scheinbarem Widerspruch zu der häufig in der Literatur vertretenen These, die Höhe der Schwermetallanlagerungen im Sediment sei in starkem Maße von der Korngrößenzusammensetzung abhängig. Demnach wäre ein hoch signifikanter Zusammenhang insbesondere zwischen dem Tongehalt und dem Schwermetallgehalt zu erwarten gewesen. In Abschnitt 3.3.1 wurde bereits an Stichproben aufgezeigt, daß ein erheblicher Anteil der Schwermetalle, insbesondere Kupfer, auch an gröbere Fraktionen (Silt) als die Tonfraktion angelagert vorliegt. Die statistischen Auswertungen deuten ebenfalls daraufhin.

Eine besondere Erscheinung ist jeweils die starke Abnahme der Schwermetallgehalte im Elbsediment unmittelbar unterhalb des Hamburger Hafengebietes. Besonders ausgeprägt tritt diese Erscheinung bei den Quecksilber-, Cadmium-, Kupfer- und Bleigehalten des Elbsedimentes auf. MÜLLER/FÖRSTNER +) haben bei ihren Untersuchungen durch nur drei Probenentnahmestellen (bei Geesthacht, Bunthaus und Wedel) im Vergleich zu den hier vorgelegten Untersuchungsergebnissen eine wesentlich flacher verlaufende Abnahme der Schwermetallgehalte unterhalb Hamburgs festgestellt. Dies ist vermutlich auf die große Entfernung zwischen den zugrunde gelegten Probeentnahmestellen zuruckzuführen. Die von MÜLLER/FÖRSTNER gezogene Schlußfolgerung, daß die Abnahme der Schwermetallkonzentration durch eine Verdünnung mit von See stromauf gewanderten, schwach belasteten Sedimenten verursacht wird, kann durch die im Rahmen der ARGE ELBE-Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse nicht bestätigt werden. Die Ursache für die signifikante Abnahme der Schwermetallgehalte im Hamburger Hafenbereich ist vermutlich auf die besonderen hydrologischen Verhältnisse im Stromspaltungsgebiet zurückzuführen.

+) Quelle: FÖRSTNER/WITTMANN [6)]

Zwischen den großen an die Elbarme angeschlossenen Hafenbecken und der Elbe findet bei jeder Tide ein erheblicher Wasseraustausch statt. Aufgrund der geringen Strömungen in den Hafenbecken lagern sich die mitgeführten schwermetallhaltigen Schwebstoffe in diesen Zonen in verstärktem Maße ab und müssen regelmäßig durch Baggerungen beseitigt werden. Somit verringert sich im Unterelbebereich der Anteil der aus dem oberen Elbabschnitt mitgeführten Schwebstoffe und auch der Schwermetallgehalt im Sediment. Der dennoch recht hohe Schwebstoffgehalt unterhalb Hamburgs wird u.a. durch Aufwirbelung des dortigen Sediments durch den starken Ebbe- und Flutstrom verursacht. Zusätzlich führen Organismen, die in natürlicher Weise beim Aufeinandertreffen vom limnischen und marinen Milieu in großem Umfang absterben, zur Ausbildung von sogenannten Trübungswolken. Eine Abnahme der Schwermetallgehalte im Brackwasserbereich läßt sich auch durch Mischungseffekte zwischen Elbwasser und Meerwasser sowie Elb-Schwebgut und Nordsee-Schwebgut erklären. Es ist denkbar, daß darüber hinaus ein Anteil der durch Sorption an das Schwebgut gebundenen Schwermetalle durch das hohe Kationenangebot des Meerwassers an dieses abgegeben wird. Diesem Prozeß dürfte jedoch eine untergeordnete Bedeutung zukommen.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß insbesondere im Elbabschnitt oberhalb Hamburgs eine erhebliche Schwermetallbelastung der Elbsedimente vorliegt. Im Vergleich zu dem im Abschnitt 3.3 (S. 31) erläuterten natürlichen „Tongestein-Standard“ sind die Gehalte des Quecksilbers, des Cadmiums und des Kupfers im Elbsediment im oberen Elbabschnitt zwischen Schnackenburg und Hamburg um den Faktor bis zu 100 erhöht, während die Blei-, Zink- und Chromkonzentrationen im Mittel um den Faktor 20 bis 30 über den Werten des „Tongestein-Standards“ liegen. Die Schwermetallkonzentrationen in den Unterelbsedimenten liegen vergleichsweise um den Faktor 5 bis 10 niedriger als im oberen Elbabschnitt. Auch in dem Einflußbereich der in der Unterelbe angesiedelten Industrien bei Stade / Bützfleth und Brunsbüttel wurden keine signifikant erhöhten Schwermetallwerte des Sediments festgestellt.

3.4 Schwermetallgehalte der Brassen

In Tab. 16 sind die für die verschiedenen Organe der Brassen festgestellten Schwermetallkonzentrationen zusammengestellt. Es sind jeweils die minimalen, mittleren und maximalen Konzentrationen für die Elemente Blei, Cadmium und Quecksilber für die über den Längsschnitt der Elbe verteilten Fangplätze angegeben. Bei der Mittelwertbildung wurden für die Werte n.n. (nicht nachweisbar) 0,75 NG (Nachweisgrenze für Blei 1,0 µ/kg Cadmium 0,1 µg/kg und Quecksilber 0,1 µg/kg) eingesetzt. Die Ergebnisse von Vergleichsmessungen an Brassen aus dem Laascher See bei Gartow und dem Bederkesaer See, zwischen Otterndorf und Bremerhaven gelegen, sind im unteren Teil der Tabelle angegeben. Der Laascher See steht über die Seege mit der Elbe in Verbindung. Bei hohen Wasserständen in der Elbe dringt Elbwasser von unterstrom in den Laascher See ein. Hierbei werden vermutlich auch Elbfische mit einwandern. Die Befunde der untersuchten Fische zeigen im Vergleich zum Bederkesaer See erhöhte Werte an. Der Bederkesaer See liegt in einem schwachbesiedelten und nicht industriealisiertem Gebiet. Die in den Brassen des Bederkesaer Sees festgestellten Befunde können dementsprechend als kennzeichnend für ein nahezu unbelastetes Gewässer betrachtet werden. Lediglich die Bleiwerte weisen auf eine geringe Belastung hin.

3.4.1 Beschreibung der Fischproben

Die der Untersuchung zugeführten Fischproben wurden jeweils so aus dem Fang ausgewählt, daß nach Möglichkeit das gesamte Altersspektrum erfaßt wurde. Bei einer Befischung konnten jedoch häufig nur bestimmte Altersgruppen gefangen werden, so daß die Befischungen zu einer anderen Jahreszeit teilweise wiederholt werden mußten. Die untersuchten Proben stammen deshalb in der Regel aus mehreren Fängen. Da die Altersbestimmung erst im Labor erfolgen konnte (s. Abschnitt 2.5), mußte die Probenzusammenstellung vor Ort aufgrund der Größenverteilung vorgenommen werden. In Abb. 3 sind die Längen und Gewichte der insgesamt untersuchten 184 Fische gegenübergestellt. Zwischen dem Gewicht und der Länge der Fische besteht deutliche Korrelation.

SCHWERMETALLGEHALTE DER BRASSEN (µg/kg FRISCHGEWICHT)

x = Mittelwerte Min., Max. = extreme Einzelwerte

Tab. 16

n = Anzahl der untersuchten Fische		Haut			Kiemen			Magen-Darm			Leber			Niere			Milz			Muskulatur			Gonaden		
		Min.	x̄	Max.	Min.	x̄	Max.	Min.	x̄	Max.	Min.	x̄	Max.	Min.	x̄	Max.	Min.	x̄	Max.	Min.	x̄	Max.	Min.	x̄	Max.
Glückstadt		n=13			n=13			n=13						n=13									n=10		
unterhalb Hafeneinfahrt	Pb	14	176	384	56	250	406	177	1086	2607	10	41,7	98	30	128	314	32	156	467	1	9,2	24	3	50,5	205
Strom-km 674,5	Cd	<0,1	3,3	24	1,3	7,9	17,6	7,9	84,9	183	10,2	33,7	84,9	129	233	546	8,1	19,1	75,5	<0,1	1,6	7	0,7	8,7	42,2
n = 14 ① T	Hg	14	48,9	120	31	71,4	180	120	183	330	52	144	470	63	158	430	38	117	280	170	336	690	33	79,6	310
																							n=11		
Kollmar		n=16			n=13			n=16			n=16			n=16			n=16			n=16			n=16		
Schwarztonnensand	Pb	<1	40,7	347	<1	61,0	231	<1	116	319	<1	11,1	50	<1	53,1	231	<1	82,9	321	<1	3,0	23	<1	5,4	48
Strom-km 667	Cd	<0,1	1,1	10,1	0,2	52,0	181	8,1	85,3	322	9,7	77,0	83,7	6,1	320	718	4,8	69,9	278	<0,1	0,2	2,2	<0,1	7,7	32,6
n = 18 ② T	Hg	<0,1	69,7	177	30	184	478	110	344	729	66	371	800	78	283	683	61	299	711	200	709	1367	55	163	463
					n=15																				
Fährmannssand		n=9			n=9			n=9			n=9			n=9			n=9			n=9			n=9		
Strom-km 644 - 646	Pb	-	<1	-	<1	9,2	29	<1	480	1800	<1	1,6	8,4	<1	26,8	100	<1	72,6	238	-	<1	-	-	<1	-
n = 10 ③ S	Cd	<0,1	6,4	50	<0,1	4,6	11,5	5,5	22	43,4	2,4	5,7	8,8	24,5	39,7	56,4	3	13	20,3	-	<0,1	-	<0,1	0,2	1,3
	Hg	0,4	50,6	150	71	123	225	103	197	370	63	182	475	93	188	395	102	193	379	293	563	1005	49	137	310
Borstel								n=11									n=6								
Hahnöfer Nebenelbe	Pb	12	171	327	157	411	1912	109	479	1027	60	108	149	107	206	305	34	199	427	4	14,4	37	<1	22,6	37
Strom-km 641	Cd	<0,1	2,8	8,0	5,4	9,4	17,5	9,3	55,8	169	8,8	43,2	118	42,8	176	416	10,2	25,3	68,0	<0,1	0,4	1,9	<0,1	3,7	9,0
n = 12 ④ K, T	Hg	<0,1	48,2	90	41	83,8	130	95	175	300	82	217	390	53	148	260	110	152	210	200	357	540	<0,1	81,5	160
Moorburg														n=9			n=9						n=9		
Süderelbe	Pb	<1	10,9	50,3	1,5	137	394	<1	153	452	<1	41,3	98,6	<1	60,5	97,8	3,6	173	391	-	<1	-	<1	2,4	11,1
Strom-km 618	Cd	<0,1	1,6	6,3	7,5	13,3	20,8	17,8	41,7	68,5	6,2	14,8	23,7	22,9	40,0	63,4	11,9	22,8	46,7	<0,1	1,2	6,5	0,4	7,1	13,6
n = 10 ⑤ S	Hg	35,8	108	206	148	261	483	120	392	790	194	494	1021	107	244	532	225	375	818	380	805	1119	129	263	530
																	n=7						n=7		
Hoopte																	n=23								
Strom-km 600 - 602	Pb	5	144	398	93	212	407	34	202	500	5	57,1	154	31	106	264	59	250	506	<1	7,4	39	<1	26,2	107
n = 24 ⑥ A	Cd	<0,1	3,2	16,1	2,0	9,2	73,2	4,9	24,4	88,4	1,7	33,3	131	43,7	235	1240	9,4	27,7	87,9	<0,1	0,9	7,0	<0,1	4,7	12,4
	Hg	<0,1	115	674	28	160	678	37	258	1063	<0,1	316	1790	91	300	1526	55	300	1467	53	572	1992	34	234	1670
Altengamme	Pb	106	211	299	156	428	1378	71	623	3000	19	107	162	48	135	226	112	306	467	1	4,1	14	12	70,0	243
Strom-km 590	Cd	3,1	7,9	15,7	7,3	13,4	32,7	19,1	115	260	50,8	96,2	175	330	529	724	50,8	80,9	122	0,9	2,5	6,7	20,9	32,9	41,4
n = 6 ⑦ A	Hg	96	316	598	196	448	797	62	820	1752	248	1219	2010	112	734	1262	139	915	1742	499	1241	1759	195	708	996
																	n=5								
Lauenburg								n=38						n=38			n=29						n=35		
Strom-km 568,5 - 572	Pb	<1	122	774	<1	284	1276	35,2	978	5777	<1	90,0	191	<1	89,0	281	0,3	201	495	<1	12,1	35,7	<1	26,9	137
n = 39 ⑧ K, Z	Cd	<0,1	5,2	17,9	<0,1	13,2	113	7,5	155	950	5,5	71,4	446	14,9	379	2161	4,2	35,5	130	<0,1	2,1	17	0,1	16,3	64
	Hg	52,9	235	582	14	395	1303	103	613	2592	190	1026	2945	110	604	1582	120	787	4990	104	997	2116	110	434	1386
																	n=27								
Bleckede														n=9									n=9		
Strom-km 550	Pb	65	247	500	130	360	1300	59	512	1300	73	110	310	59	94,3	150	51	188	360	<1	7,4	43	3	33,6	79
n = 10 ⑨ A	Cd	6,4	10,4	19	4,4	13,2	26	23	269	1300	29	251	1900	190	846	4400	11	94,1	450	<0,1	1,9	5,2	6,5	47,1	250
	Hg	78	315	550	190	510	800	80	810	1500	400	1452	2300	360	803	1200	260	842	1600	600	1450	2200	380	746	1100
																	n=5								
Tießau								n=17			n=16			n=15			n=15						n=11		
Strom-km 525 - 527	Pb	<1	1,2	8,7	23	108	220	<1	139	274	<1	21,6	131	<1	21,2	113	<1	96,1	313	-	<1	-	<1	1,7	11
n = 18 ⑩ H	Cd	<0,1	3,2	28,4	3,0	15,4	29	11,4	28,9	86,1	2,2	37,8	266	30,3	338	1281	<0,1	30,5	98,5	<0,1	0,5	2,8	4,3	14,8	29,8
	Hg	34	148	361	123	254	498	161	417	823	223	663	1987	185	382	845	162	520	1444	531	931	1575	101	284	590
														n=17			n=17						n=15		
Holtorf																							n=22		
Strom-km 478,5 - 480	Pb	36	246	1444	116	229	341	47	388	2734	49	102	201	46	221	1186	52	227	542	<1	10,1	34	<1	26,5	97
n = 23 ⑪ H	Cd	<0,1	2,7	6,0	3,6	8,7	19,9	4,8	43,8	305	11,9	52,4	2299	32,7	243	1105	7,5	38,7	237	<0,1	1,5	6,3	<0,1	7,6	34,2
	Hg	55	129	270	100	190	300	160	363	550	160	473	960	150	327	560	170	340	690	520	747	1100	66	310	630
Laascher See	Pb	-	<0,1	-	<1	1,3	6,3	<1	94,5	358	<1	7,6	54,2	<1	24,1	95,4	<1	40,4	199	-	<1	-	-	<1	-
	Cd	<0,1	0,8	3,5	1,1	5,9	10,5	4,0	17,0	29	20,2	32,0	53,4	62,2	271	623	10,6	22,8	36,6	<0,1	0,4	1,0	1,7	6,0	25,4
n = 9 Z	Hg	10,9	28,4	72,7	27	78,4	165	37,2	112	227	45,4	133	250	61,6	137	292	46,1	124	253	145	384	677	23	73,3	146
Bederkesaer See	Pb	4	78,2	165	26	89,2	122	<1	42,1	173	<1	18,3	34,0	1	18,0	36	<1	12,0	25	<1	6,3	20	n=11		
	Cd	<0,1	3,6	14,8	<0,1	4,4	12,9	3,1	8,6	14,0	<0,1	9,4	56,4	0,6	91,4	438	0,2	11,3	76	<0,1	0,8	2,3	<1	7,2	24
n = 12 Z	Hg	<0,1	11,5	34	<0,1	4,3	27	<0,1	15,0	83	<0,1	18,0	49,0	<0,1	52,0	480	<0,1	3,4	25	<0,1	38,1	83	<0,1	1,6	9,0
																	n=10						<0,1	3,2	16
																							n=10		

Fanggeräte: A = Angel K = Korb T = Treibnetz
H = Hamen S = Schleppnetz Z = Zugnetz

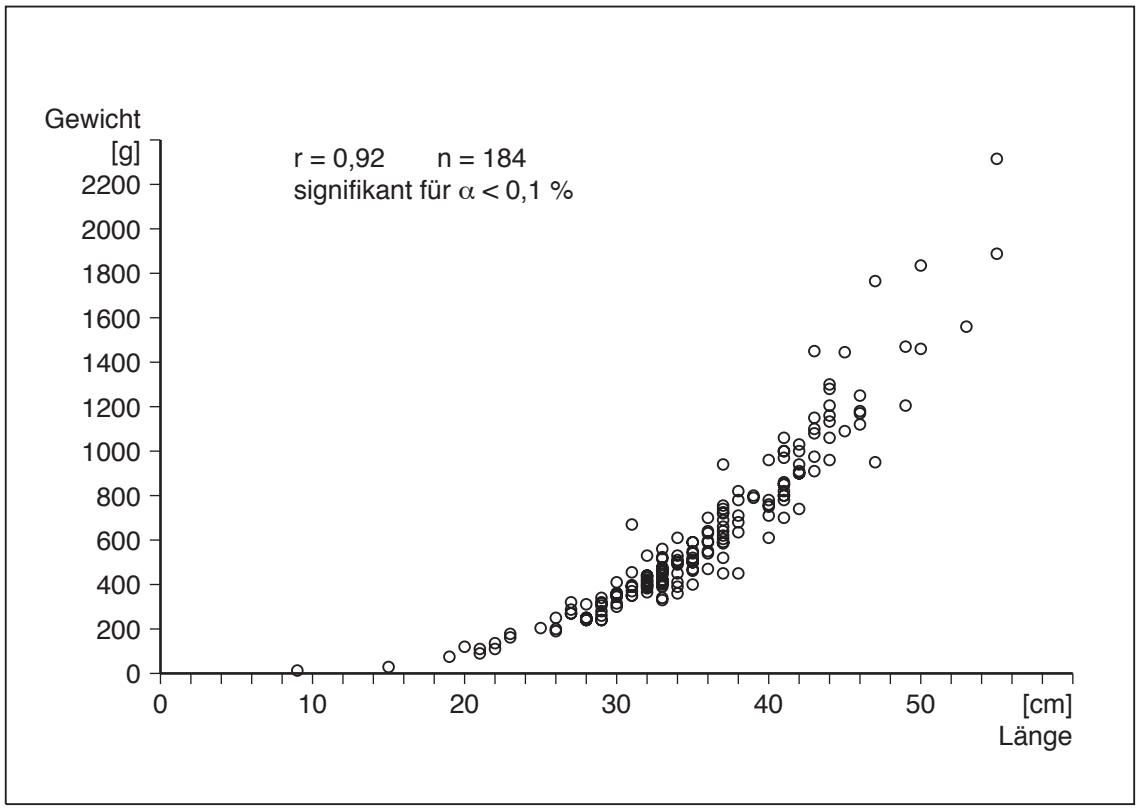


Abb. 3 : Grunddaten der untersuchten Elbbrassen
Verhältnis Länge zu Gewicht

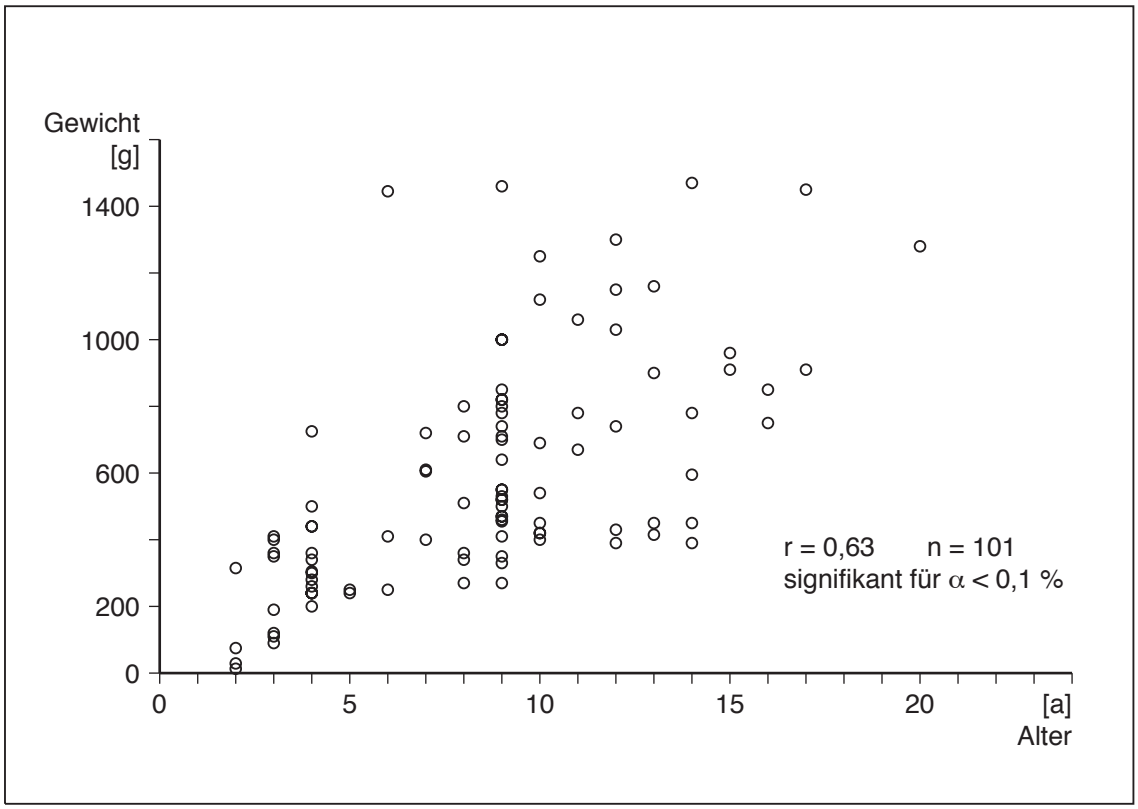


Abb. 4 : Grunddaten der untersuchten Elbbrassen
Verhältnis Alter zu Gewicht

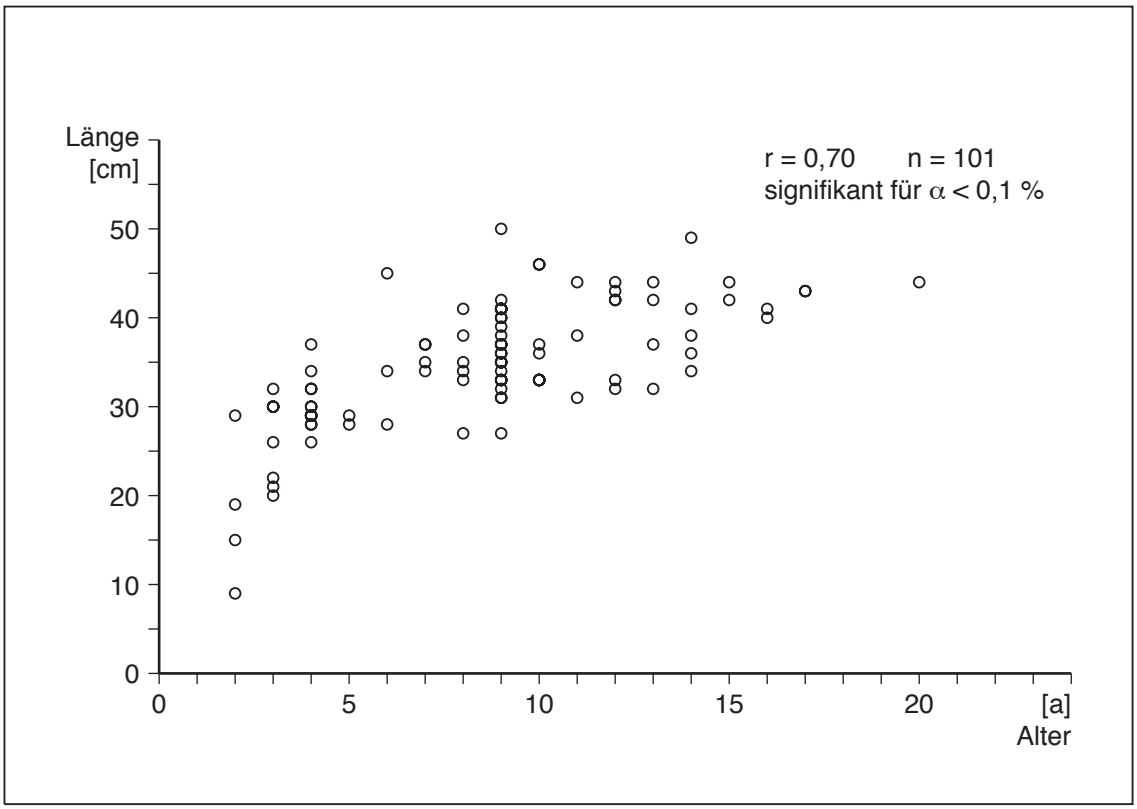


Abb. 5 : Grunddaten der untersuchten Elbbrassen
Verhältnis Alter zu Länge

Für einen Teil der untersuchten Fische (101 Exemplare) wurde entsprechend der im Abschnitt 2.5 beschriebenen Methode eine Altersbestimmung durchgeführt. In Abb. 4 und 5 sind jeweils das Gewicht und die Länge dem Alter gegenübergestellt. Die erhebliche Streuung des Frischgewichtes bezogen auf das Alter ist auf unterschiedliche Lebensbedingungen (insbesondere das Nahrungsangebot) zurückzuführen.

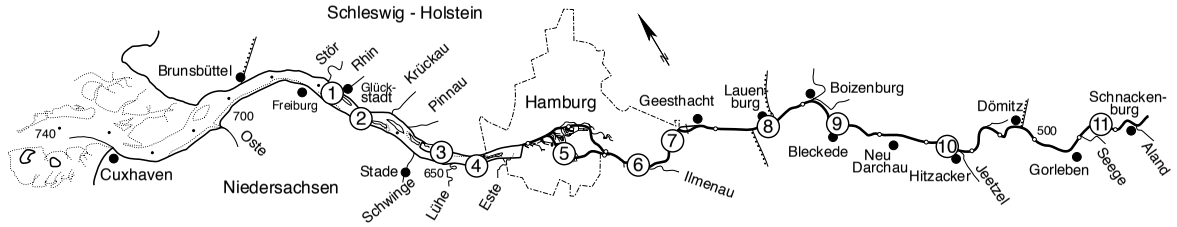
3.4.2 Quecksilberbelastung der Brassen

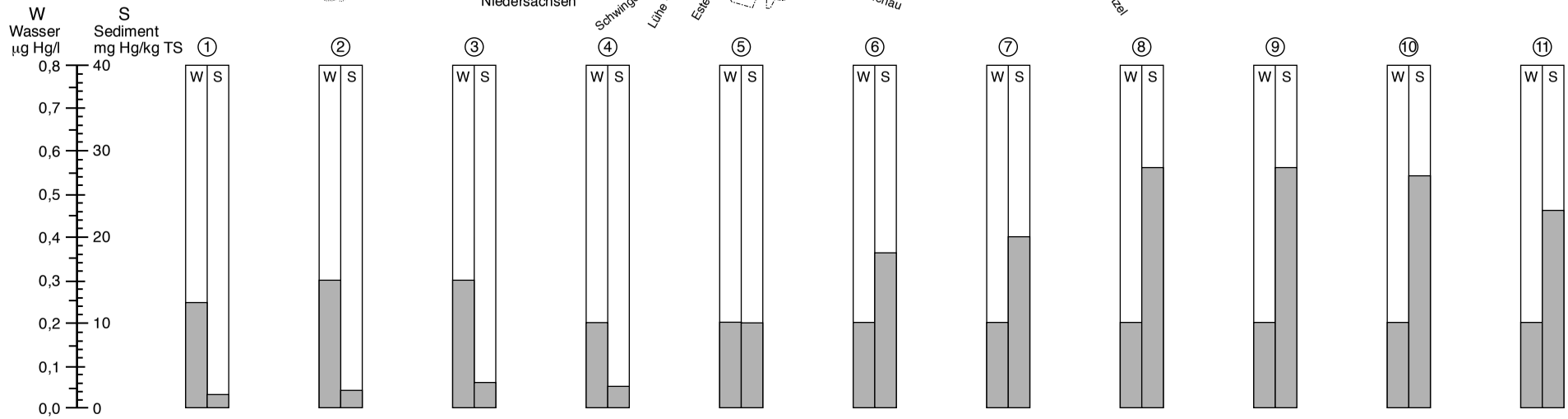
In Abb. 6 sind jeweils für die Fangplätze die mittleren Schwermetallgehalte des Elbwassers und Sedimentes (aus mehreren nahegelegenen Proben) zusammen mit den Mittelwerten der Schwermetallkonzentrationen für die untersuchten Organe dargestellt.

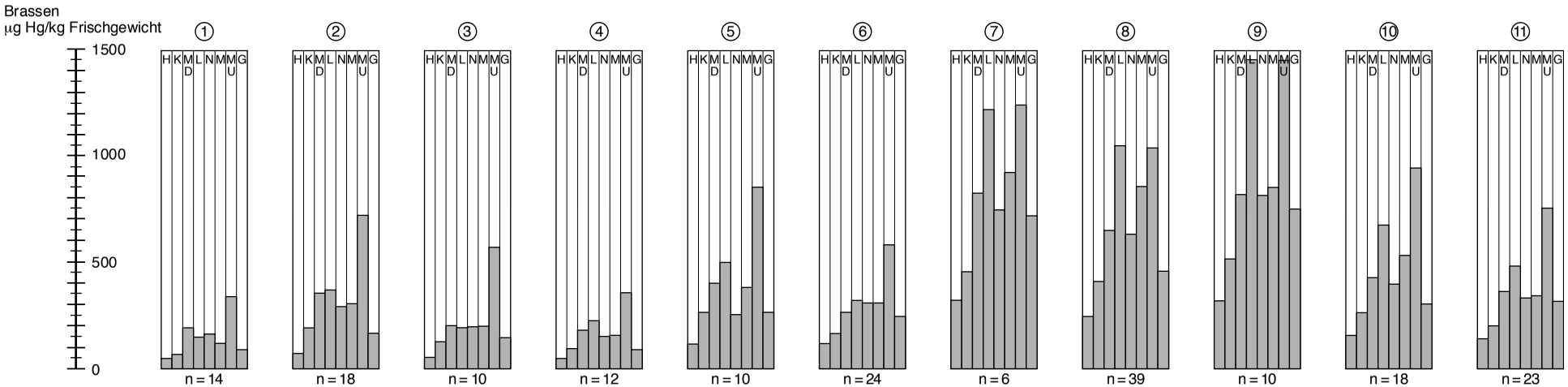
Ein Vergleich der in den Fischorganen festgestellten Quecksilberwerte mit der Höhe der jeweiligen Sedimentbelastung zeigt eine deutliche Abhängigkeit. Die höchsten Quecksilbergehalte in den Brassen wurden in den Bereichen mit hoher Quecksilberbelastung des Sedimentes im Abschnitt Bleckede - Geesthacht gemessen. Auffällig ist die verstärkte Anreicherung von Quecksilber in den Organen Leber und Muskulatur (= Filet). In dem am stärksten belasteten Bereich (Fangplätze 7 bis 9) liegen die Quecksilberwerte der Leber und Muskulatur in der gleichen Größenordnung. In den geringer belasteten Flußabschnitten (Fangplätze 1 bis 6 und 10 bis 11) hingegen überwiegt die Belastung der Muskulatur deutlich. In den dauernd mit dem Elbwasser in Berührung kommenden Organen Haut und Kiemen sind an allen Fangplätzen jeweils die geringsten Quecksilberkonzentrationen festgestellt worden. Im Magen-Darmtrakt, der Niere und der Milz liegen die Quecksilbergehalte häufig auf gleichem Niveau, wobei die Werte gegenüber dem am stärksten belasteten Organ (Muskulatur) nur etwa halb so hoch sind. Bei mehreren Brassen aus dem am stärksten belasteten Bereich (Fangplätze 6 bis 9) traten jedoch auch in den Organen Magen-Darmtrakt, Niere und Milz Quecksilbergehalte von mehr als 1000 µg/kg auf. Für den Fangplatz 5 bei Hoopte wurde im Vergleich zur Sedimentbelastung eine niedrigere mittlere Belastung der Brassen festgestellt. Aufgrund der Lage des Fangplatzes rd. 1 km unterhalb der Ilmenaumündung und der Fangzeit Ende Oktober ist anzunehmen, daß ein Teil des Fanges wegen der in der Elbe zu dieser Jahreszeit höheren Wassertemperaturen aus der geringer belasteten Ilmenaumündung in die Elbe eingewandert ist. Die in Tab. 16 aufgeführten Minimalwerte für Quecksilber liegen im Vergleich zu den benachbarten Fangplätzen so niedrig, daß eine „Verdünnung“ des Mittelwertes vermutlich durch gering belastete Fische aus der Ilmenau eingetreten ist.

Ein Vergleich der Befunde deutet für alle Fangplätze im Mittel auf eine signifikante Verteilung der Quecksilberkonzentration in den verschiedenen Organen hin. Die statistische Auswertung (Korrelationsanalyse s. Abschnitt 3.1) der für die unterschied-

Abb. 6







H = Haut
K = Kiemen
MD = Magen - Darmtrakt
L = Leber

N = Niere
M = Milz
MU = Muskulatur
G = Gonaden

n = Anzahl der untersuchten Fische je Fangplatz

QUECKSILBER (Hg)

Wassergütestelle Elbe
10/80

Hg	Haut	Kiemen	Magen-Darm	Leber	Niere	Milz	Muskulatur	Gonaden
Haut		(177) 0,78 +)	(176) 0,71 +)	(176) 0,77 +)	(174) 0,81 +)	(150) 0,69 +)	(177) 0,78 +)	(162) 0,80 +)
Kiemen			(183) 0,89 +)	(183) 0,90 +)	(181) 0,89 +)	(155) 0,82 +)	(184) 0,89 +)	(168) 0,86 +)
Magen-Darm				(182) 0,84 +)	(180) 0,82 +)	(155) 0,89 +)	(183) 0,78 +)	(167) 0,83 +)
Leber		(n) r			(180) 0,95 +)	(154) 0,84 +)	(183) 0,84 +)	(167) 0,83 +)
Niere						(154) 0,80 +)	(181) 0,86 +)	(167) 0,86 +)
Milz							(155) 0,76 +)	(142) 0,84 +)
Muskulatur								(168) 0,84 +)
Länge	(177) -0,46 +)	(184) -0,41 +)	(183) -0,35 +)	(183) -0,37 +)	(181) -0,38 +)	(155) -0,29 +)	(184) -0,45 +)	(168) -0,34 +)
Gewicht	(177) -0,46 +)	(184) -0,46 +)	(183) -0,38 +)	(183) -0,40 +)	(181) -0,40 +)	(155) -0,33 +)	(184) -0,52 +)	(168) -0,39 +)
Alter	(100) -0,16	(101) -0,15	(101) -0,12	(100) -0,003	(98) -0,001	(93) 0,10	(101) -0,18	(94) -0,02

+) signifikant mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,1 %

Tab. 17: Korrelation zwischen den Quecksilbergehalten der Organe von Elbbrassen

lichen Organe festgestellten Quecksilbergehalte ergibt jeweils hohe Korrelationskoeffizienten (Tab. 17, Abb. 7 bis 13). Das bedeutet, daß eine enge Beziehung zwischen der Belastung der Organe zueinander besteht. Ein besonders deutlicher Zusammenhang (r = 0,95) besteht zwischen dem Quecksilbergehalt in der Niere und in der Leber (Abb. 10). Demgegenüber besteht zwischen dem Alter der untersuchten Brassen und der Höhe des Quecksilbergehaltes in den verschiedenen Organen keine signifikante Korrelation (Tab. 17, Abb. 14 und 15). Auch eine auf die Fangplätze bezogene Auswertung ergibt keine signifikante Altersakkumulation. Häufig wird davon ausgegangen, daß mit dem Alter der Fische eine zunehmende Anreicherung der Schwermetalle (z. B. von Quecksilber in der Muskulatur) stattfindet. Akkumulationsverläufe wurden im Rahmen von Forschungsarbeiten an verschiedenen Organismen (auch an Fischen), die in Hälterungen künstlich mit Schwermetallen belastet wurden, untersucht. Bei diesen in der Fachliteratur vielfach beschriebenen Versuchen wurden

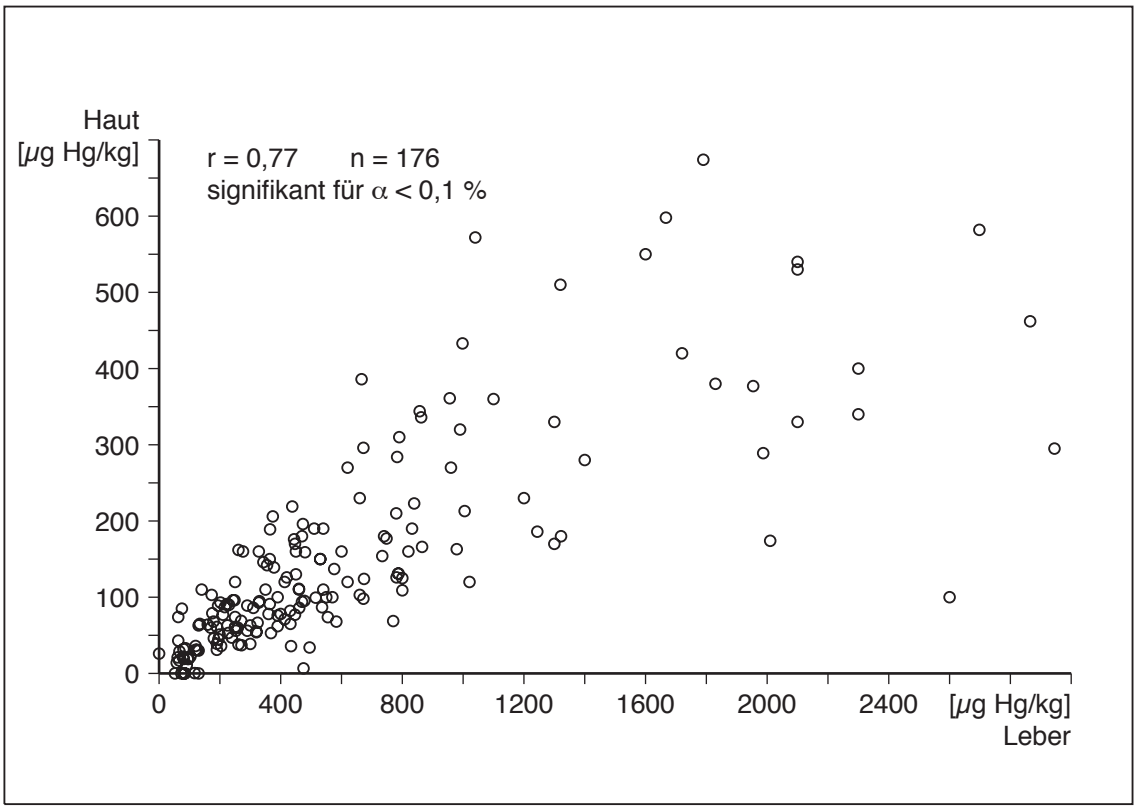


Abb. 7 : Quecksilbergehalt der untersuchten Elbbrassen
Vergleich der Organe Haut und Leber

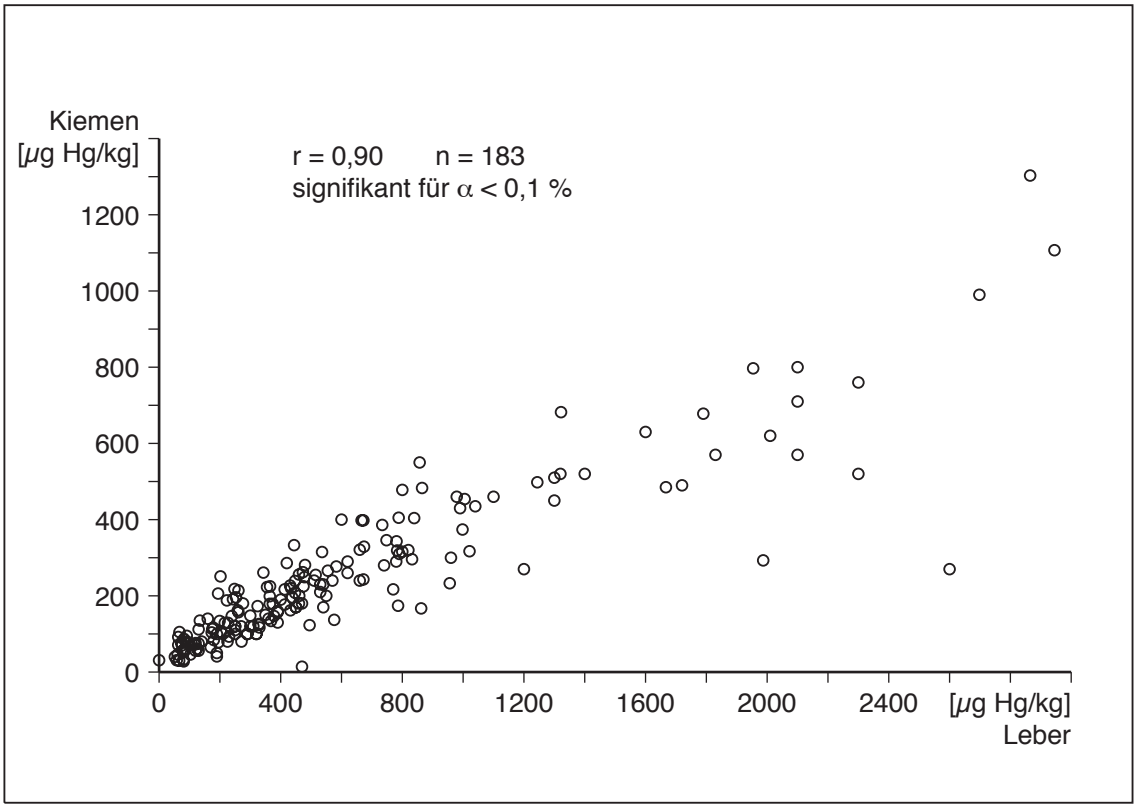


Abb. 8 : Quecksilbergehalt der untersuchten Elbbrassen
Vergleich der Organe Kiemen und Leber

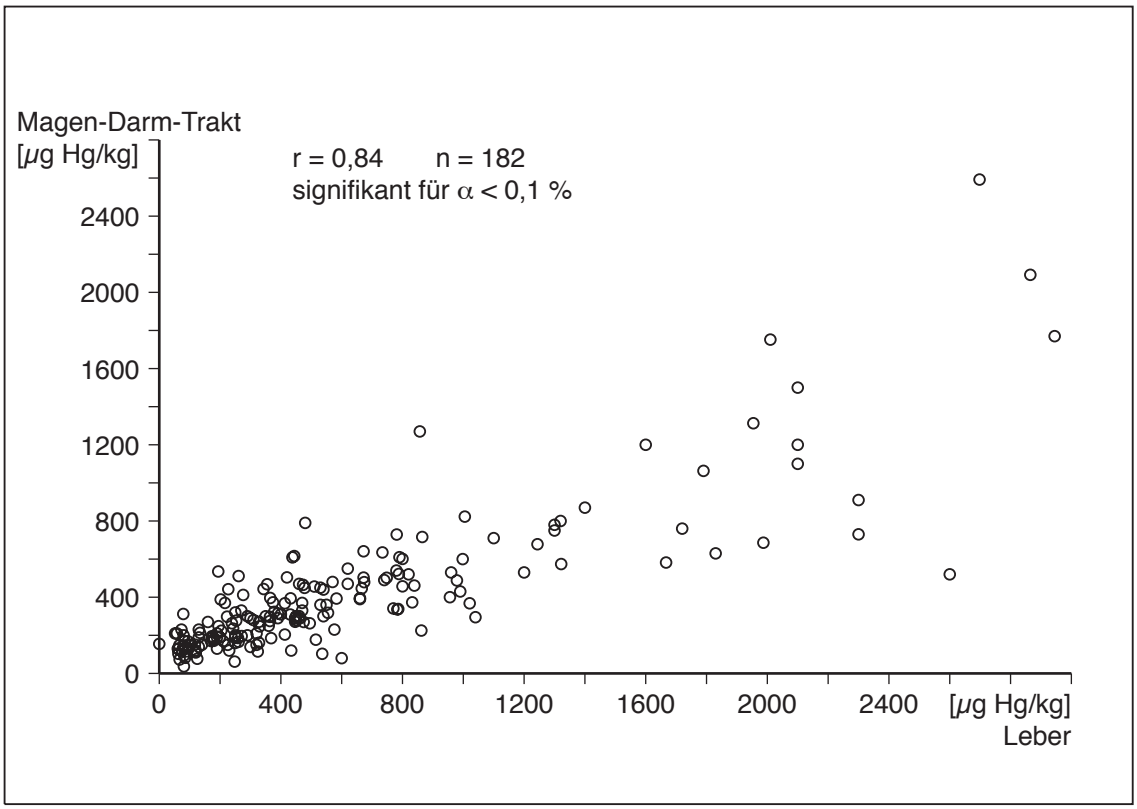


Abb. 9 : Quecksilbergehalt der untersuchten Elbbrassen
Vergleich der Organe Magen-Darmtrakt und Leber

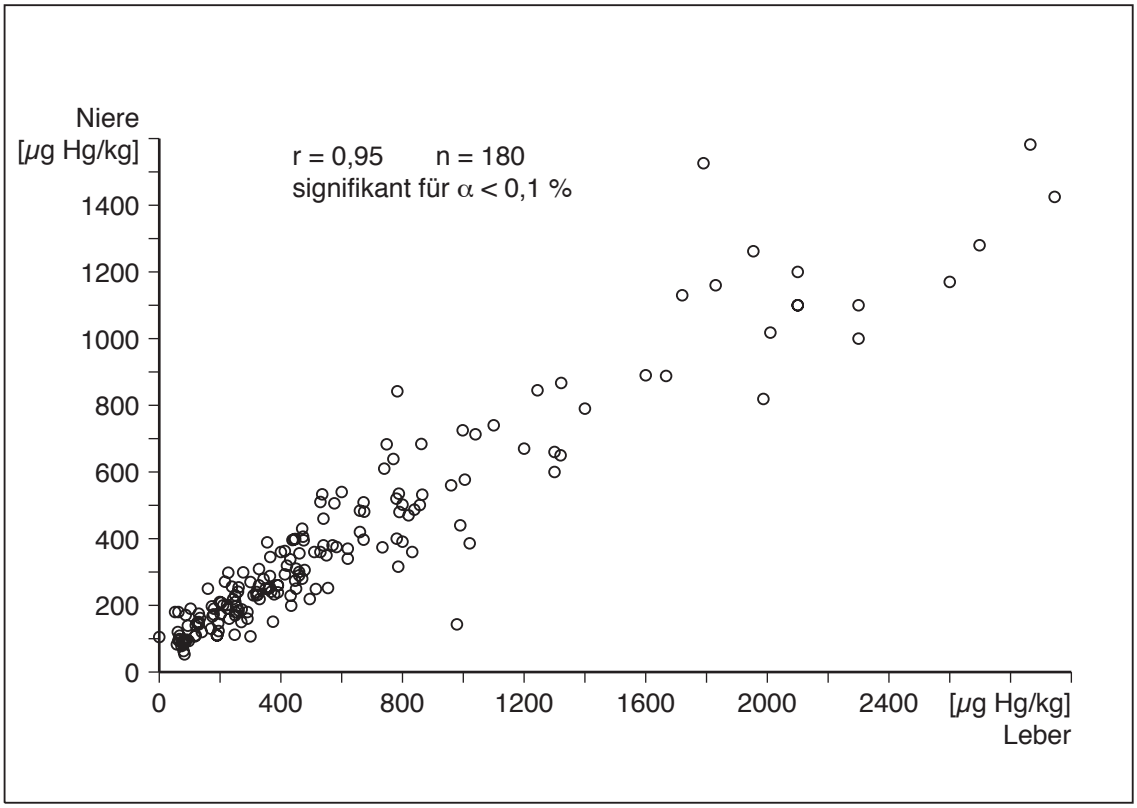


Abb. 10 : Quecksilbergehalt der untersuchten Elbbrassen
Vergleich der Organe Niere und Leber

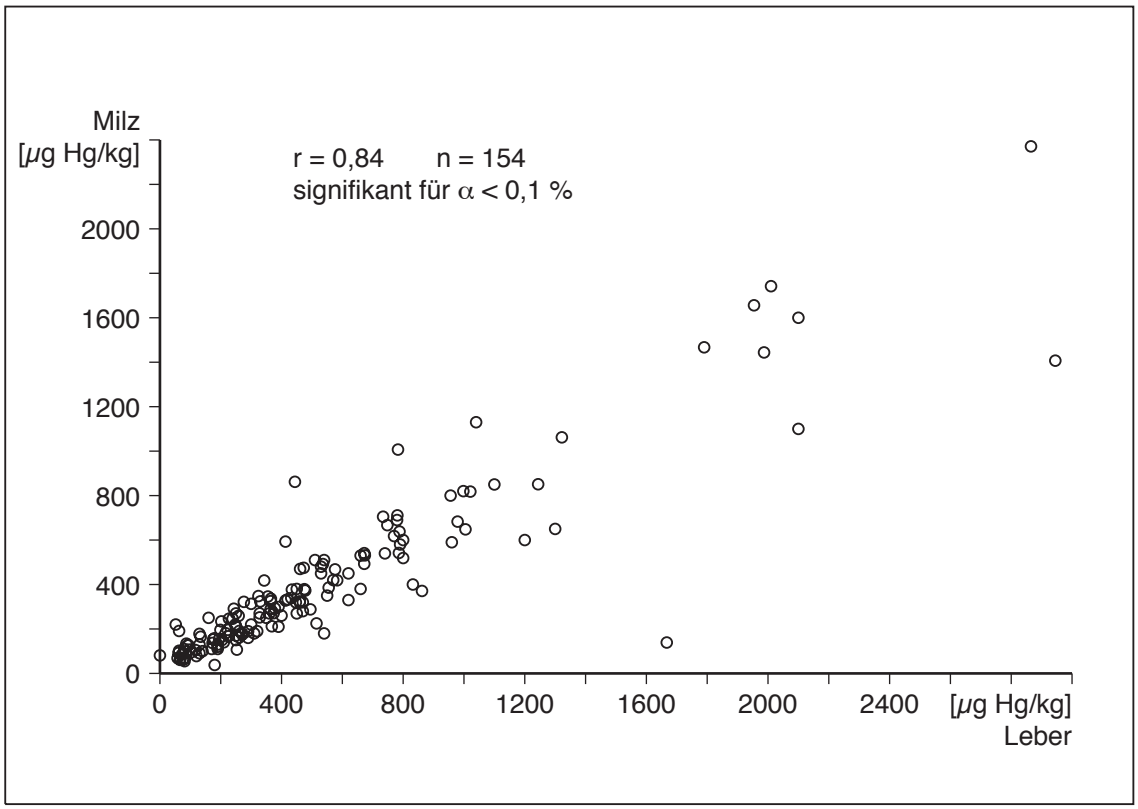


Abb. 11 : Quecksilbergehalt der untersuchten Elbbrassen
Vergleich der Organe Milz und Leber

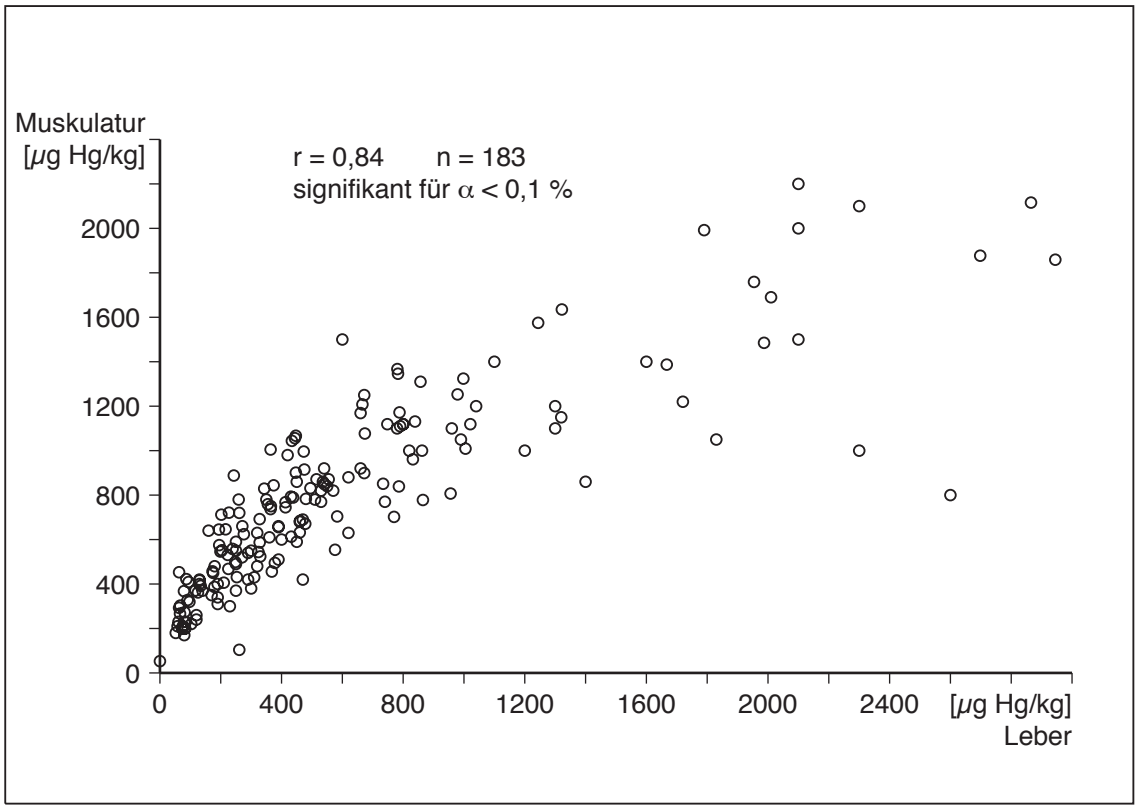


Abb. 12 : Quecksilbergehalt der untersuchten Elbbrassen
Vergleich der Organe Muskulatur und Leber

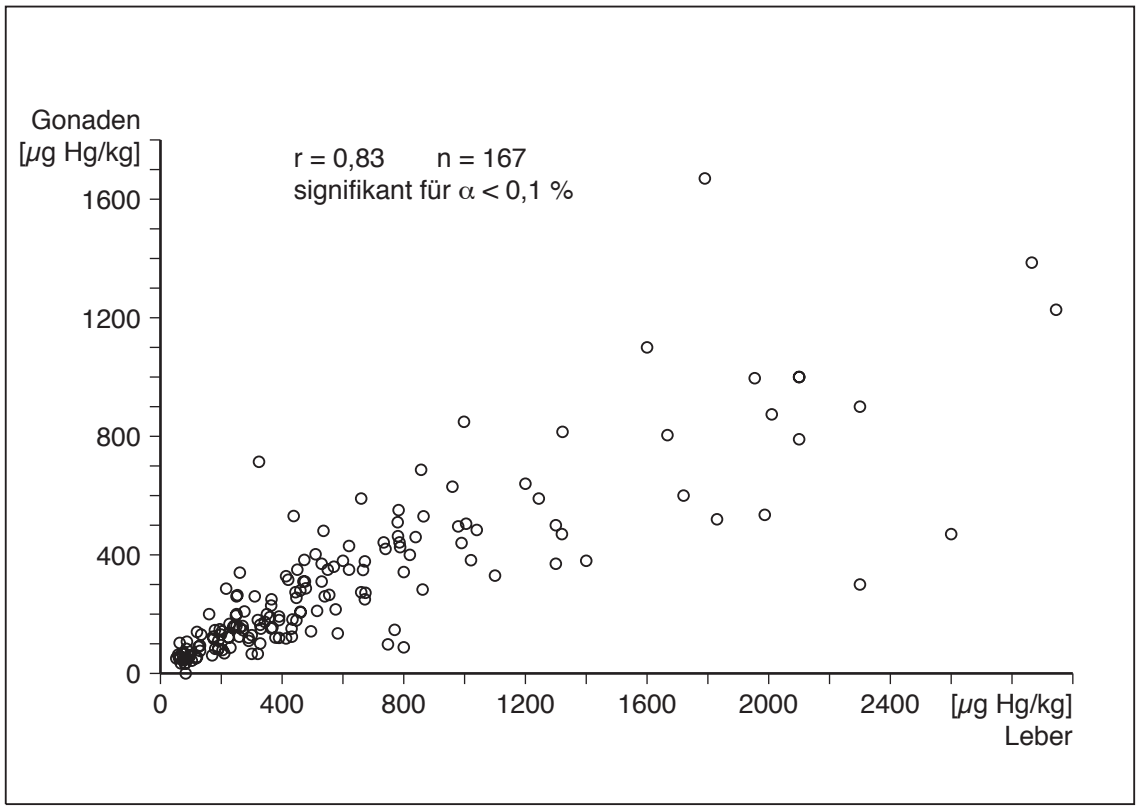


Abb. 13: Quecksilberqehalt der untersuchten Elbbrassen
Vergleich der Organe Gonaden und Leber

in der Regel gering belastete Organismen in ein hochbelastetes Milieu (z. B. Wasser) versetzt und dann der zeitliche Verlauf der Schadstoffaufnahme gemessen. Dabei wird jedoch keine Altersakkumulation, sondern die Phase der Schadstoffaufnahme bis zu einem dem Milieu entsprechenden Gleichgewichtszustand erfaßt. Die untersuchten Elbbrassen sind jedoch vermutlich von ihrem frühesten Jugendstadium an der für die Elbe typischen Belastungshöhe ausgesetzt und weisen deshalb in den verschiedenen Altersstufen dem Milieu entsprechende Belastungen auf. Aufgrund jüngerer Untersuchungen ist zu vermuten, daß der Fischorganismus wirksame Regelkreise besitzt, die die Aufnahme und Abgabe, z. B. von Schwermetallen, steuern. YEDILER [7)] hat bei Untersuchungen an Fischen ebenfalls festgestellt, daß die Zinkanreicherungen im Fischfleisch keine kausale Beziehung zu Alter, Größe, Gewicht und Geschlecht aufweisen. Die an den Elbbrassen durchgeführten Untersuchungen zeigen das gleiche Ergebnis.

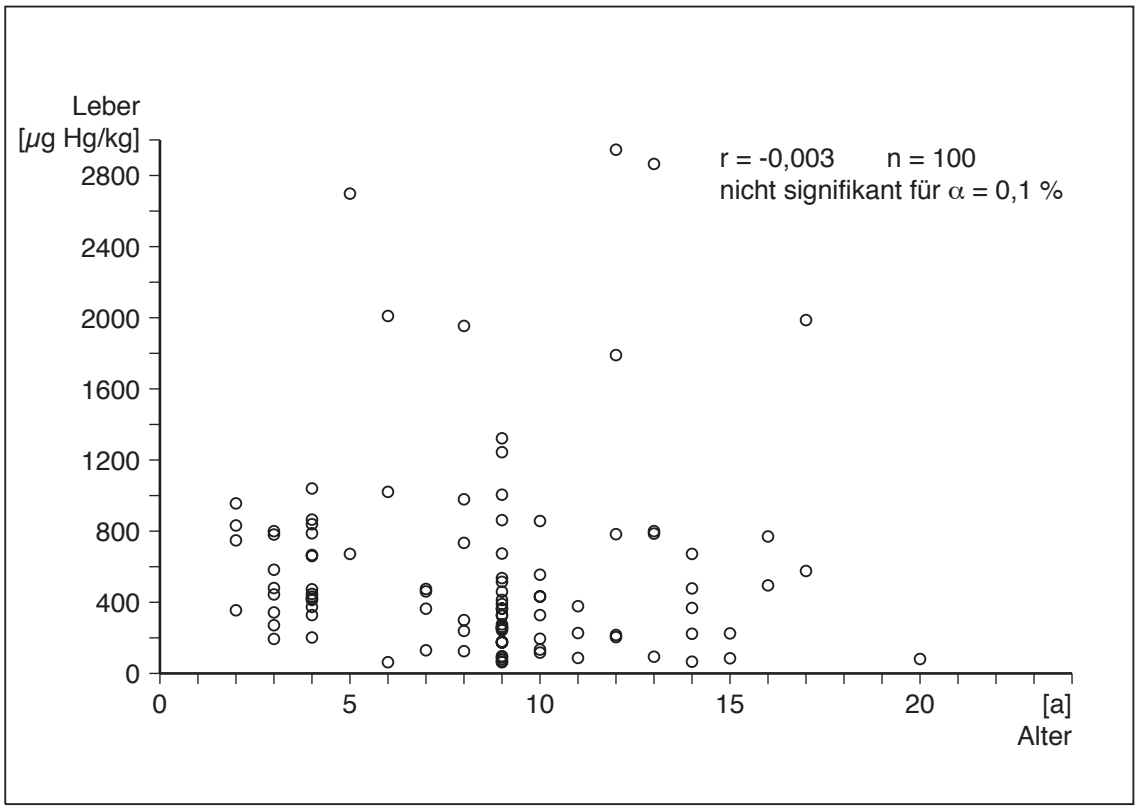


Abb. 14 : Quecksilbergehalt der Brassenlebern bezogen auf das Alter

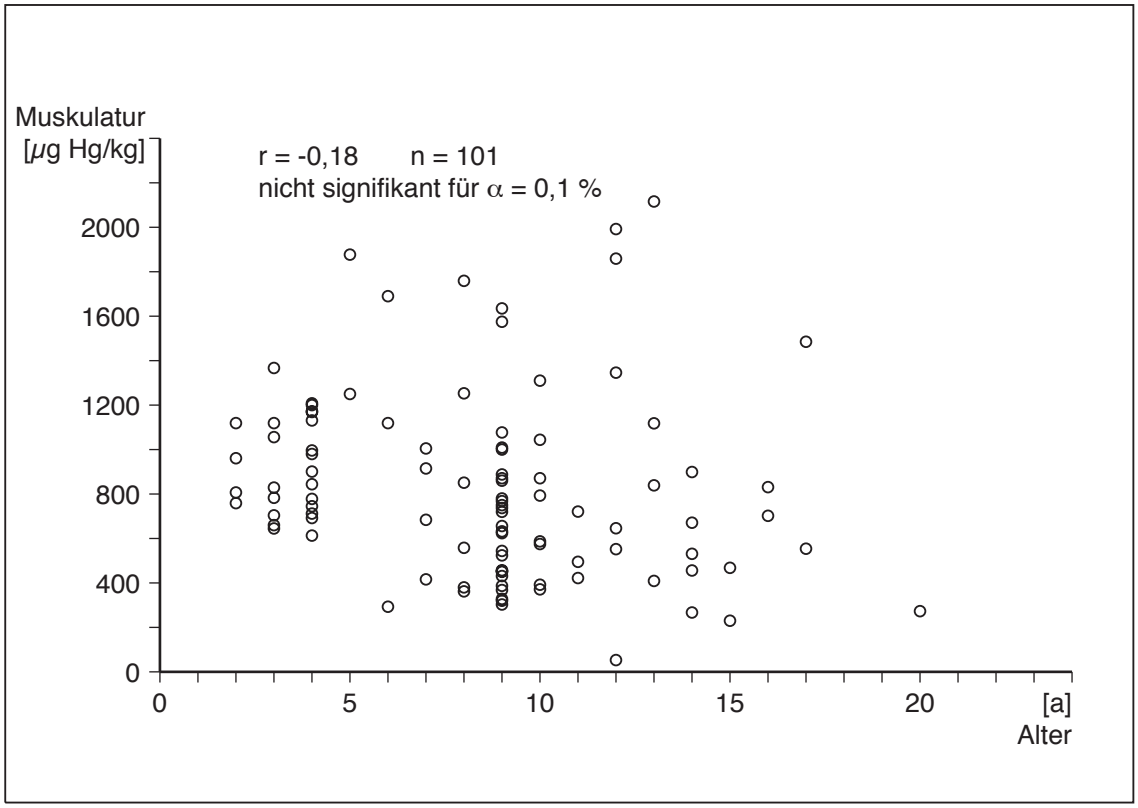


Abb. 15 : Quecksilbergehalt der Brassenmuskulatur bezogen auf das Alter

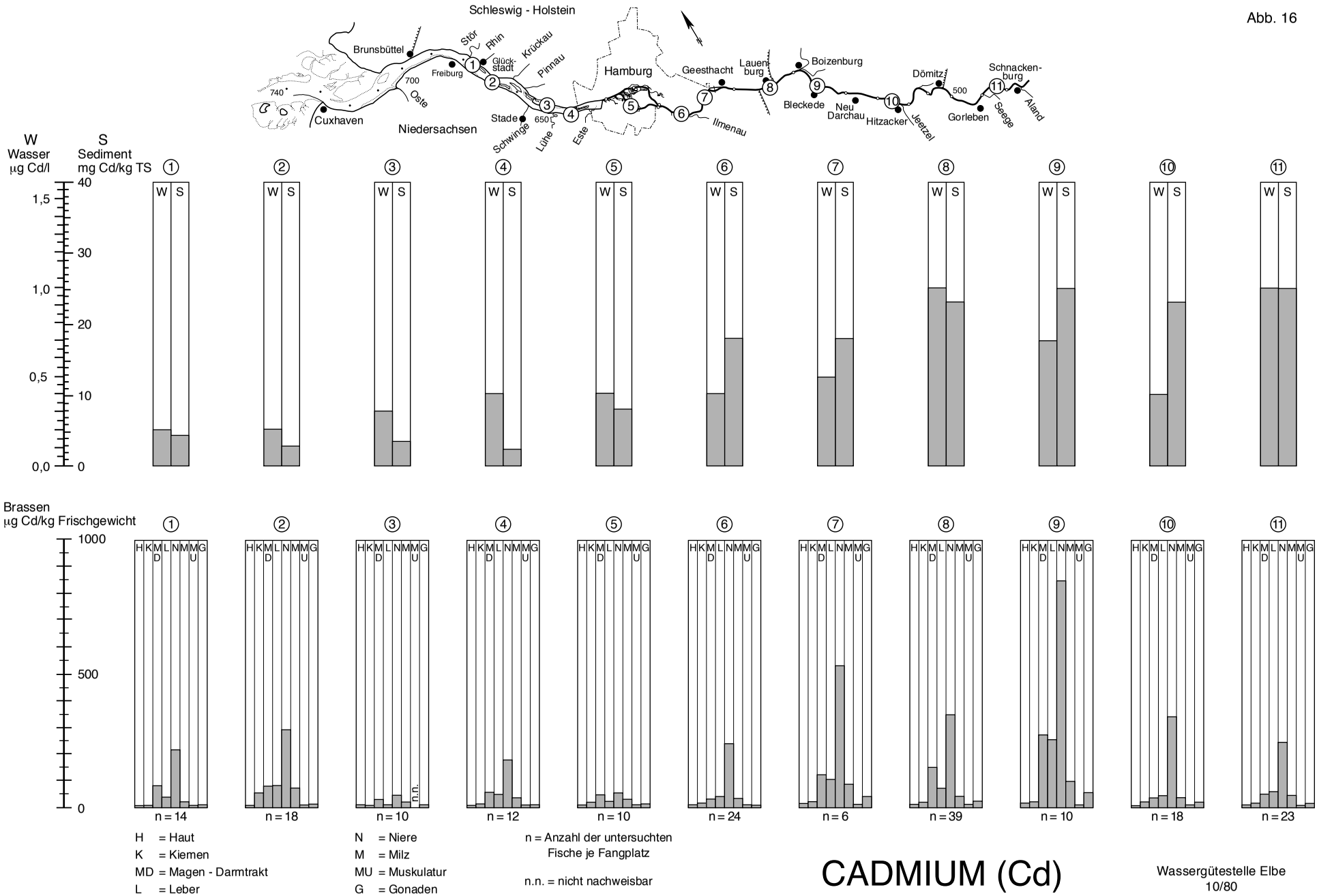
Für die Schwermetallbelastung in den Organen im Verhältnis zur Länge bzw. zum Gewicht ergeben sich negative Korrelationskoeffizienten (gegensinnige Korrelation), d.h. die längeren und schwereren Fische haben im Vergleich zu den kleineren Fischen eine signifikant geringere Quecksilberbelastung. Im Hinblick auf die Verwertung der Brassen ist die hohe Belastung der Muskulatur (= Filet) mit Quecksilber bedenklich. Laut Verordnung über Höchstmengen an Quecksilber in Fischen vom 6.2.1975 dürfen Fische nicht in den Verkehr gebracht werden, wenn in dem zum Verzehr bestimmten Teil der Fische mehr als 1 ppm (= 1000 µg Hg/kg) Quecksilber vorhanden ist. Brassen sind keine hochwertigen Speisefische und dienen deshalb in der Regel nicht dem menschlichen Verzehr.

3.4.3 Cadmiumbelastung der Brassen

Bei der Cadmiumbelastung der Brassen (Abb. 16) wurden ebenfalls die höchsten Konzentrationen in dem am stärksten belasteten Elbabschnitt Bleckede bis Altengamme festgestellt. Cadmium wird offensichtlich besonders in der Fischniere angereichert. In der Muskulatur der Brassen (= Filet) hingegen wird Cadmium nur in vergleichsweise geringem Maße gespeichert. Als höchster Einzelwert (Fangplatz 8) wurde ein Cadmiumgehalt in der Muskulatur von 17 µg/kg Frischgewicht gemessen. Dieser Wert liegt noch deutlich unter dem vom Bundesgesundheitsamt herausgegebenen Richtwert (1979) für Süßwasserfische von 50 µg Cd/kg Frischgewicht bezogen auf den verzehrbaren Anteil des Fisches.

Die statistische Auswertung der in den unterschiedlichen Organen festgestellten Cadmiumkonzentrationen (Tab. 18) weist darauf hin, daß ein deutlicher Zusammenhang (hohe Korrelationskoeffizienten) zwischen den Anreicherungen in den Organen Leber, Milz, Niere und Gonaden besteht (Abb. 17). Im Gegensatz zur Quecksilberverteilung besteht bei der Cadmiumbelastung kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Konzentrationen in der Muskulatur und in den Organen Leber, Niere, Milz (Abb. 18 und 19). Zwischen dem Alter der untersuchten Brassen und der Höhe der Cadmiumbelastung besteht - wie bei Quecksilberbelastungen - kein signifikanter Zusammenhang.

Abb. 16



H = Haut
K = Kiemen
MD = Magen - Darmtrakt
L = Leber

N = Niere
M = Milz
MU = Muskulatur
G = Gonaden

n = Anzahl der untersuchten Fische je Fangplatz

n.n. = nicht nachweisbar

CADMIUM (Cd)

Wassergütestelle Elbe
10/80

Cd	Haut	Kiemen	Magen-Darm	Leber	Niere	Milz	Muskulatur	Gonaden
Haut		(136) -0,01	(138) 0,23	(137) 0,14	(135) 0,20	(122) 0,15	(100) 0,35 +)	(117) 0,31 +)
Kiemen			(173) 0,21	(174) 0,11	(170) 0,11	(154) 0,13	(107) 0,30	(148) 0,08
Magen-Darm				(177) 0,21	(173) 0,29 +)	(158) 0,30 +)	(107) 0,35 +)	(149) 0,40 +)
Leber		(n) r			(174) 0,87 +)	(158) 0,70 +)	(107) 0,02	(150) 0,90 +)
Niere						(157) 0,68 +)	(103) 0,06	(147) 0,84 +)
Milz							(93) 0,03	(134) 0,75 +)
Muskulatur								(96) 0,10
Länge	(138) -0,12	(174) -0,16	(178) -0,13	(179) -0,05	(174) -0,10	(158) 0,04	(108) -0,13	(150) -0,14
Gewicht	(138) -0,08	(174) -0,16	(178) -0,13	(179) -0,05	(174) -0,10	(158) 0,06	(108) -0,12	(150) -0,13
Alter	(65) -0,12	(93) -0,15	(97) -0,05	(96) 0,15	(93) 0,30	(91) 0,04	(55) -0,07	(81) 0,15

+) signifikant mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,1 %

Tab. 18 : Korrelation zwischen den Cadmiumgehalten der Organe von Elbbrassen

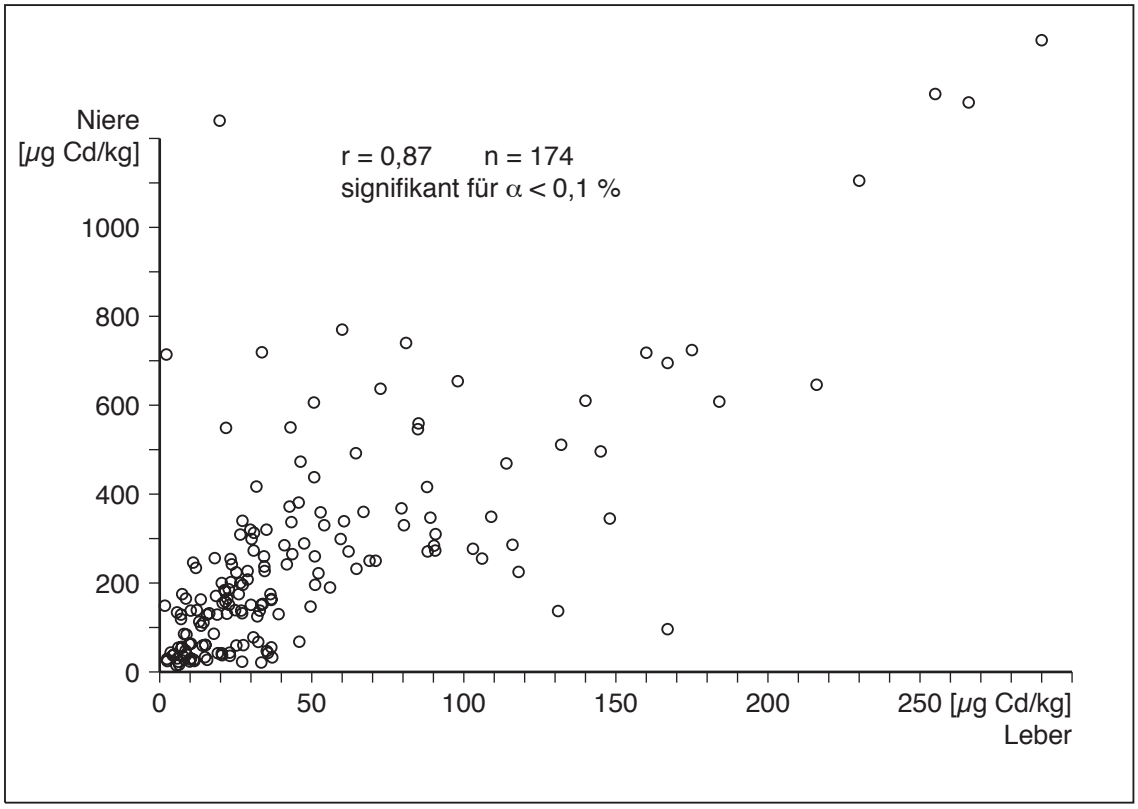


Abb. 17 : Cadmiumgehalt der untersuchten Elbbrassen Vergleich der Organe Niere und Leber

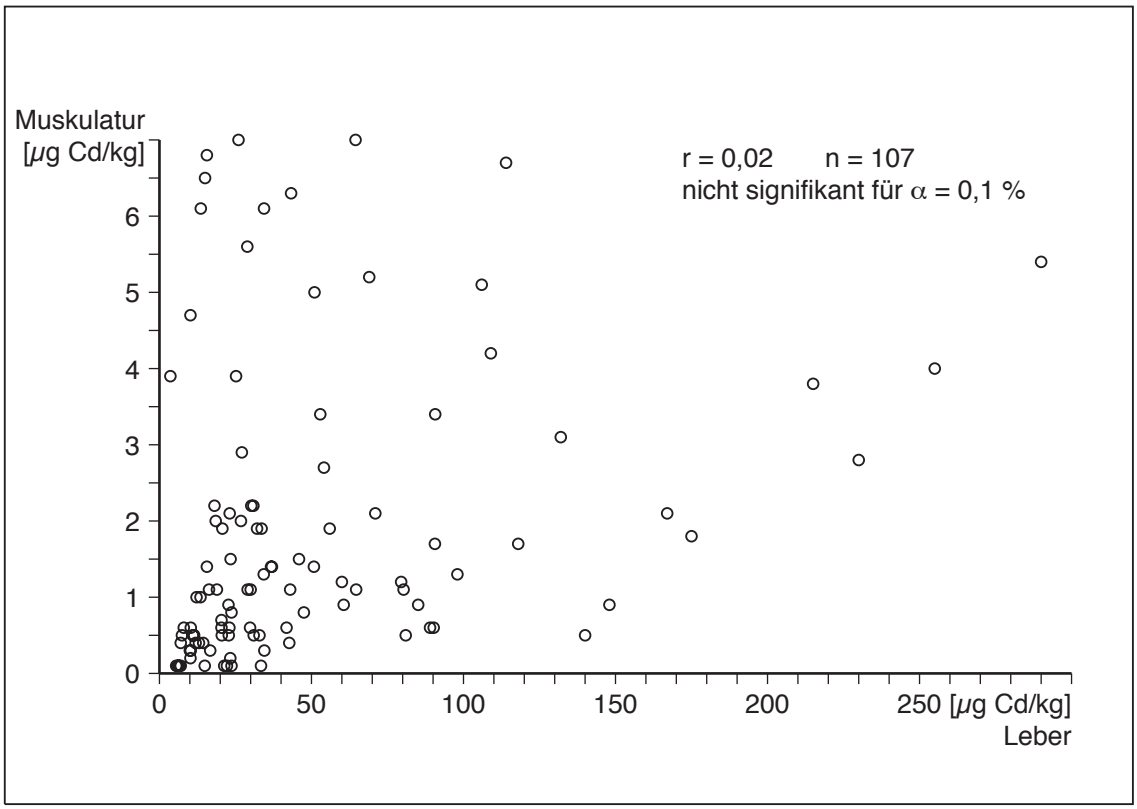


Abb. 18 : Cadmiumgehalt der untersuchten Elbbrassen
Vergleich der Organe Muskulatur und Leber

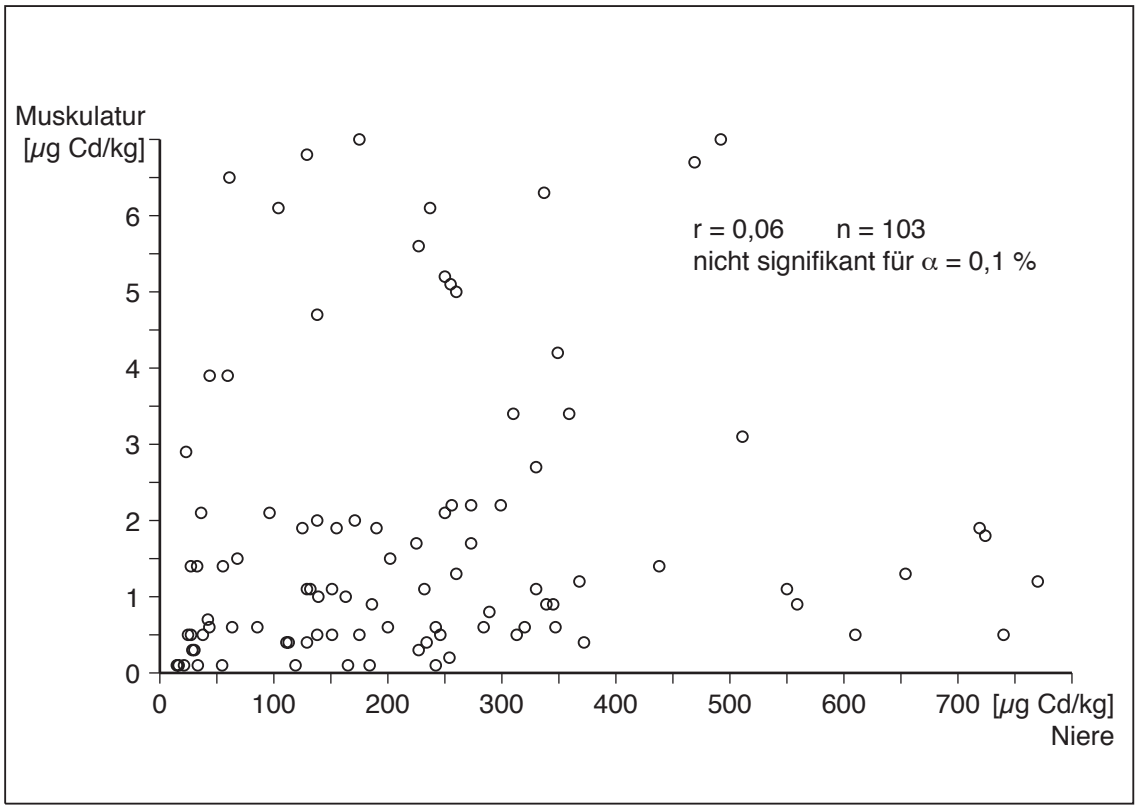


Abb. 19 : Cadmiumgehalt der untersuchten Elbbrassen
Vergleich der Organe Muskulatur und Niere

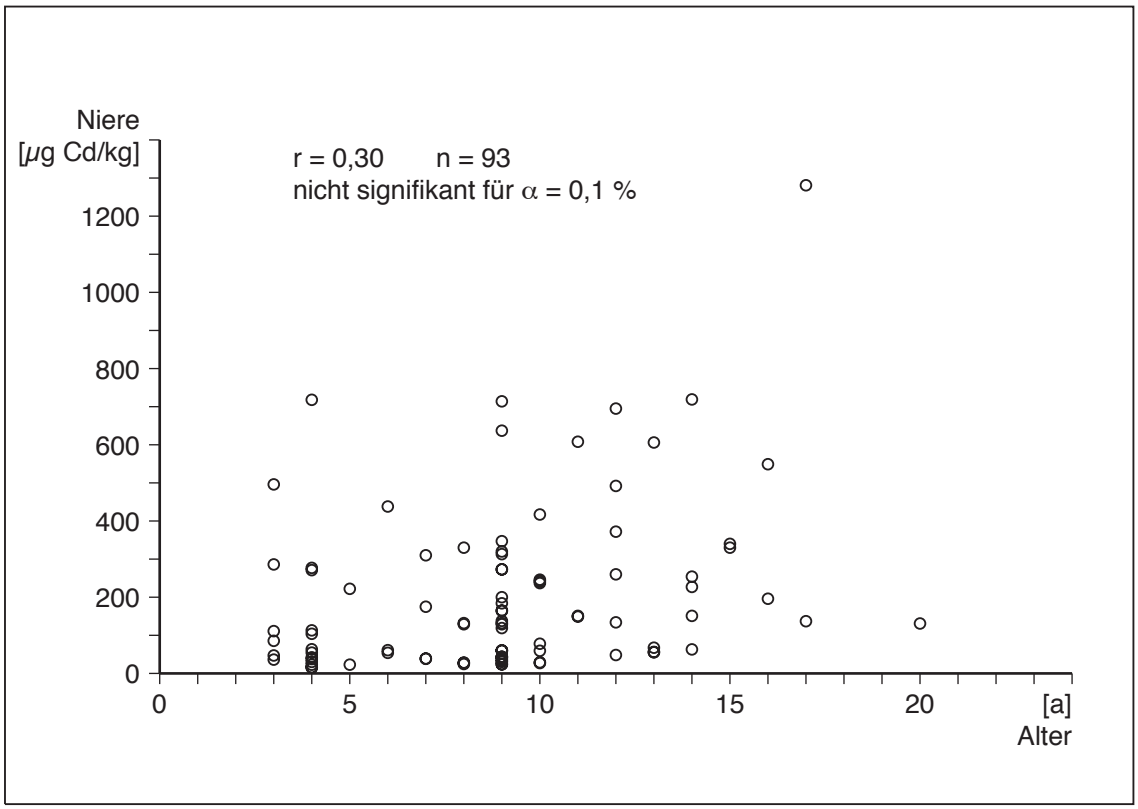
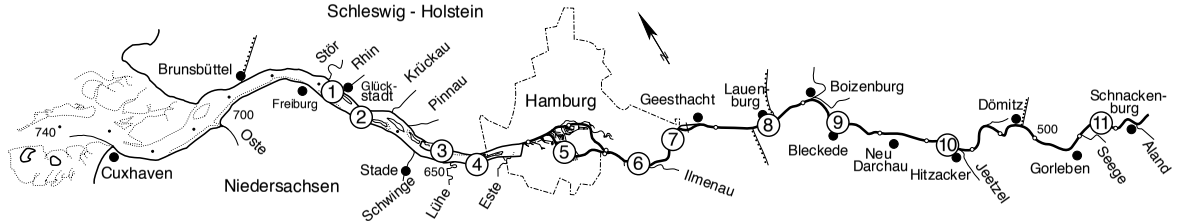


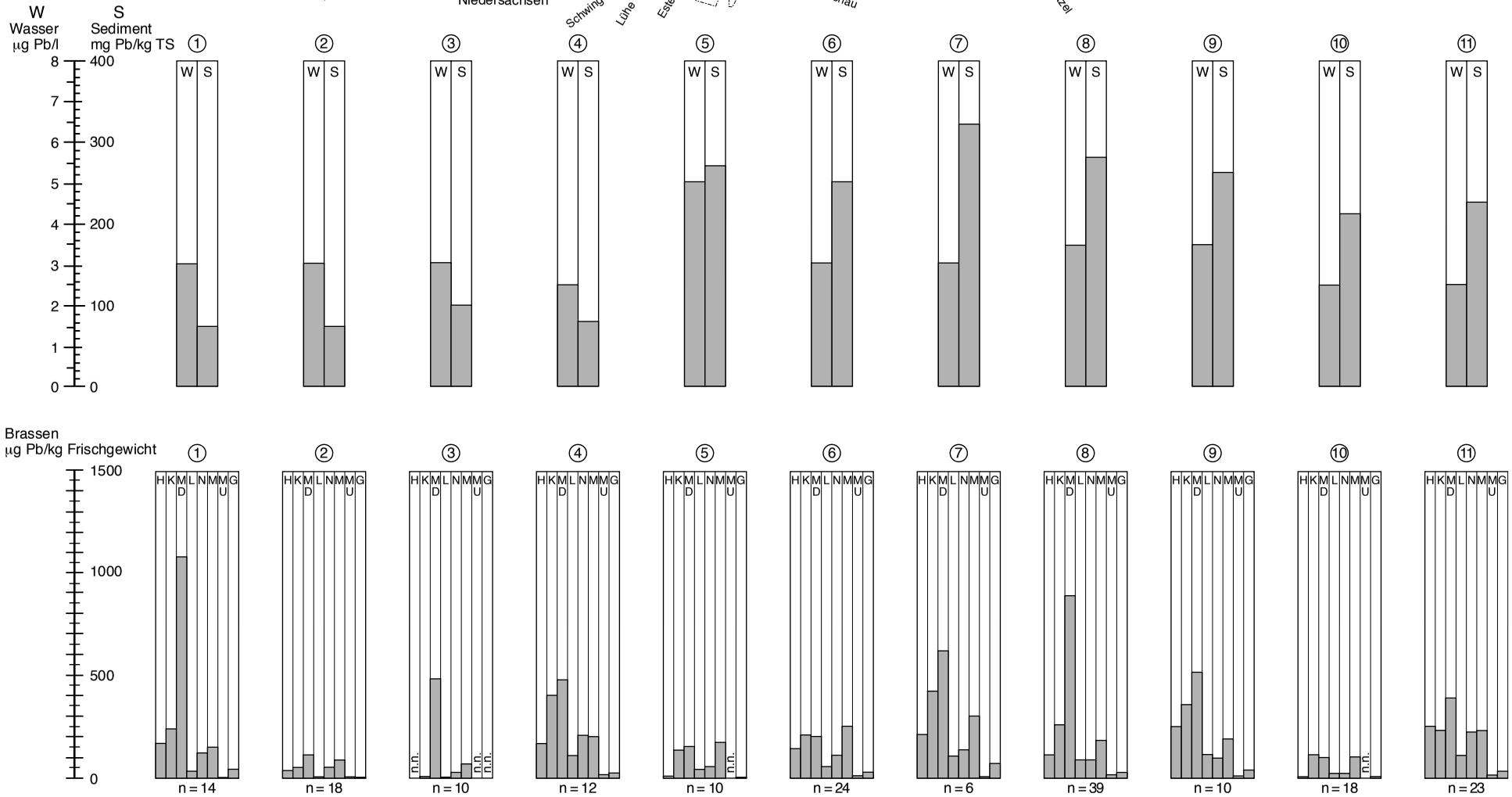
Abb. 20: Cadmiumgehalt der Brassennieren bezogen auf das Alter

3.4.4 Bleibelastung der Brassen

Die festgestellte Bleibelastung der Brassen (Abb. 21) scheint nicht in gleichem Maße wie die Quecksilber- und Cadmiumbelastung von der Höhe der jeweiligen Belastung des Sedimentes abhängig zu sein. Die höchsten Bleigehalte wies jeweils der Magen-Darmtrakt auf. Im Vergleich zu den inneren Organen Leber, Niere und Milz ist die Belastung der äußeren mit dem Elbwasser dauernd in Berührung befindlichen Organen Haut und Kiemen häufig höher. Demgegenüber ist die Bleianreicherung in der Muskulatur der Brassen (= Filet) gering. Der höchste Einzelwert für die Bleikonzentration in der Muskulatur (Fangplatz 9) lag mit 43 µg Pb/kg Frischgewicht noch deutlich unter dem vom Bundesgesundheitsamt herausgegebenen Richtwert von 500 µg Pb/kg bezogen auf den verzehrbaren Anteil des Fisches.

Abb. 21





H = Haut
K = Kiemen
MD = Magen - Darmtrakt
L = Leber

N = Niere
M = Milz
MU = Muskulatur
G = Gonaden

n = Anzahl der untersuchten Fische je Fangplatz

n.n. = nicht nacheisbar

Blei (Pb)

Wassergütestelle Elbe
10/80

Pb	Haut	Kiemen	Magen-Darm	Leber	Niere	Milz	Muskulatur	Gonaden
Haut		(130) 0,24	(127) 0,06	(128) 0,17	(128) 0,57 +)	(113) 0,14	(93) -0,09	(109) 0,10
Kiemen			(158) 0,39 +)	(147) 0,27 +)	(149) 0,18	(141) 0,13	(96) -0,05	(115) 0,35 +)
Magen-Darm				(143) 0,21	(155) 0,04	(145) 0,15	(94) 0,07	(113) 0,35 +)
Leber		(n) r			(141) 0,25	(130) 0,41 +)	(97) 0,19	(113) 0,20
Niere						(140) 0,27	(95) -0,01	(113) 0,05
Milz							(80) 0,07	(99) 0,20
Muskulatur								(87) 0,06
Länge	(130) 0,12	(164) 0,03	(170) -0,05	(149) -0,08	(158) 0,24	(150) 0,01	(97) -0,13	(115) -0,07
Gewicht	(130) 0,12	(164) 0,01	(170) -0,01	(149) -0,14	(158) 0,25	(150) -0,02	(97) -0,15	(115) -0,11
Alter	(49) 0,04	(82) -0,12	(90) 0,001	(67) 0,03	(78) 0,03	(83) 0,14	(28) -0,15	(44) -0,19

+) signifikant mit der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,1 %

Tab. 19: Korrelation zwischen dem Bleigehalt der Organe von Elbbrassen

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung (Tab. 19) weisen durch die niedrigen Korrelationskoeffizienten darauf hin, daß keine strenge Abhängigkeit zwischen den Bleigehalten in den verschiedenen Organen besteht. Lediglich für das Belastungsverhältnis der Organe Leber zu Milz, Kiemen zu Magen-Darm, Kiemen zu Gonaden und Magen-Darm zu Gonaden besteht eine schwache signifikante Korrelation. Zwischen der Belastung der Organe Haut und Muskulatur sowie Magen-Darm und Muskulatur besteht kein signifikanter Zusammenhang (Abb. 22 und 23). Auch für die Bleibelastung der Brassen konnte keine Altersabhängigkeit festgestellt werden (niedrige Korrelationskoeffizienten).

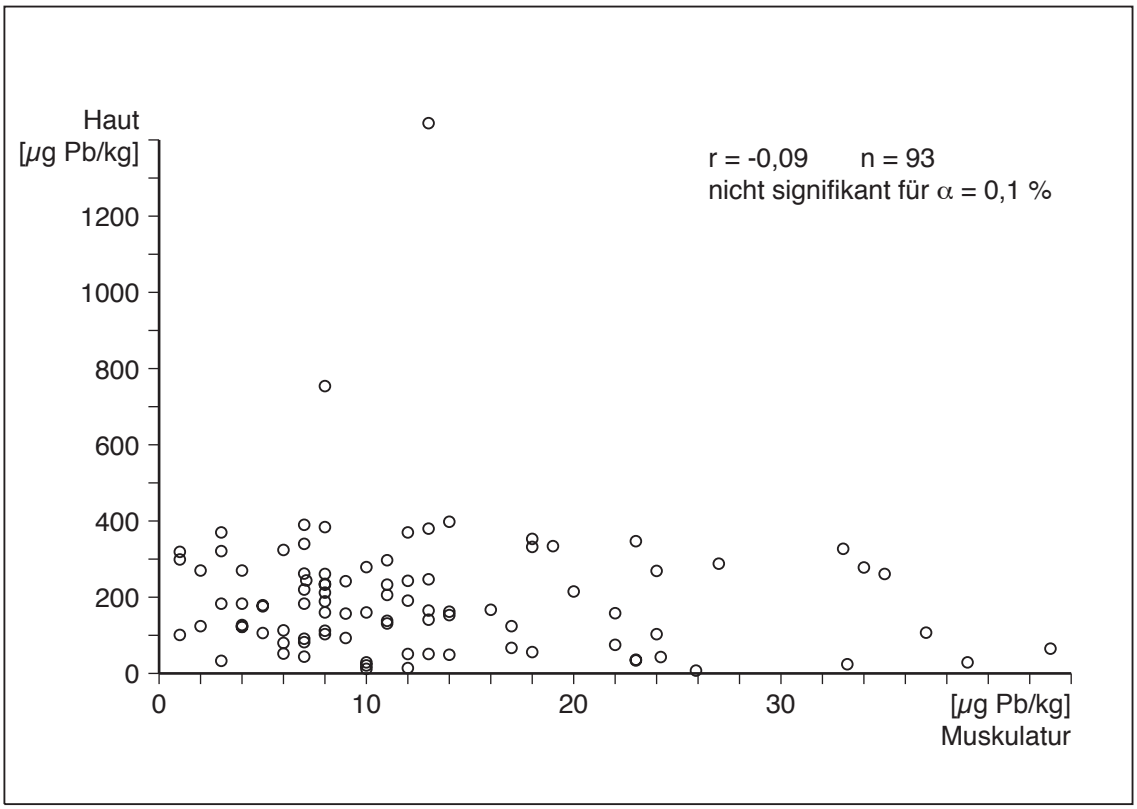


Abb. 22 : Bleigehalt der untersuchten Elbbrassen
Vergleich der Organe Haut und Muskulatur

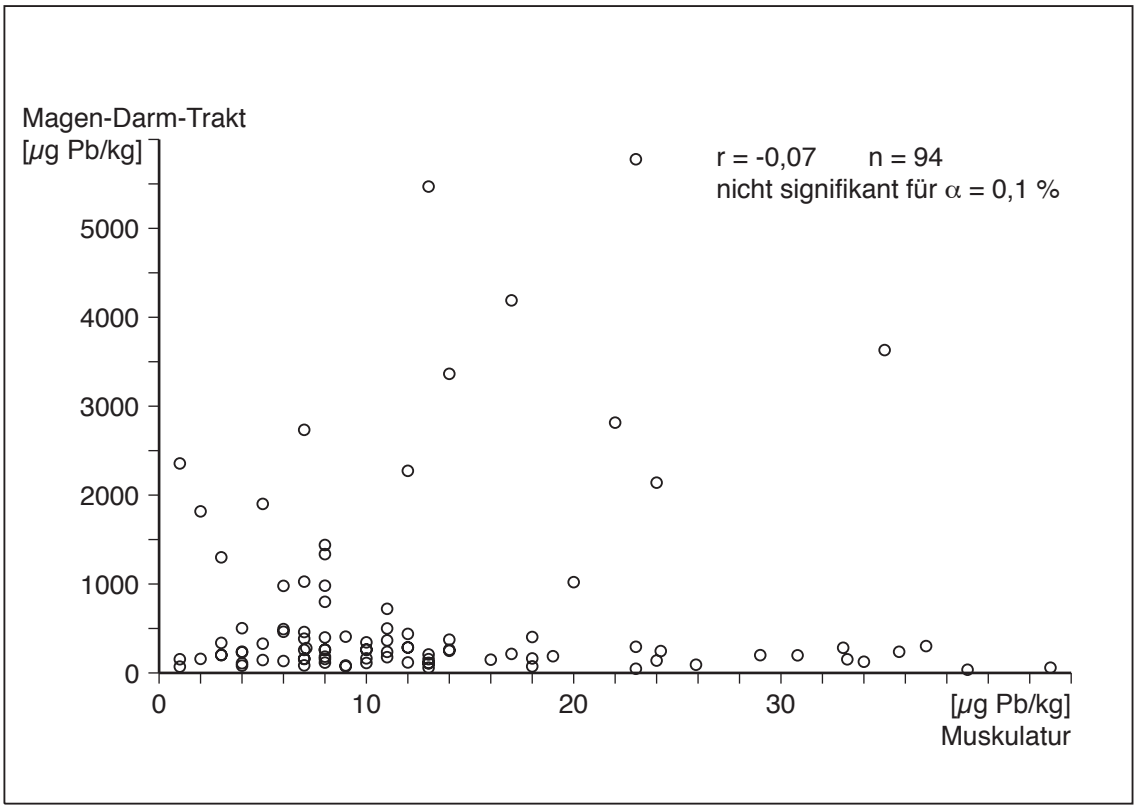


Abb. 23 : Bleigehalt der untersuchten Elbbrassen
Vergleich der Organe Magen-Darmtrakt und Muskulatur

4. Zusammenfassung

Schwermetalle kommen als Spurenstoffe in der natürlichen Umwelt - Luft, Wasser, Boden und Nahrung - vor. Der Mensch benötigt mindestens zehn Metalle, z. B. Eisen, Zink und Kupfer in zum Teil sehr verschiedenen Mengen für den geordneten Ablauf biochemischer Stoffwechselprozesse. Eine zu hohe Schwermetallzufuhr kann jedoch zu gravierenden Schädigungen des Organismus fuhren. Aus diesem Grunde ist es erforderlich, die Schwermetallbelastung der Umwelt systematisch zu überwachen. Als Beispiel für die Gefahren, die durch hohe Schwermetallbelastungen entstehen können, sind die in Japan durch Einleitungen von Quecksilberverbindungen und durch Cadmium-Auswaschungen aus dem Abraum eines Zinkbergwerkes aufgetretenen schweren Vergiftungen in das Licht der Öffentlichkeit gerückt.

Die Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe (ARGE ELBE) hat 1979/80 eine systematische Untersuchung über die Schwermetallbelastung der Elbe durchgeführt. Hierbei wurden die Konzentrationen der Schwermetalle Quecksilber, Cadmium, Blei, Zink, Kupfer, Arsen und Chrom im Elbwasser und in den Elbsedimenten im gesamten Flußabschnitt von Schnackenburg bis Scharhörn untersucht. Zusätzlich wurden die Quecksilber-, Cadmium-und Bleigehalte in acht verschiedenen Organen von Elbbrassen bestimmt. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse ergibt sich für die Belastung der Elbe mit Schwermetallen folgende Beurteilung:
Die Elbe ist hochgradig mit Schwermetallen aus dem Gebiet oberhalb von Schnackenburg vorbelastet. Dies ergaben die Berechnungen der Schwermetallfrachten, die an Hand von Sondermessungen bei Schnackenburg (Abschn. 3.2.1) ermittelt wurden. Im Bereich der Tideelbe von Geesthacht bis Scharhörn (Abschn. 3.2.2) lagen im Mittel die Schwermetallkonzentrationen des unfiltrierten Elbwassers unterhalb der für Trinkwasser geltenden Richtwerte. Die Quecksilberkonzentrationen wiesen im Vergleich zu den anderen untersuchten Metallen starke Schwankungen auf. Vereinzelt wurden bei Cuxhaven und Scharhörn für Quecksilber und Cadmium extrem hohe Werte gemessen.

Die Schwermetalle sind zum Teil an Schwebstoffe angelagert. Aus diesem Grunde wurden die höchsten Schwermetallkonzentrationen im Sediment in turbulenzarmen Zonen (z. B. Buhnenfeldern), in denen die Schwebstoffe bei niedrigen Abflüssen sedimentieren, im Abschnitt Schnackenburg bis Hamburg festgestellt. In weiter landeinwärts liegenden Bereichen, z. B. in den Mündungen der Nebenflüsse, wiesen die Sedimente niedrigere Gehalte auf. Die Sedimentprobenentnahme I wurde im

Oktober/November 1979 nach einer Periode niedriger Abflüsse (Abb. 2) durchgeführt. Eine weitere Sedimentuntersuchung erfolgte nach dem Abfluß von drei ausgeprägten Hochwasserwellen im Juni/Juli 1980, um eine evtl. Veränderung der belasteten Sedimente zu erfassen. Bei hohen Oberwasserabflüssen (Überströmung der Buhnen) werden die in den Buhnenfeldern abgelagerten belasteten Sedimente größtenteils wieder aufgewirbelt und stromab in die Tideelbe unterhalb von Geesthacht transportiert. Hierdurch ist die hohe Schwermetallbelastung im Abschnitt Geesthacht bis Hamburg zu erklären. Im anschließenden Hamburger Stromspaltungsgebiet zeigen alle untersuchten Proben eine deutliche Abnahme der Schwermetallgehalte an. In der Unterelbe unterhalb von Hamburg lagen die Schwermetallkonzentrationen im Sediment um das Fünf- bis Zehnfache niedriger als im oberen Elbabschnitt. Im Einflußbereich der an der Unterelbe angesiedelten Industrie bei Stade / Bützfleth und Brunsbüttel wurden keine im Vergleich zur Umgebung erhöhten Schwermetallgehalte festgestellt. Die signifikante Abnahme der Schwermetallgehalte im Hamburger Bereich ist durch die besonderen hydrologischen Verhältnisse im Stromspaltungsgebiet zu erklären. Zwischen den großen an die Elbarme angeschlossenen Hafenbecken und der Elbe findet bei jeder Tide ein erheblicher Wasseraustausch statt. Aufgrund der geringen Strömungen in den Hafenbecken lagern sich die mitgeführten schwermetallhaltigen Schwebstoffe in diesen Zonen in verstärktem Maße ab und müssen regelmäßig durch Baggerungen beseitigt werden. Somit verringert sich im Unterelbebereich der Anteil der aus dem oberen Elbabschnitt mitgeführten Schwebstoffe und damit auch der Schwermetallgehalte. Der dennoch recht hohe Schwebstoffgehalt unterhalb Hamburgs wird u.a. durch Aufwirbelung des dortigen Sediments infolge des starken Ebbe- und Flutstromes verursacht. Zusätzlich führen Organismen, die in natürlicher Weise beim Aufeinandertreffen vom limnischen und marinen Milieu in großem Umfang absterben, zur Ausbildung von sogenannten Trübungswolken. Eine Abnahme der Schwermetallgehalte im Brackwasserbereich läßt sich auch durch Mischungseffekte zwischen Elbwasser und Meerwasser sowie Elb-Schwebgut und Nordsee-Schwebgut erklären. Es ist denkbar, daß darüber hinaus ein Anteil der durch Sorption an das Schwebgut gebundenen Schwermetalle durch das hohe Kationenangebot des Meerwassers an dieses abgegeben wird. Diesem Prozeß dürfte jedoch eine untergeordnete Bedeutung zukommen.

Im Vergleich zum natürlichen „Tongestein-Standard“ (s. S. 31) ist das Elbsediment im Abschnitt Schnackenburg bis Hamburg insbesondere mit Quecksilber und Cadmium hochgradig belastet. In welchem Maße die hohe Belastung auf natürliche Auswa-

schungen von Schwermetallen im Oberlauf („Erzgebirge“) und welcher Anteil auf anthropogene Einträge zurückzuführen ist, kann aufgrund der bisher vorliegenden Daten nicht sicher beurteilt werden. Es ist vorgesehen, durch die zusätzliche Untersuchung von älteren, tieferliegenden Sedimenten die natürliche Belastung, wie sie in der Zeit vor der Verwendung von Schwermetallen durch den Menschen bestanden hat, zu ermitteln.

Als biologischer Indikator für die Schwermetallbelastung wurde die Fischart Brassen untersucht. Brassen sind im Gegensatz zu Fischen, die große Wanderungen durchführen (z. B. Aal), verhältnismäßig ortstreu. Die in den verschiedenen Fischorganen festgestellten Schwermetallkonzentrationen, insbesondere Quecksilber (Abschn.3.3.4), zeigen einen deutlichen Bezug zu der Schwermetallbelastung des Sedimentes im Bereich des Fangplatzes an. Aus dem hochbelasteten Elbabschnitt oberhalb von Hamburg stammende Brassen weisen deutlich höhere Quecksilbergehalte auf als die aus der Unterelbe stammenden Fische. Die Befunde der Brassen von den Fangplätzen oberhalb von Hamburg sind kennzeichnend für eine hochgradige Belastung mit Quecksilber. An den Fangplätzen 5, 6 und 11 wurden jeweils nur bei einigen Fischen Quecksilbergehalte in der Muskulatur von mehr als 1000 µg Hg/kg Frischgewicht festgestellt. An den Stationen Altengamme, Lauenburg und Bleckede lag im Mittel die Quecksilberkonzentration über 1000 µg Hg/kg Frischgewicht. Nach der Verordnung über Höchstmengen an Quecksilber in Fischen vom 6.2.1975 dürfen Fische nicht in den Verkehr gebracht werden, wenn in dem zum Verzehr bestimmten Teil der Fische mehr als 1000 µg Hg/kg vorhanden ist. Die für die Muskulatur (= Filet) festgestellten Befunde lagen zum Teil erheblich über diesem Höchstwert. Demgegenüber wurden die vom Bundesgesundheitsamt herausgegebenen Richtwerte für Cadmium (50 µg Cd/kg) und für Blei (500 µg Pb/kg), bezogen auf den verzehrbaren Anteil, in keinem Fall überschritten. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß Cadmium vor allem in der Fischniere angereichert wird. Die an den Brassen ermittelten Schwermetallbelastungen sind nicht für andere Elbfischarten repräsentativ, da die Höhe der Belastung von den jeweiligen Lebensgewohnheiten der Elbfische (z. B. Wanderungen, Nahrungsgrundlage etc.) abhängt.

Zusammenfassend ist aufgrund der vorliegenden Ergebnisse festzustellen, daß die Schwermetallbelastung der Elbe in überwiegendem Maße aus dem Gebiet oberhalb der Bundesrepublik Deutschland stammt. Besonders kritisch ist die hochgradige Belastung mit Quecksilber.

5. Schrifttum

1. Förstner, U./Müller, G. — Schwermetalle in Flüssen und Seen, 225 S. Berlin - Heidelberg - New York Springer Verlag 1974

2. Lichtfuß, R. — Schwermetalle in den Sedimenten schleswig-holsteinischer Fließgewässer - Untersuchungen zu Gesamtgehalten und Bindungsformen. Dis., Inst. für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel 1977

3. Kruse, R. — Ein verlustfreier Aufschluß mit HNO_3, $HClO_3$/$HCLO_4$ für die Bestimmung von Gesamt-Quecksilber in Fischen. Z. Lebensm. Unters. Forsch 169, 259-262, 1979

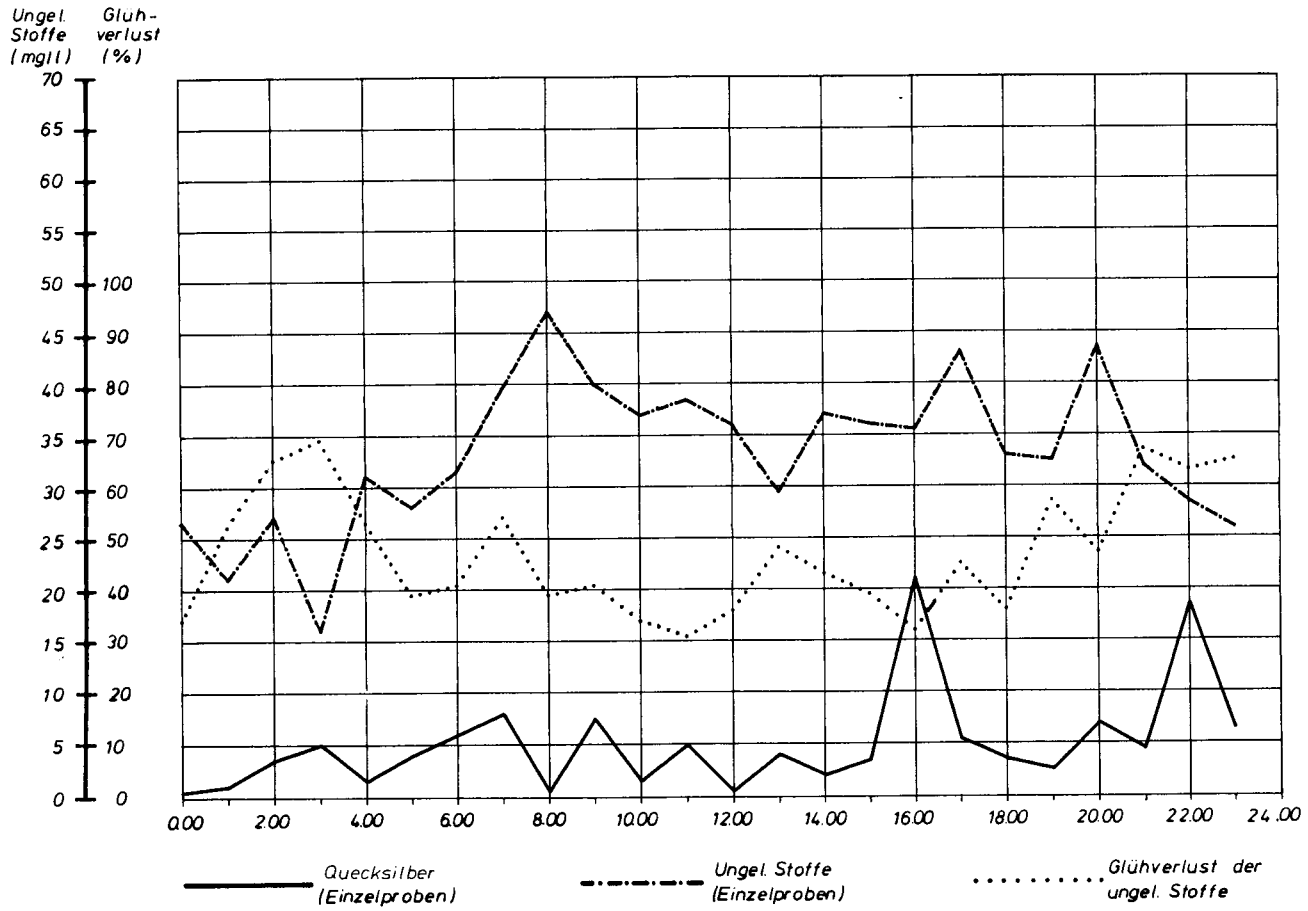
4. Rauck, G. — A new technique of sawing otoliths. International Council for the Exploration of the Sea. C.M. 1975/F : 23 Demersal Fish (Northern) Committee

5. Wachs, B. — Metallgehalt des Phyto- und Zoobenthos der Fließgewässer. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, 31, 225-267, 1979

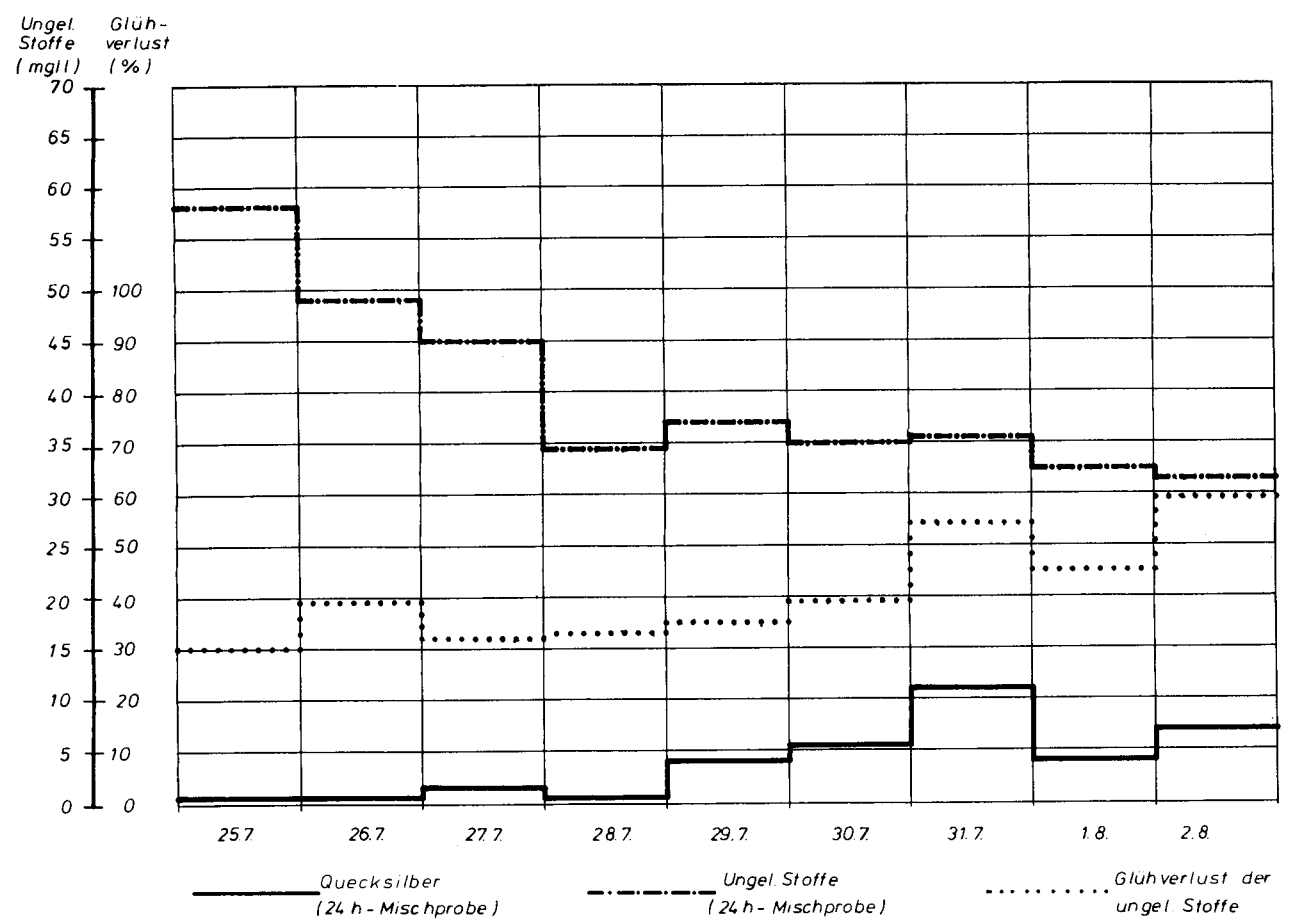
6. Förstner, U./Wittmann, G.T.W. — Metal Pollution in the Aquatic Enviroment. 486 S., Berlin - Heidelberg - New York, Springer Verlag 1979

7, Yediler, A. — Anreicherungsverhalten von Zink in Binnengewässern. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, 1978, Bd. 30

Abb. A1

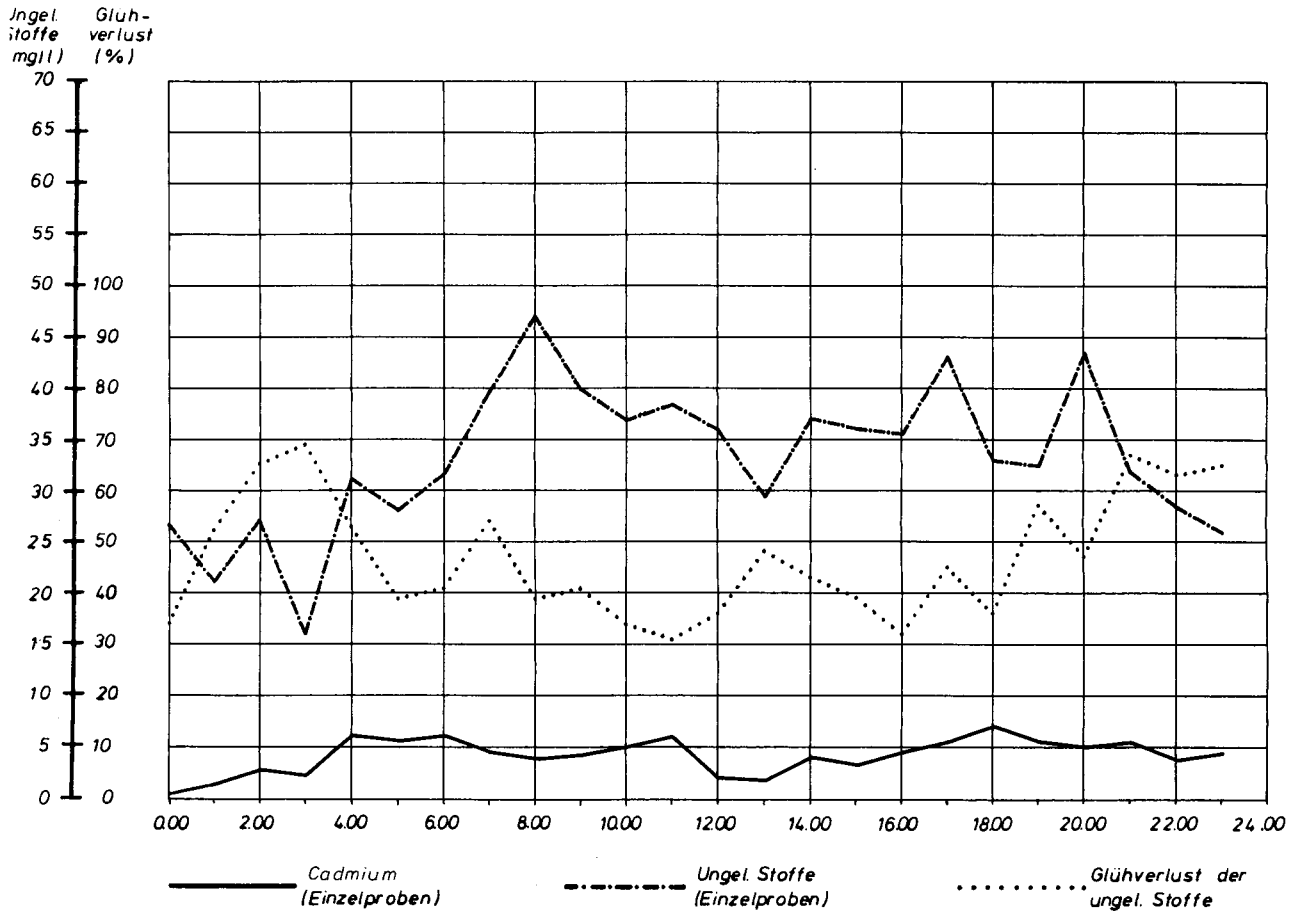


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 30.7.1979

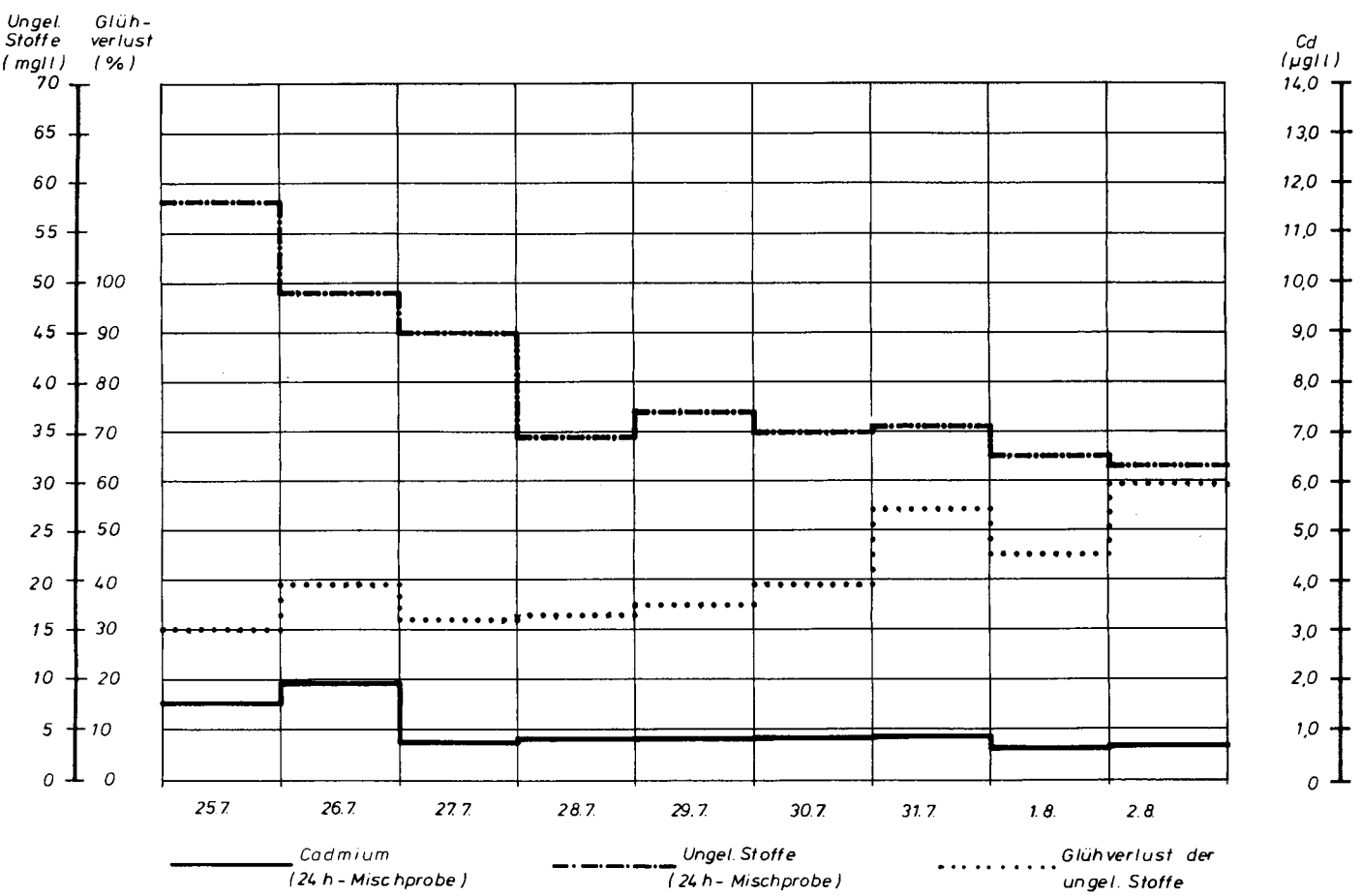


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 25.7. - 2.8.1979

Abb. A 2

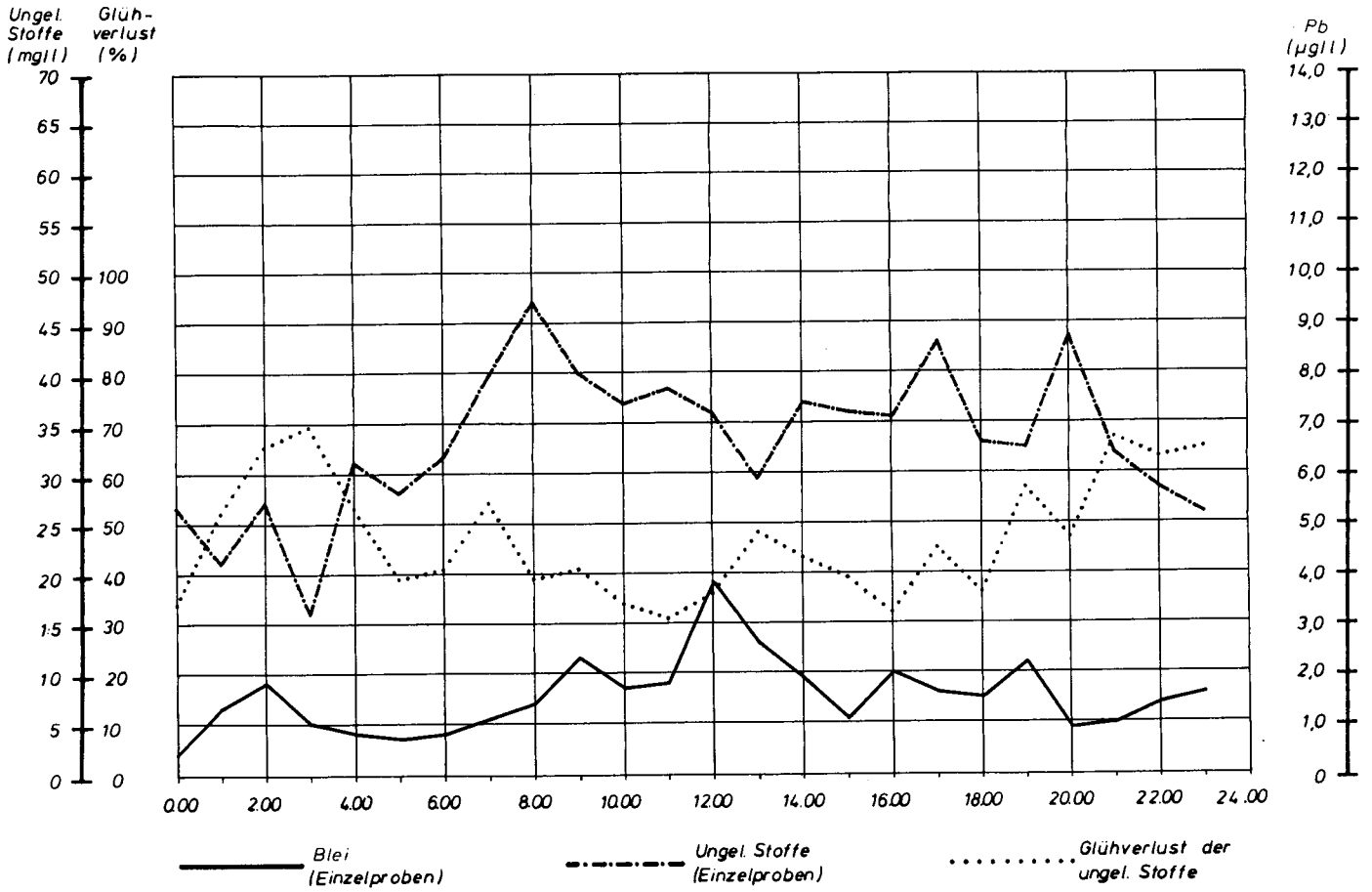


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 30.7.1979

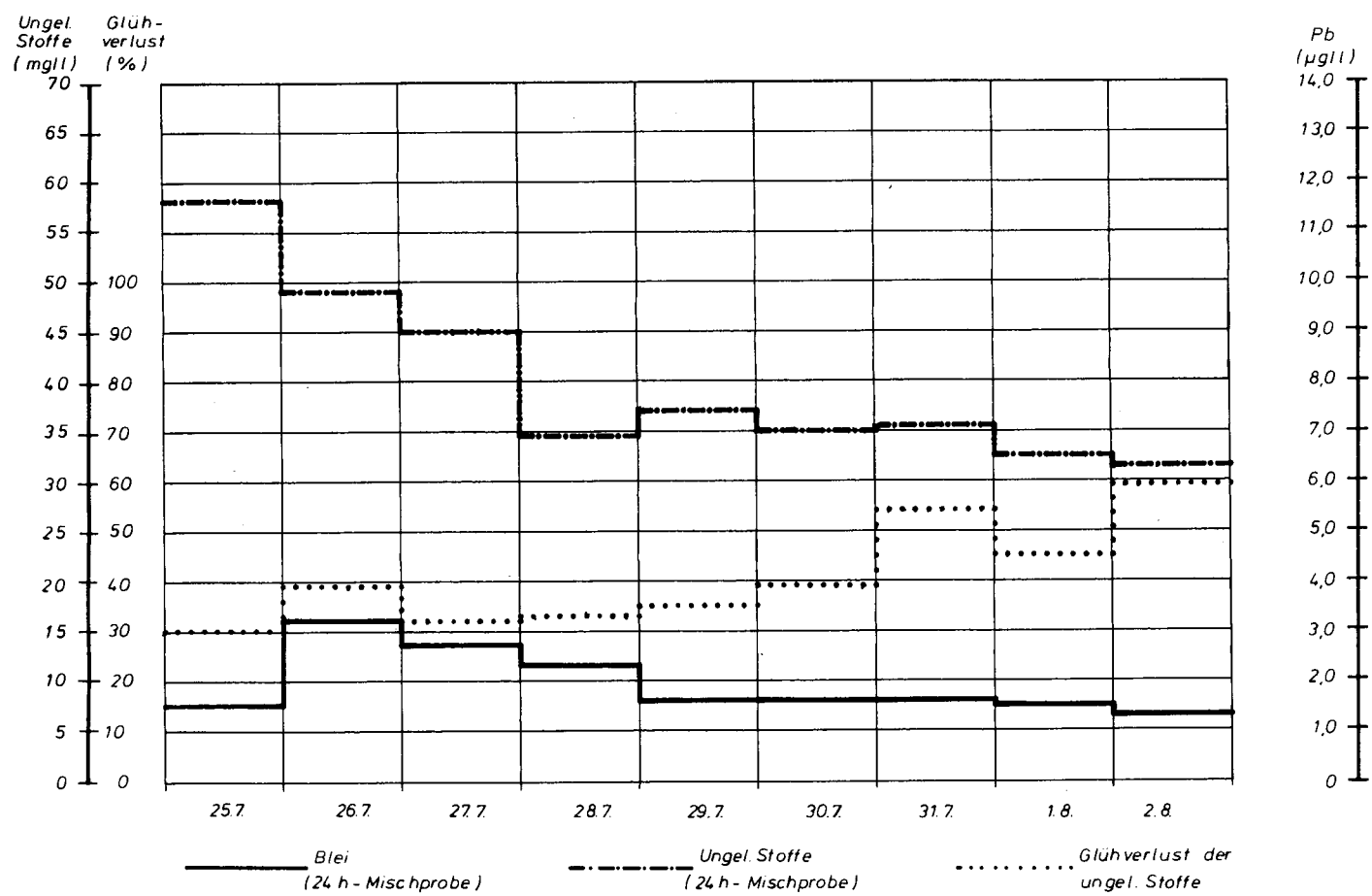


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 25.7. - 2.8.1979

Abb. A3

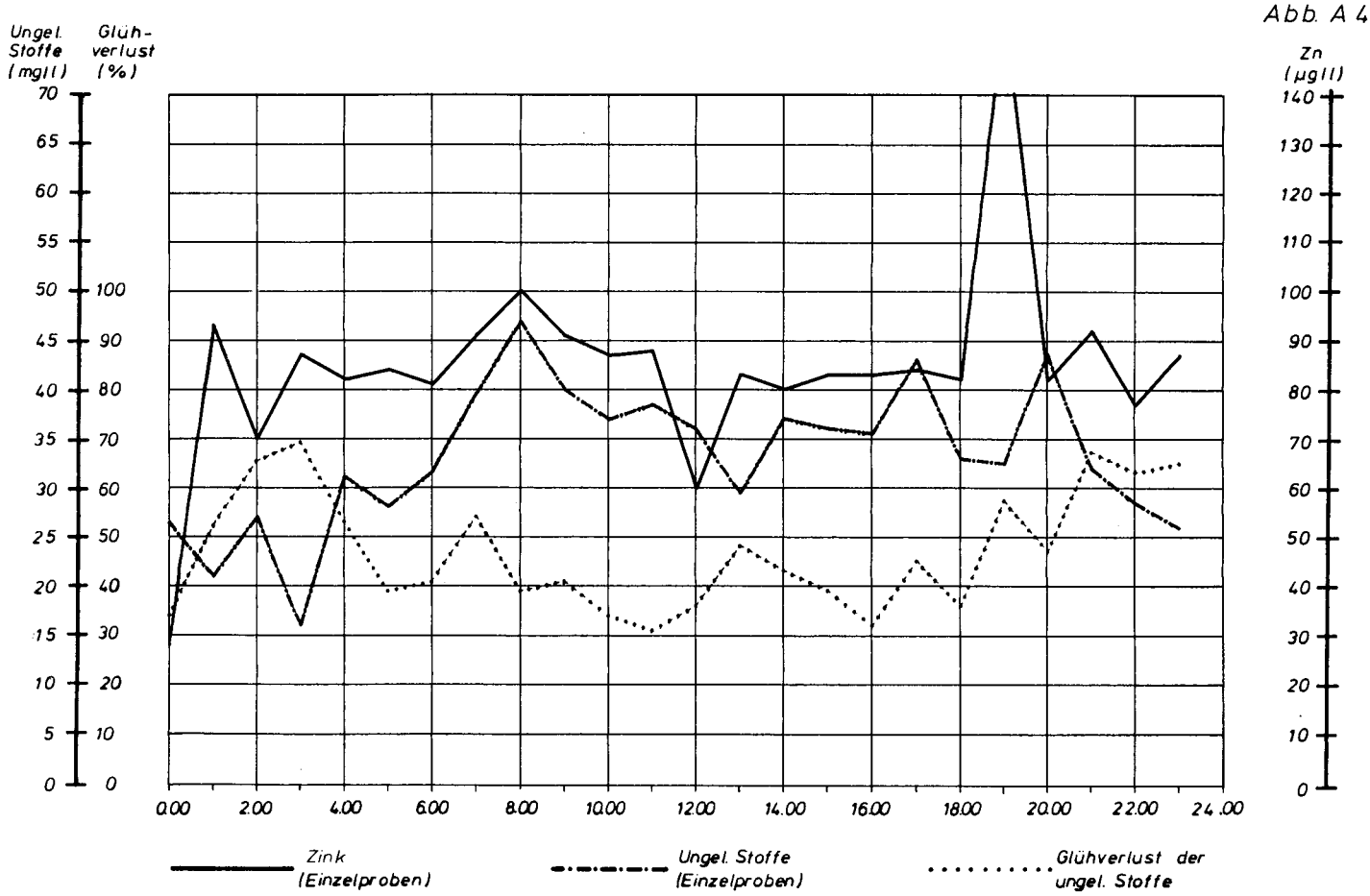


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 30. 7. 1979

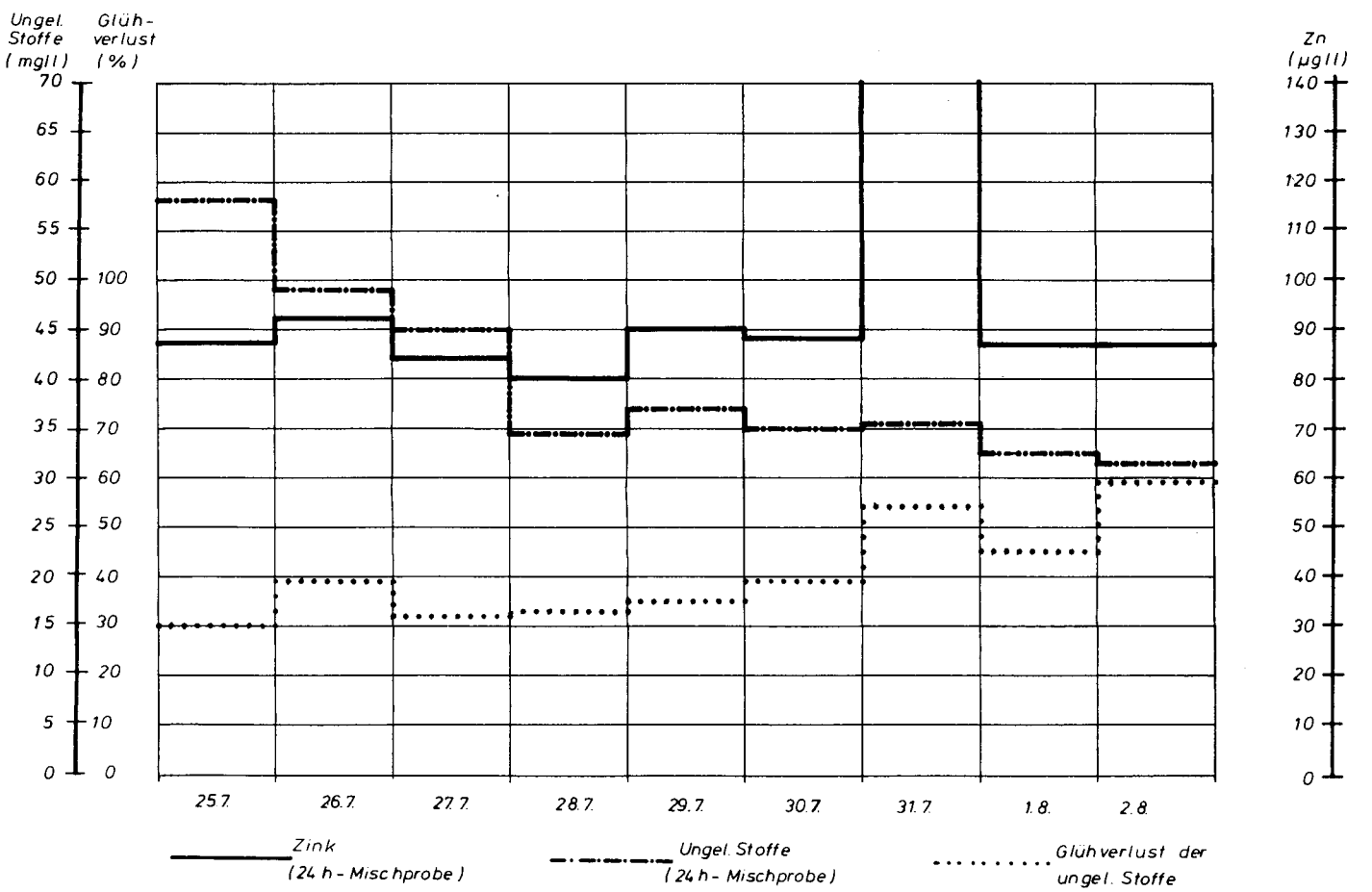


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 25.7. - 2.8. 1979

Abb. A 4

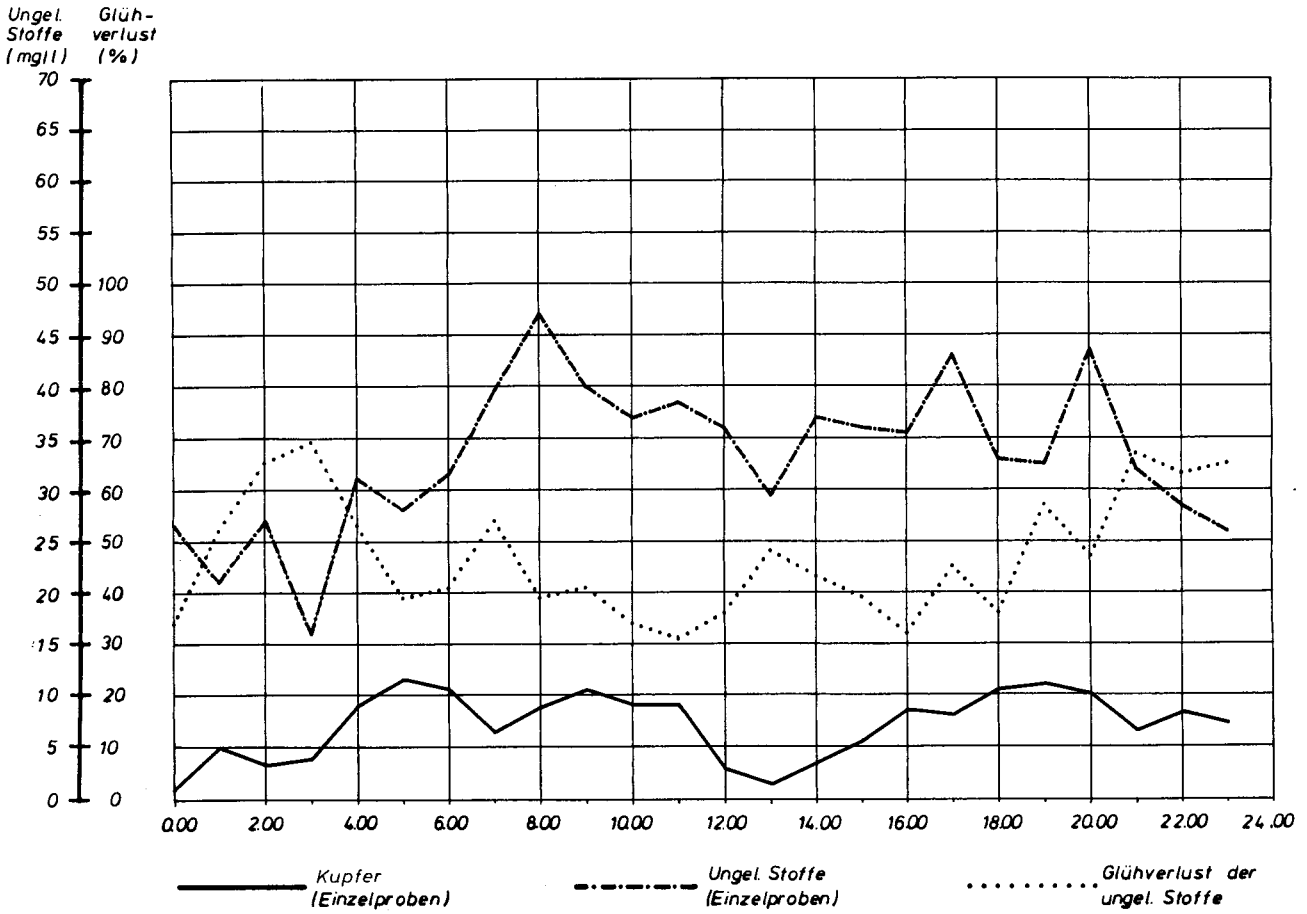


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 30.7.1979

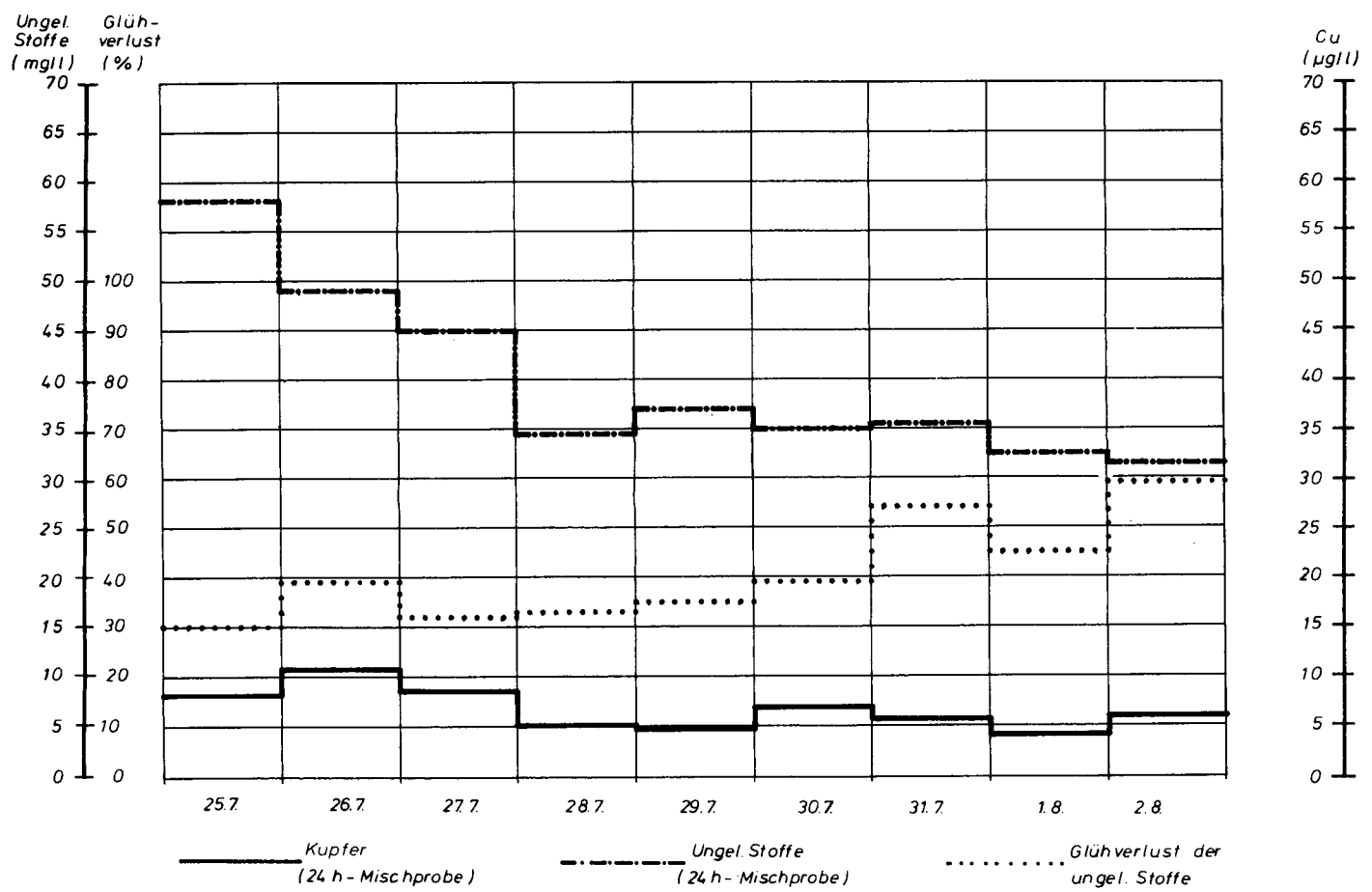


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 25.7. - 2.8.1979

Abb. A5

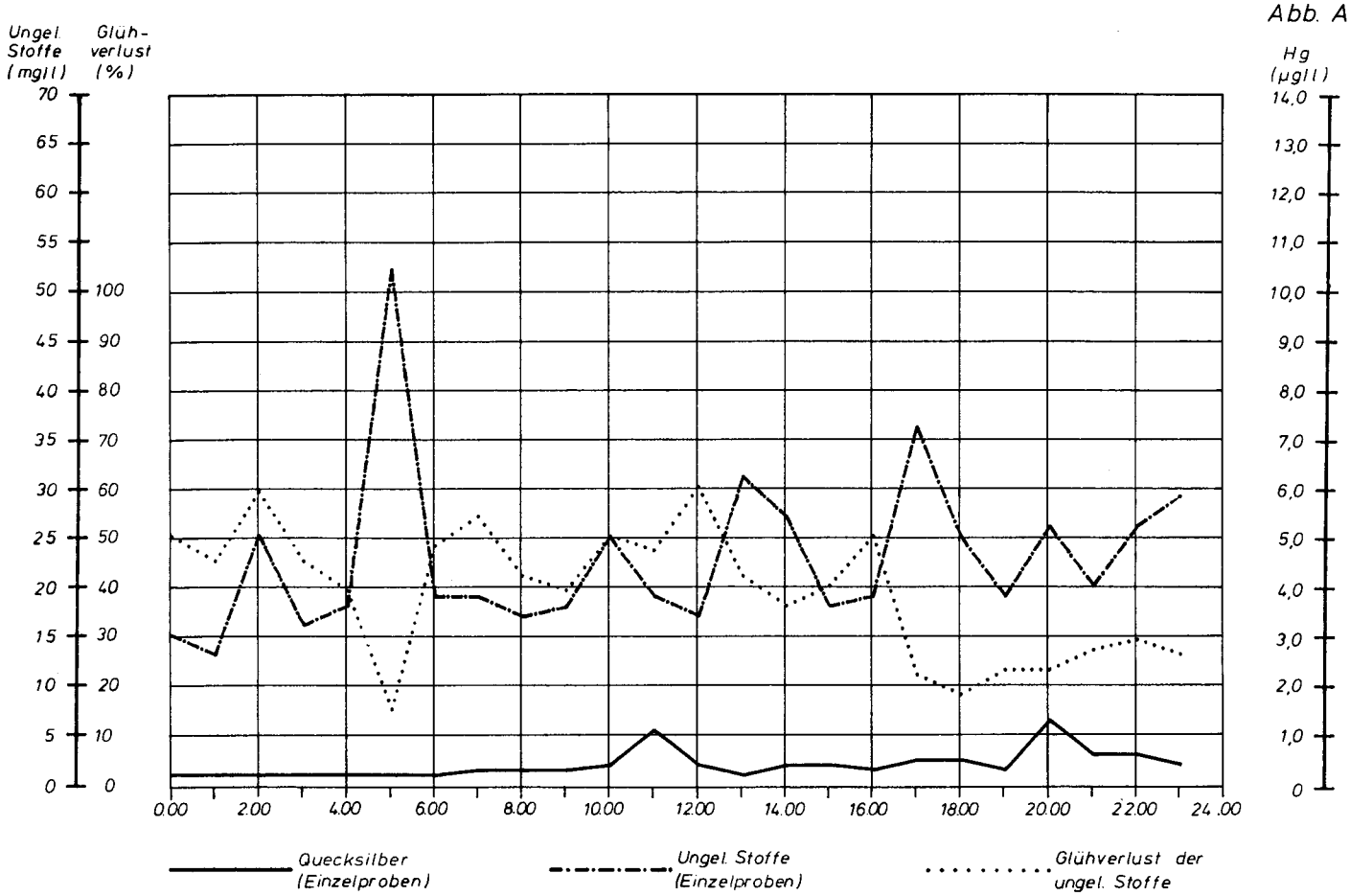


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 30.7.1979

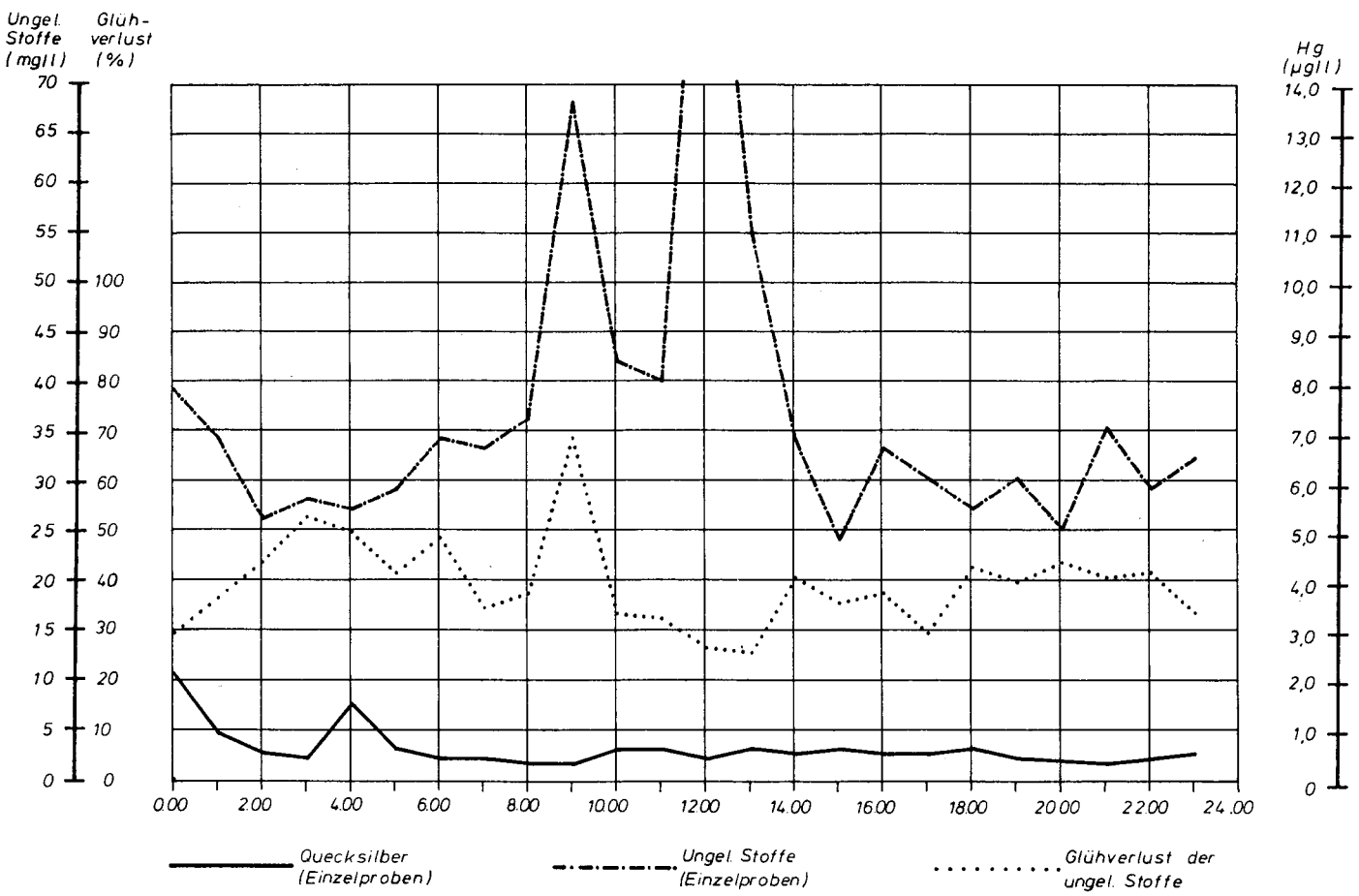


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 25.7. - 2.8.1979

Abb. A 6

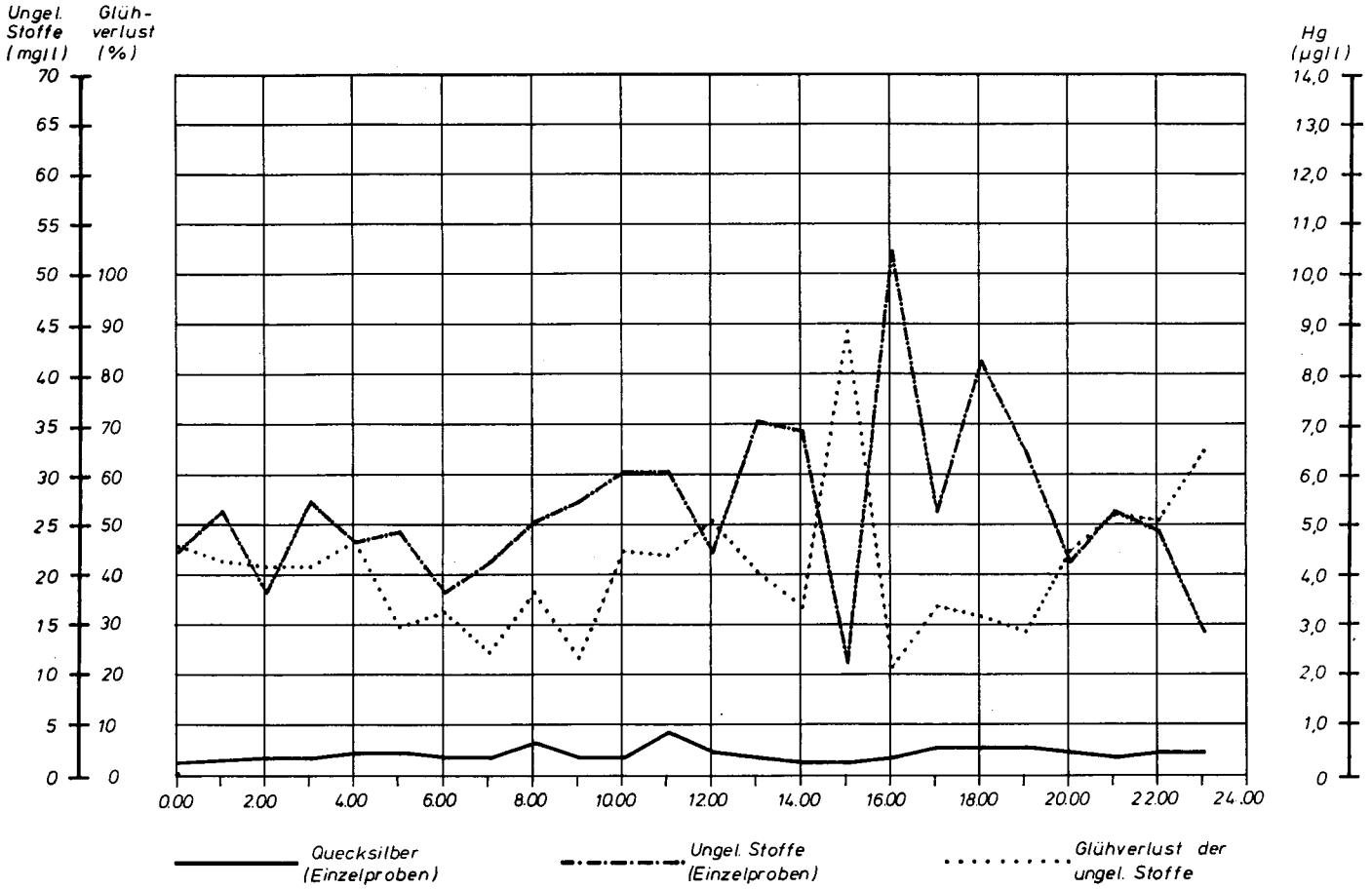


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17.10.1979

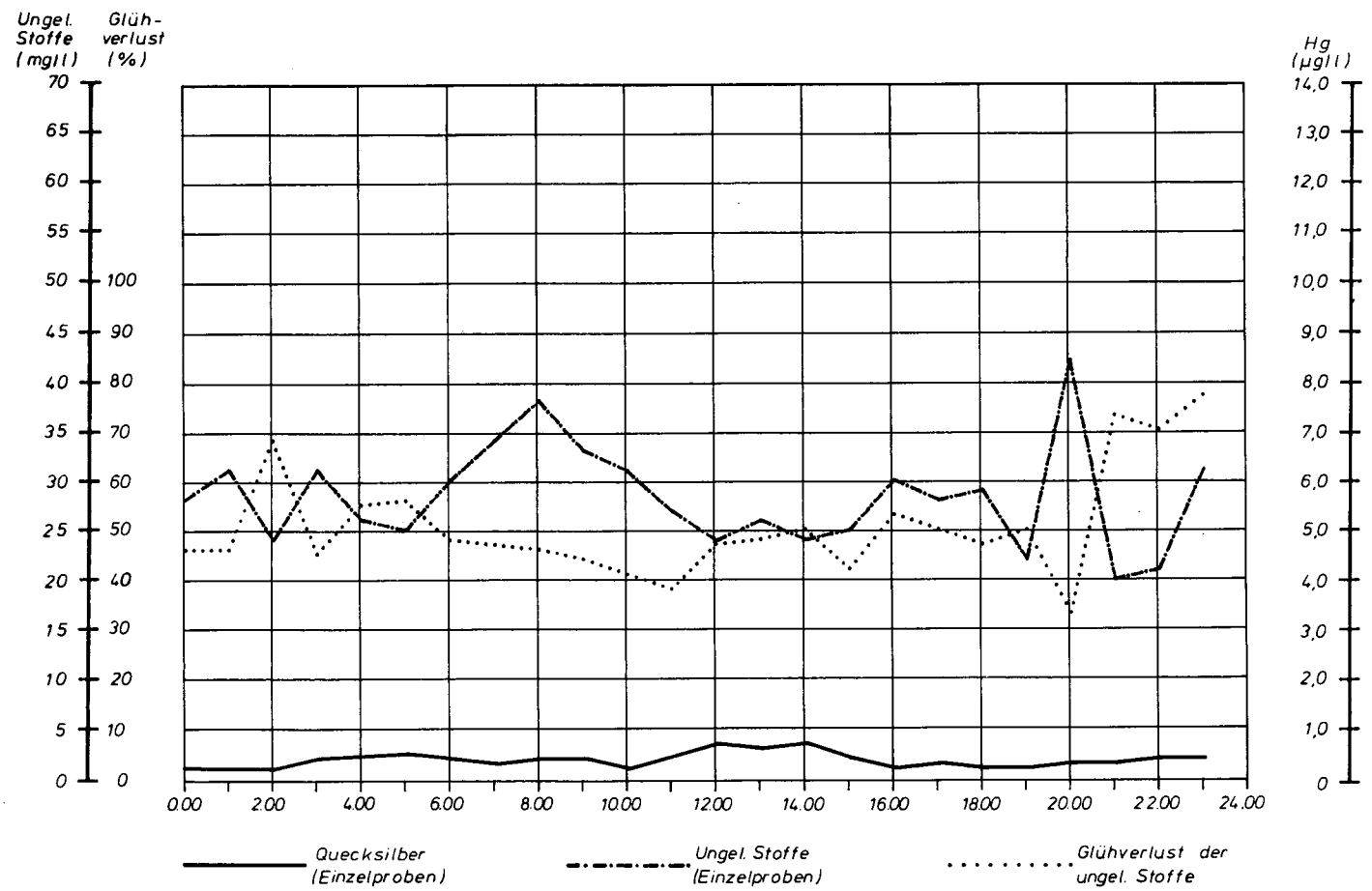


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 19.10.1979

Abb. A7

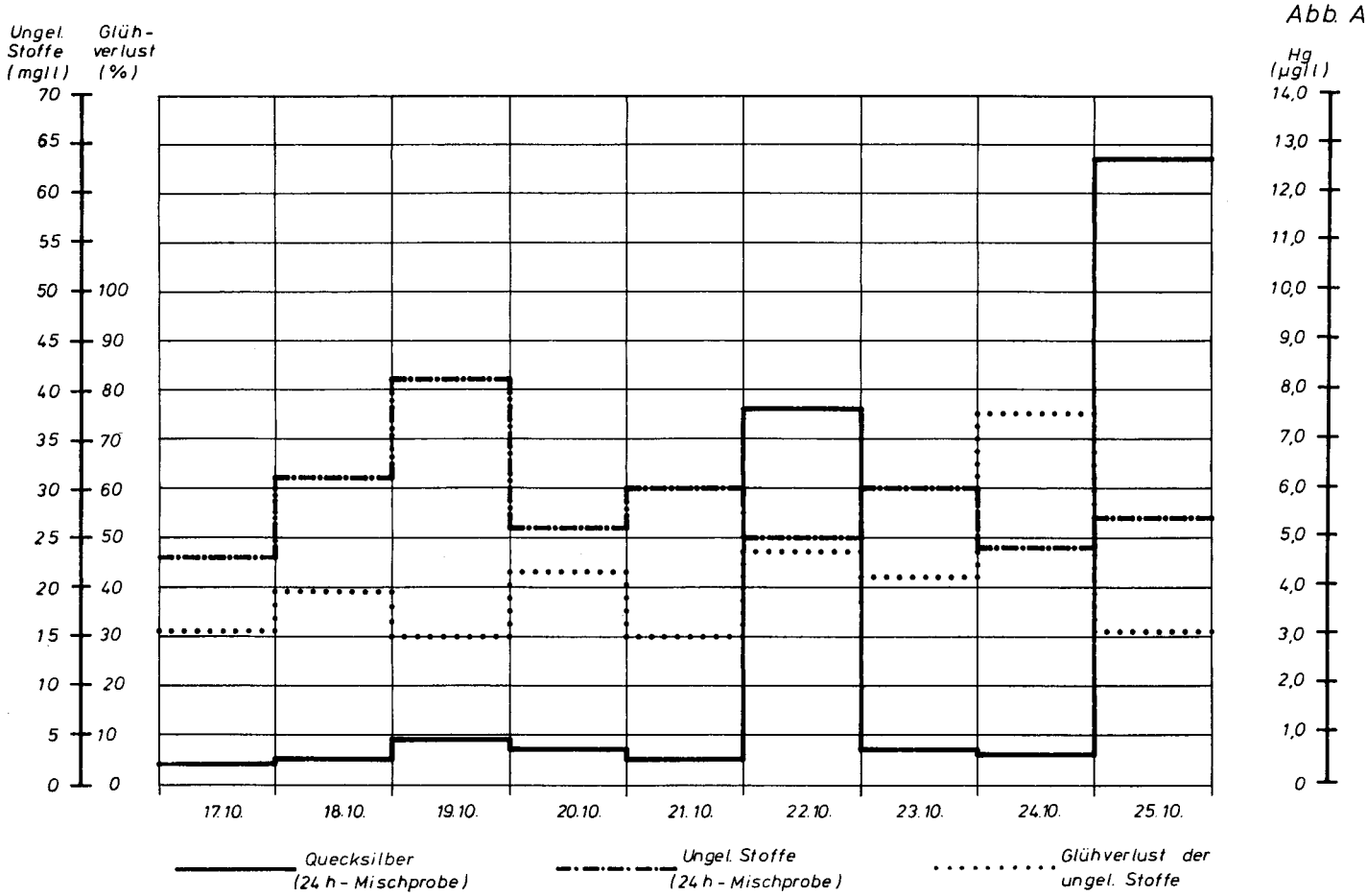


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 21. 10. 1979



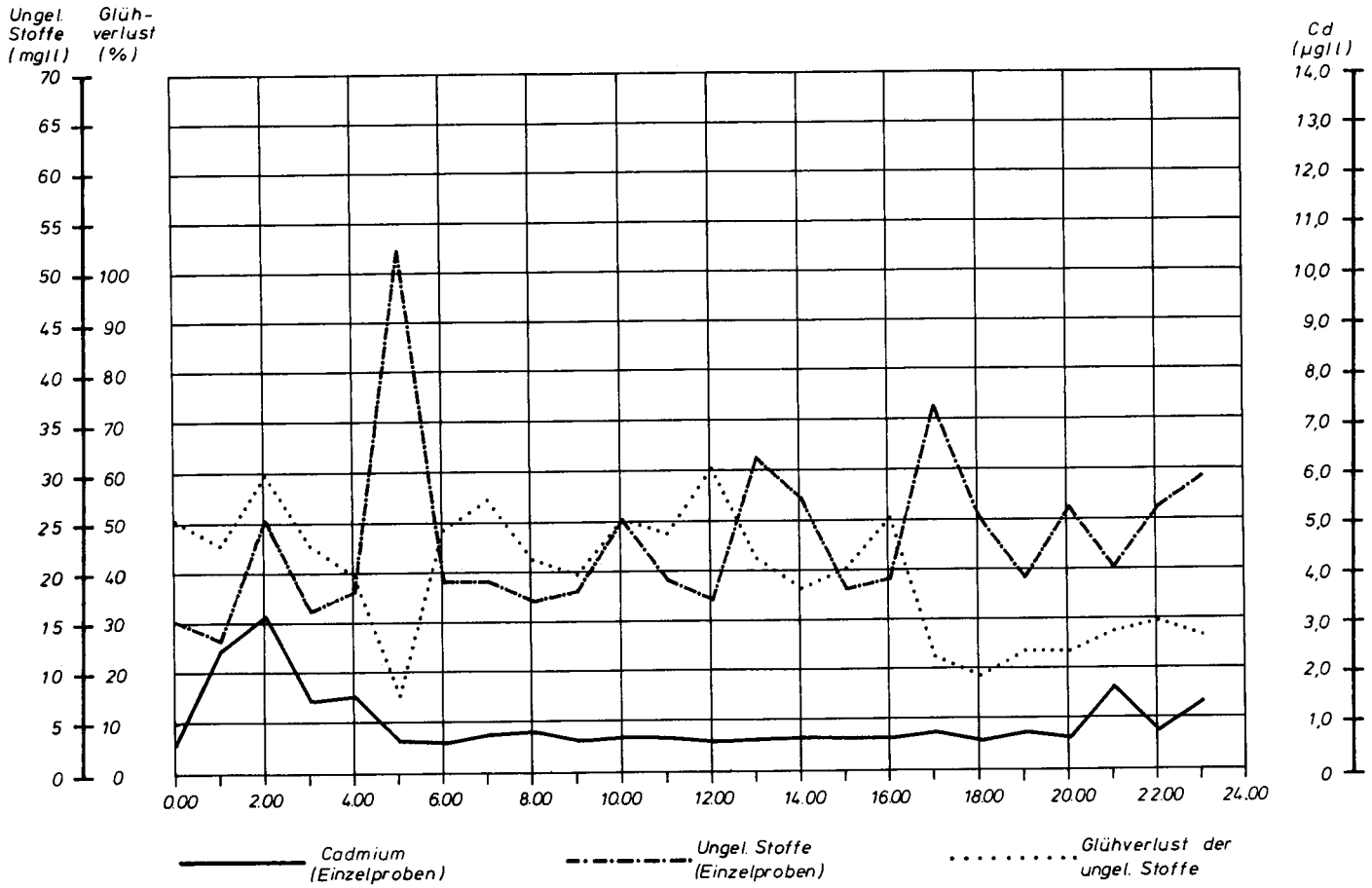
SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 23. 10. 1979

Abb. A8

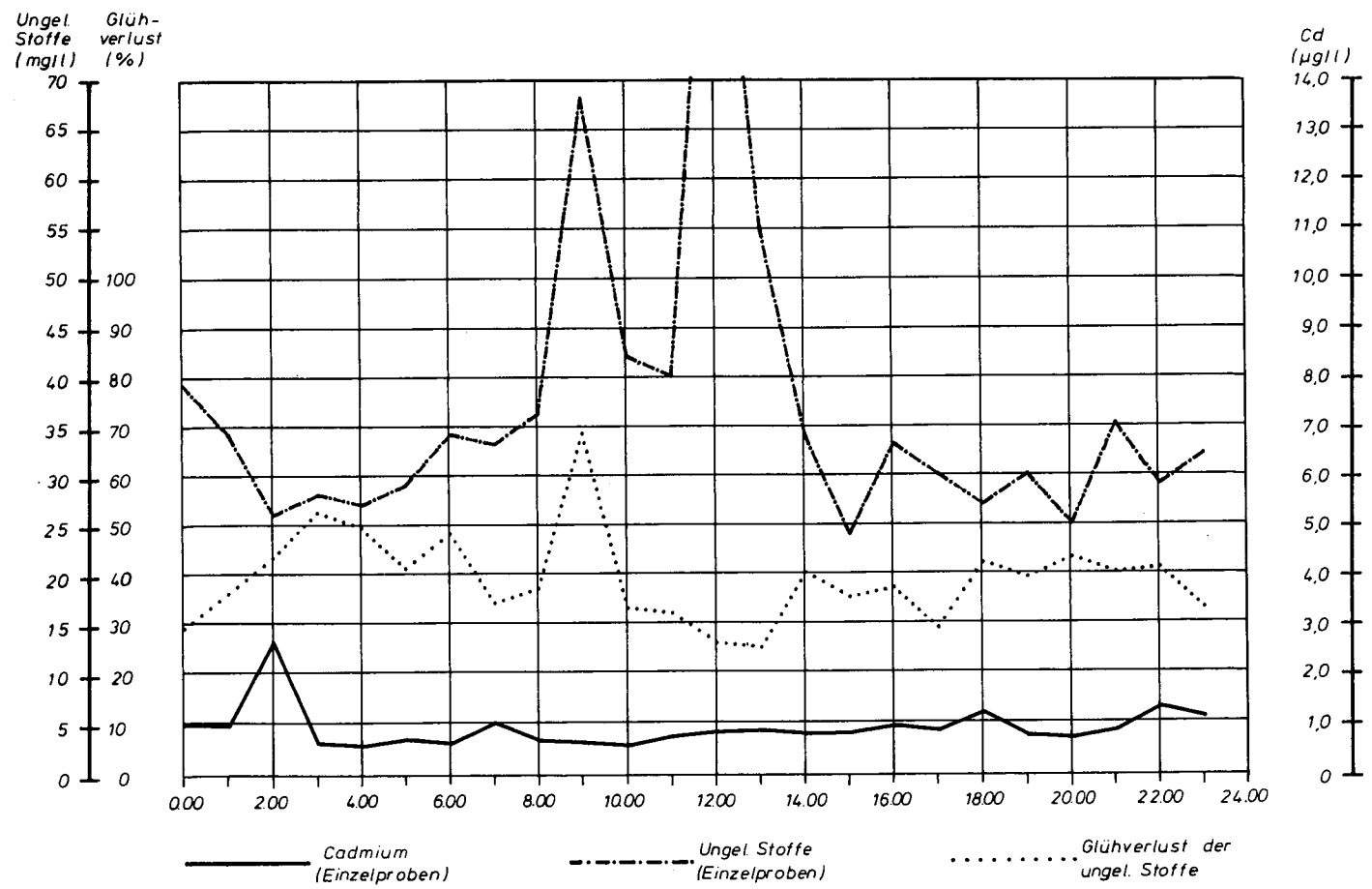


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17.10. - 25.10. 1979

Abb. A 9

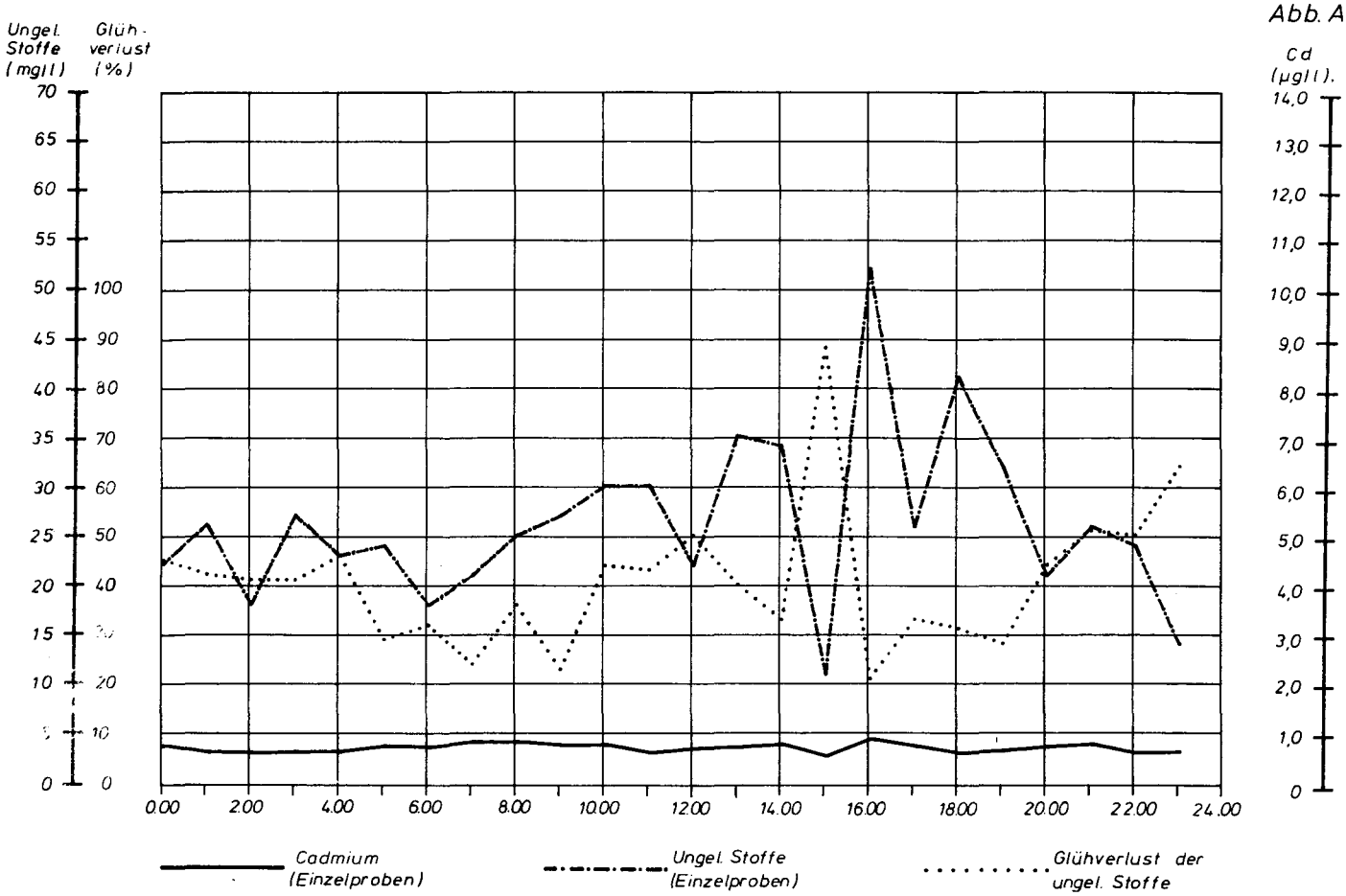


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17.10.1979

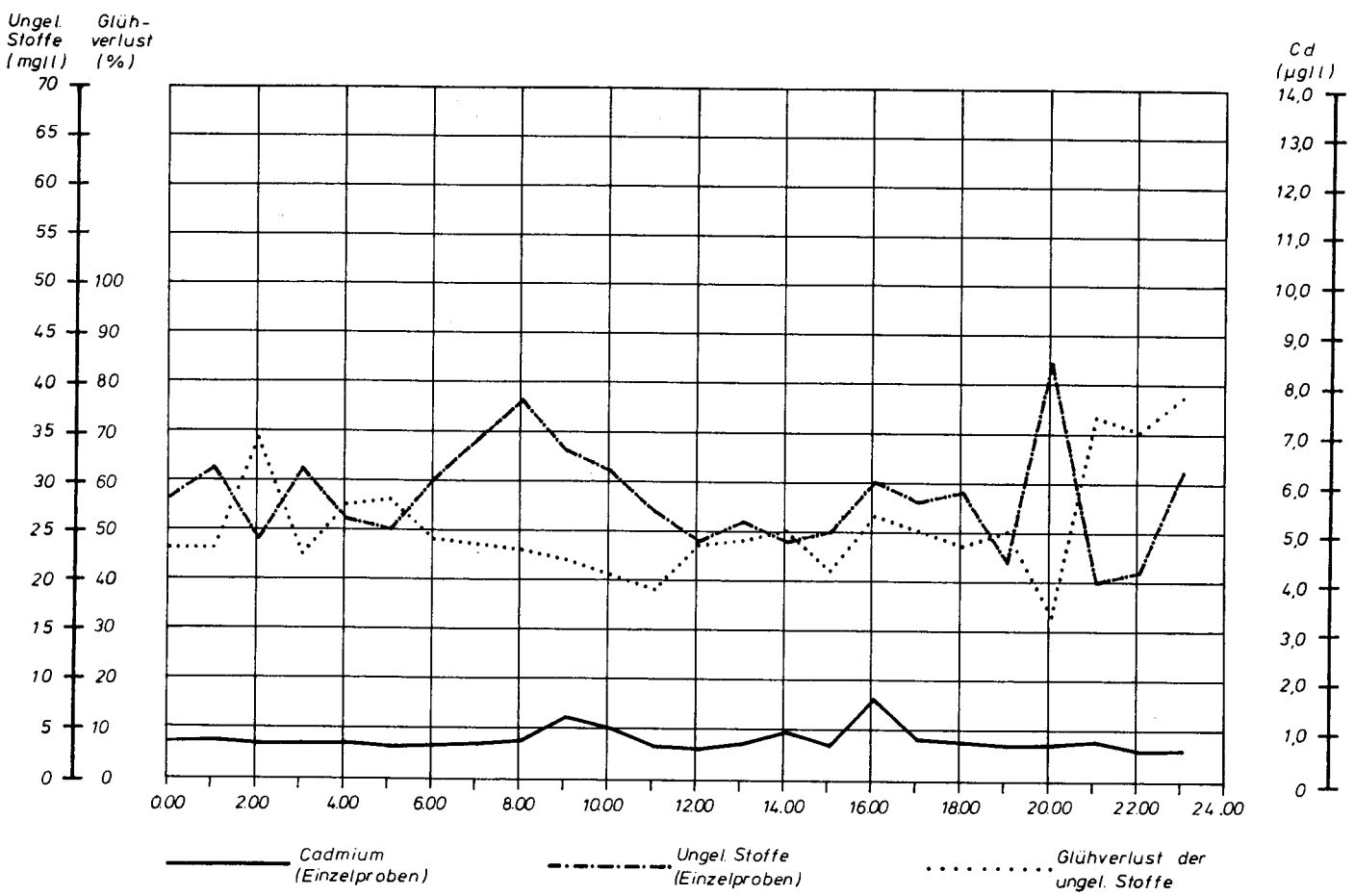


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 19.10.1979

Abb. A 10

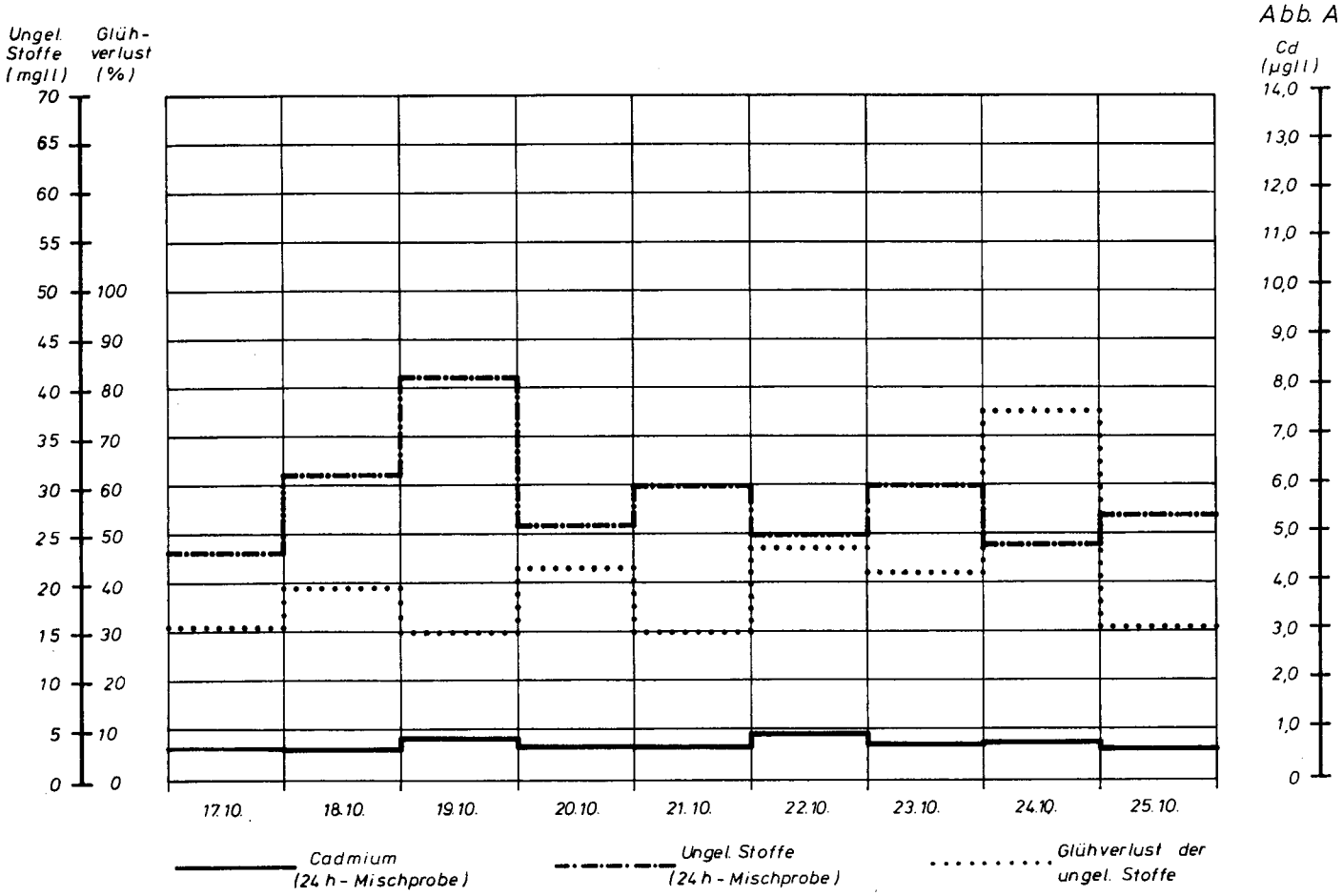


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 21.10.1979



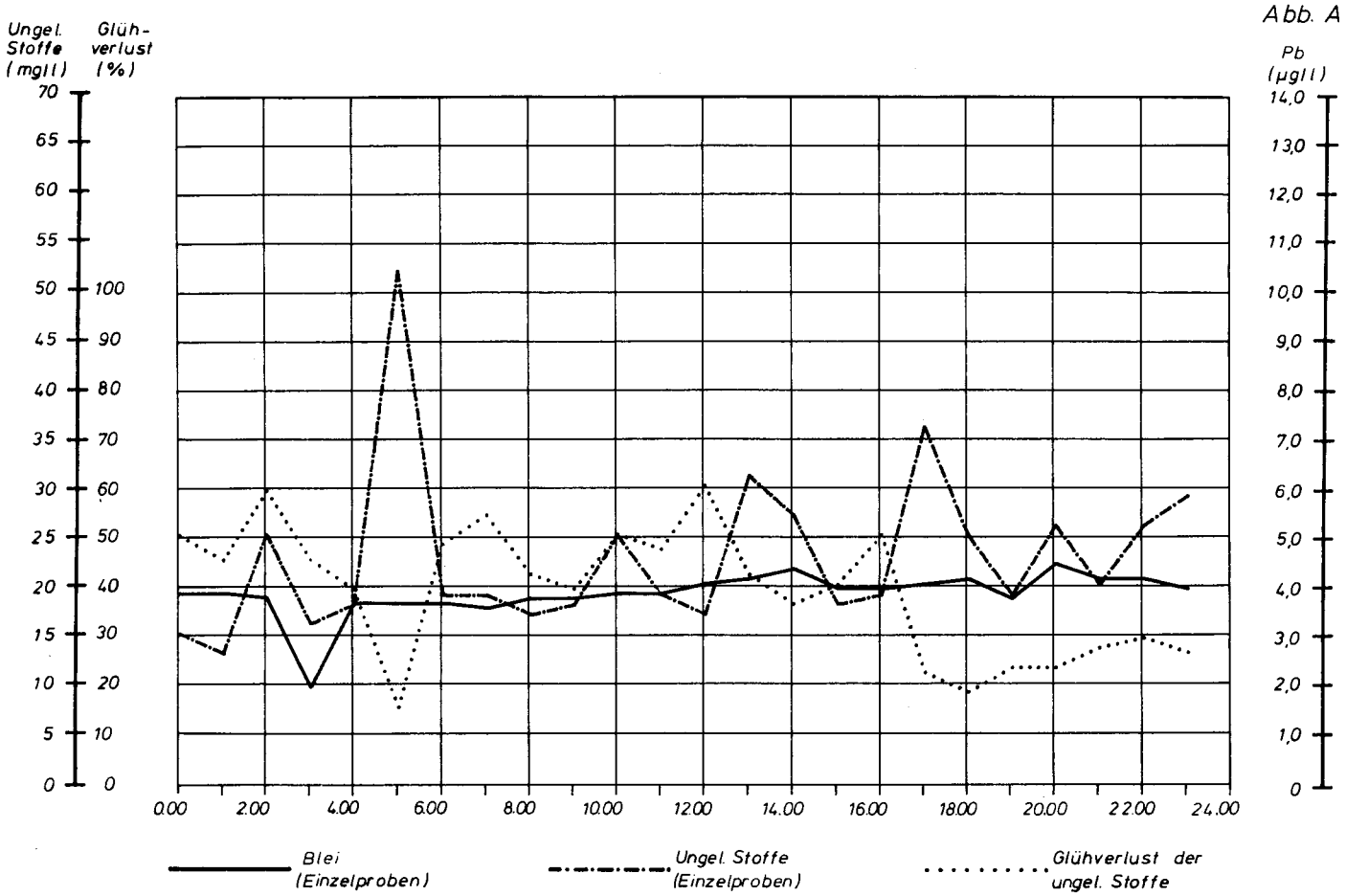
SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 23.10.1979

Abb. A 11

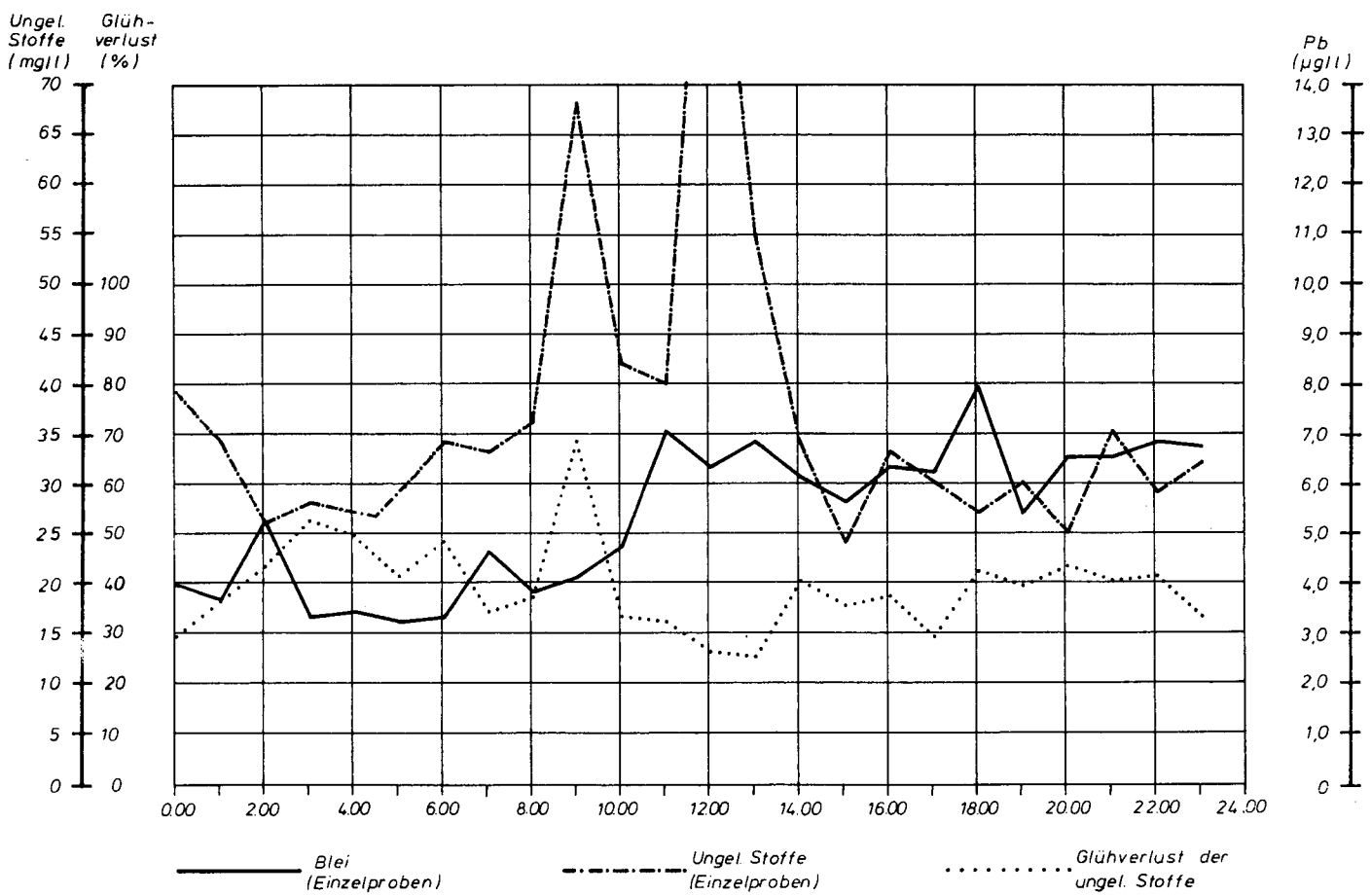


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17.10. - 25.10. 1979

Abb. A 12

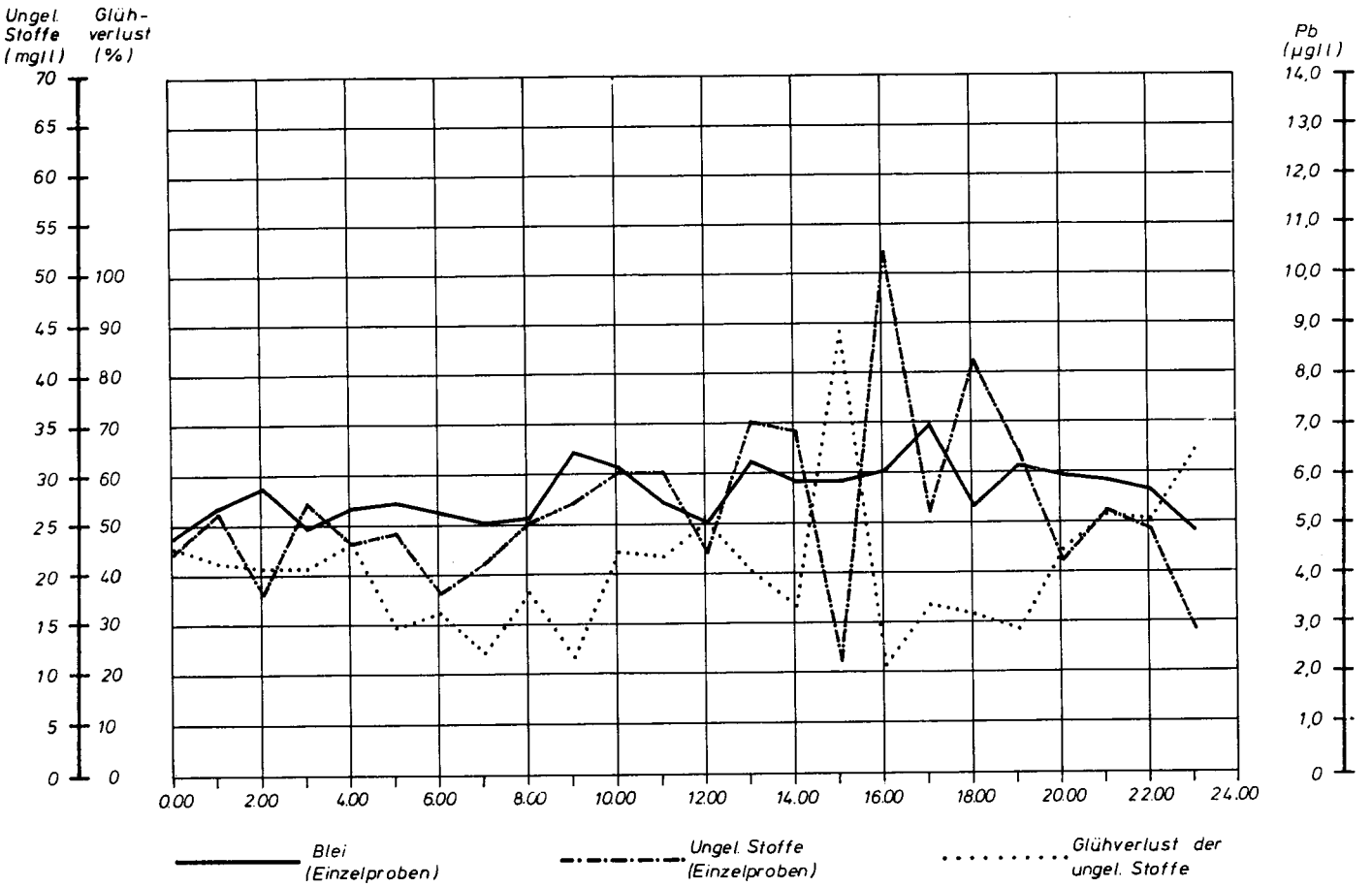


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17.10.1979

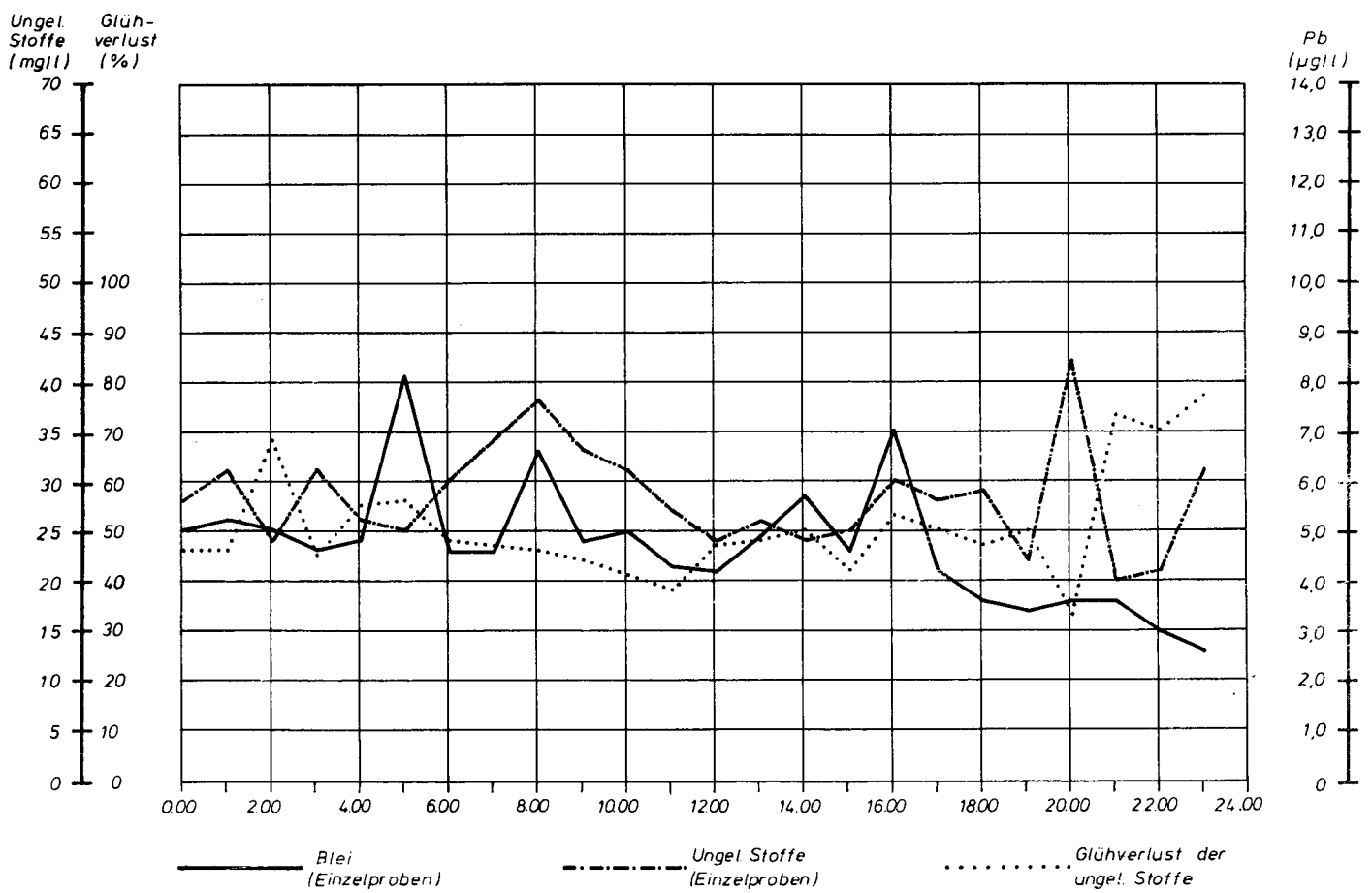


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 19.10.1979

Abb. A 13

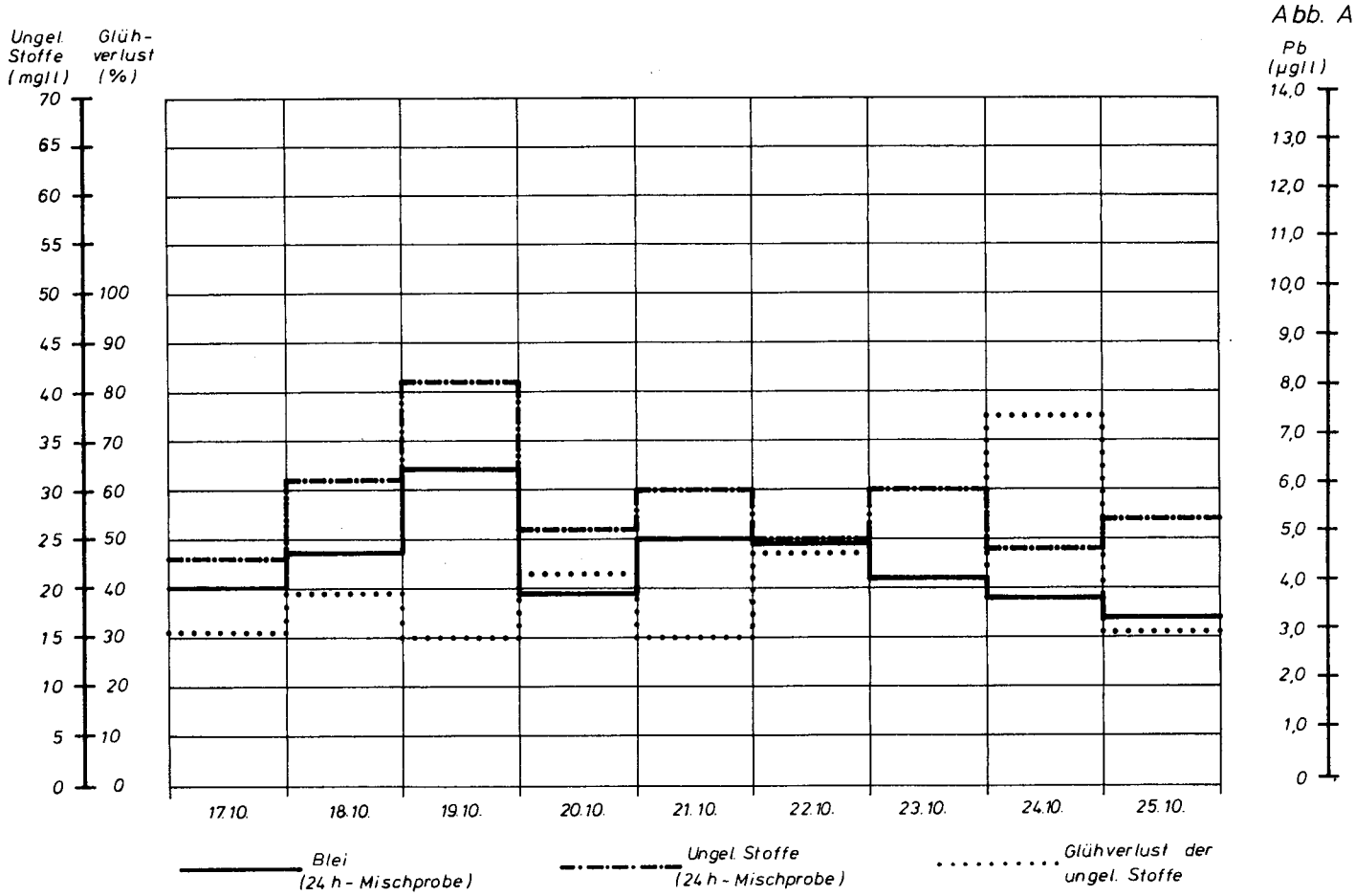


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 21. 10.1979



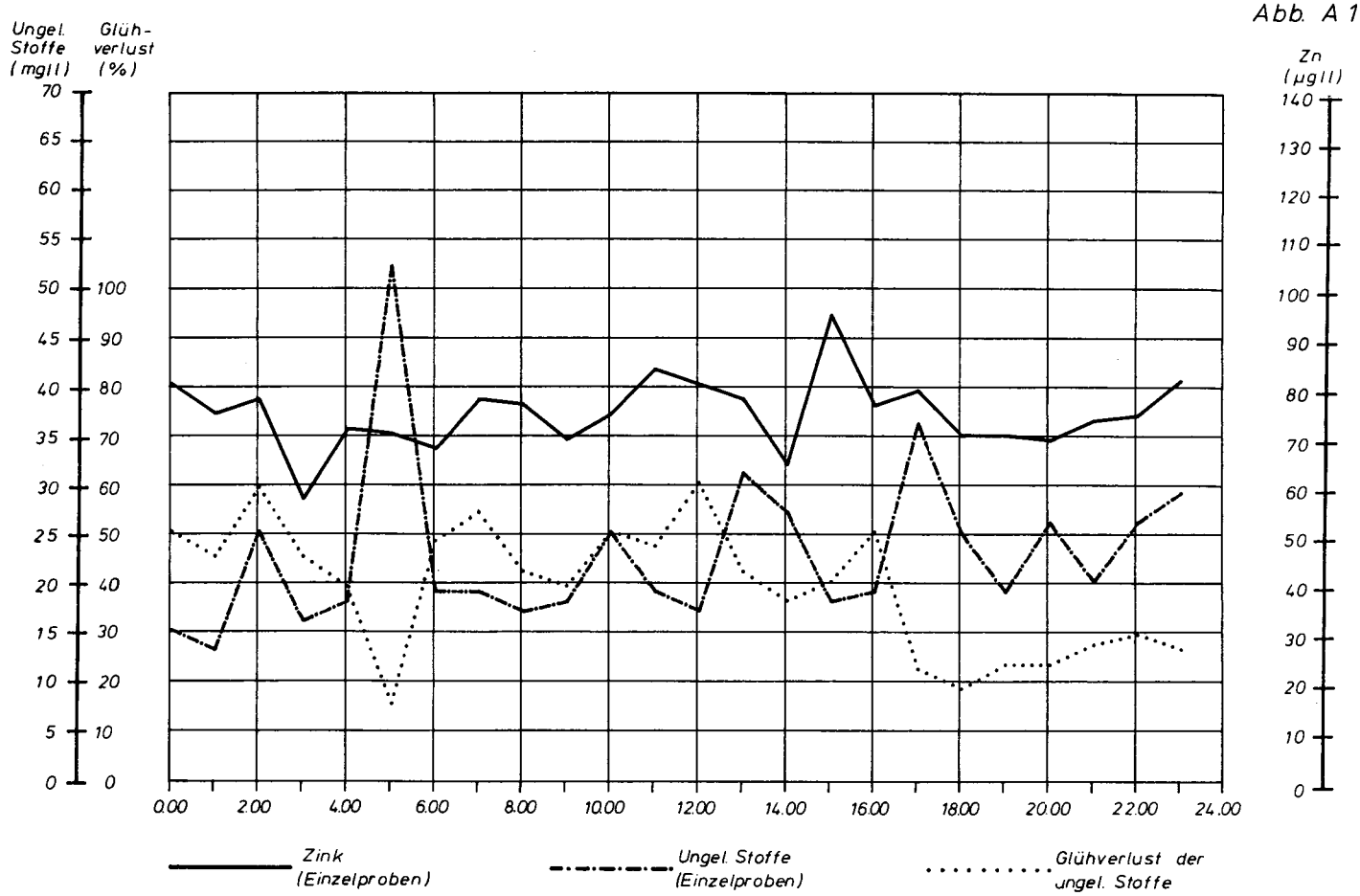
SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 23. 10.1979

Abb. A 14

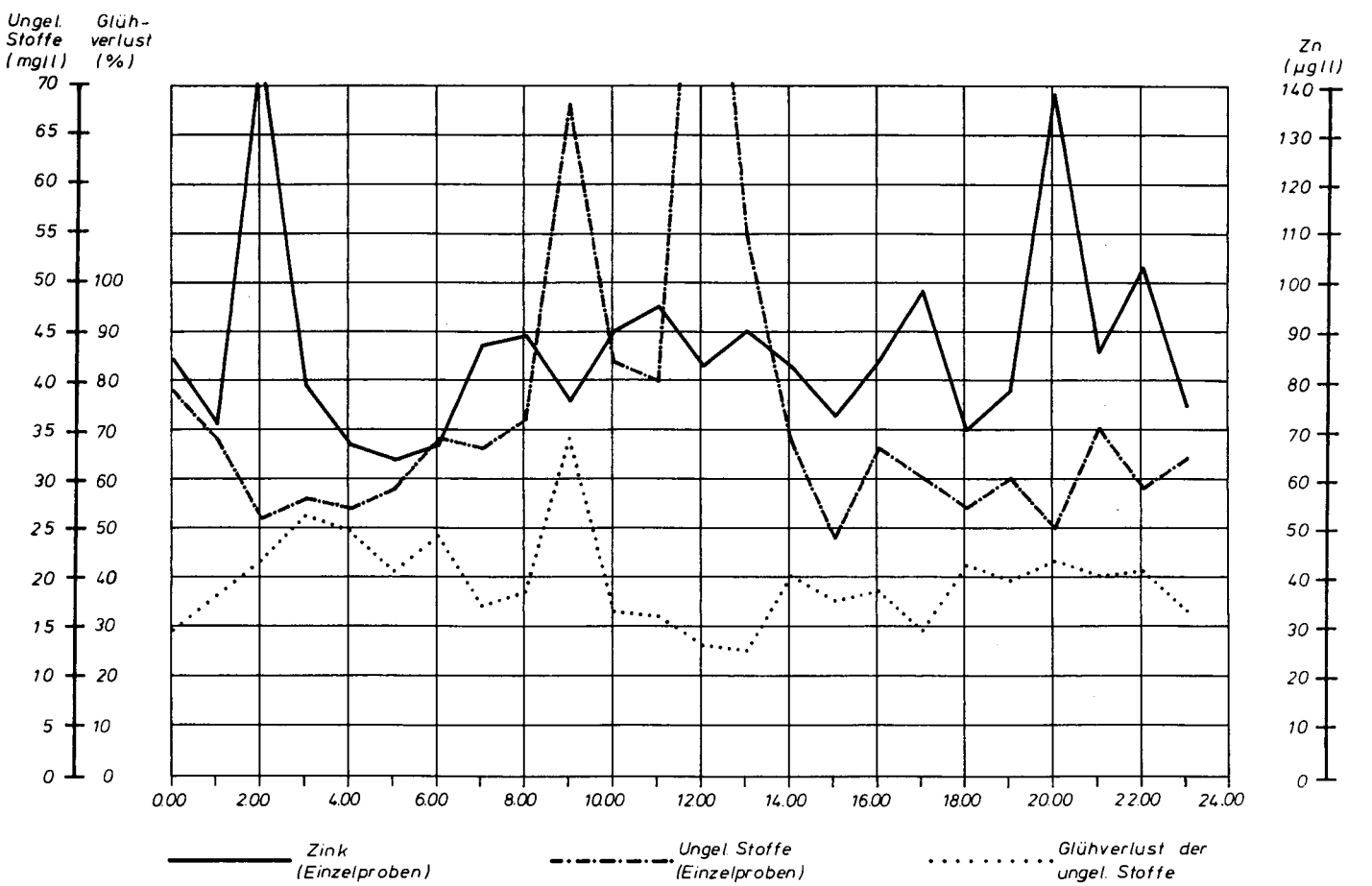


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17.10. - 25.10. 1979

Abb. A 15

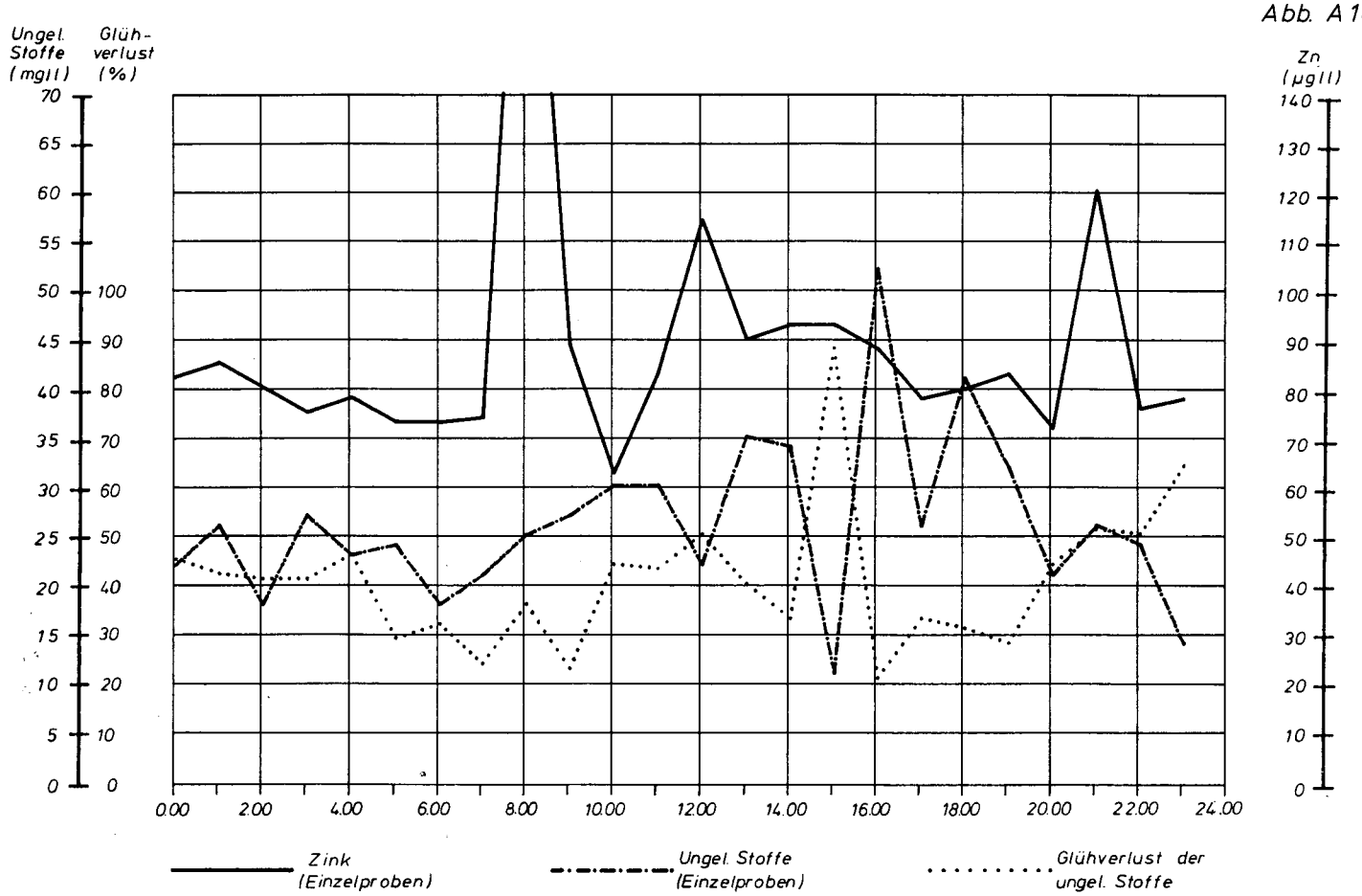


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17.10.1979

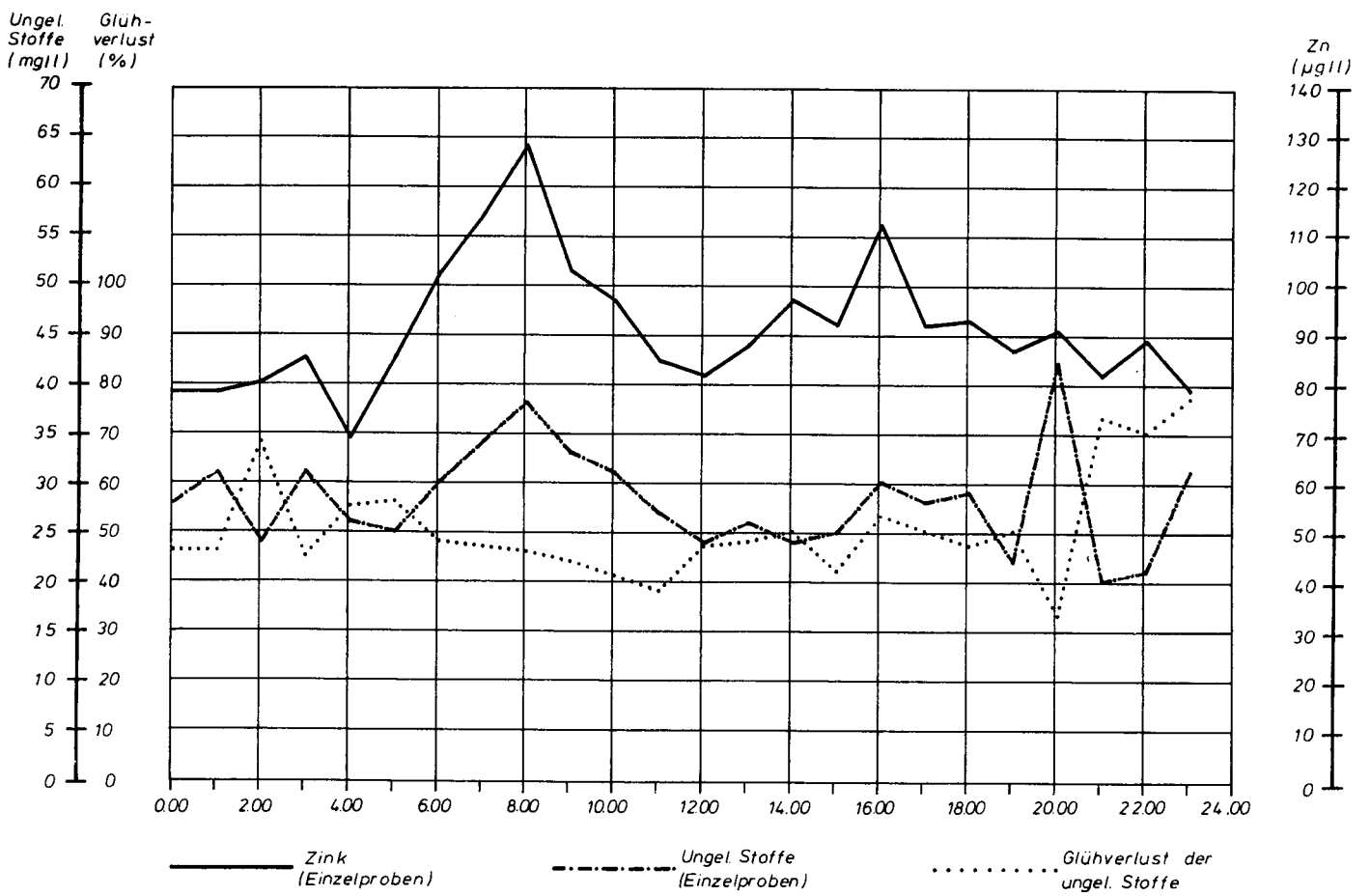


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 19.10.1979

Abb. A 16

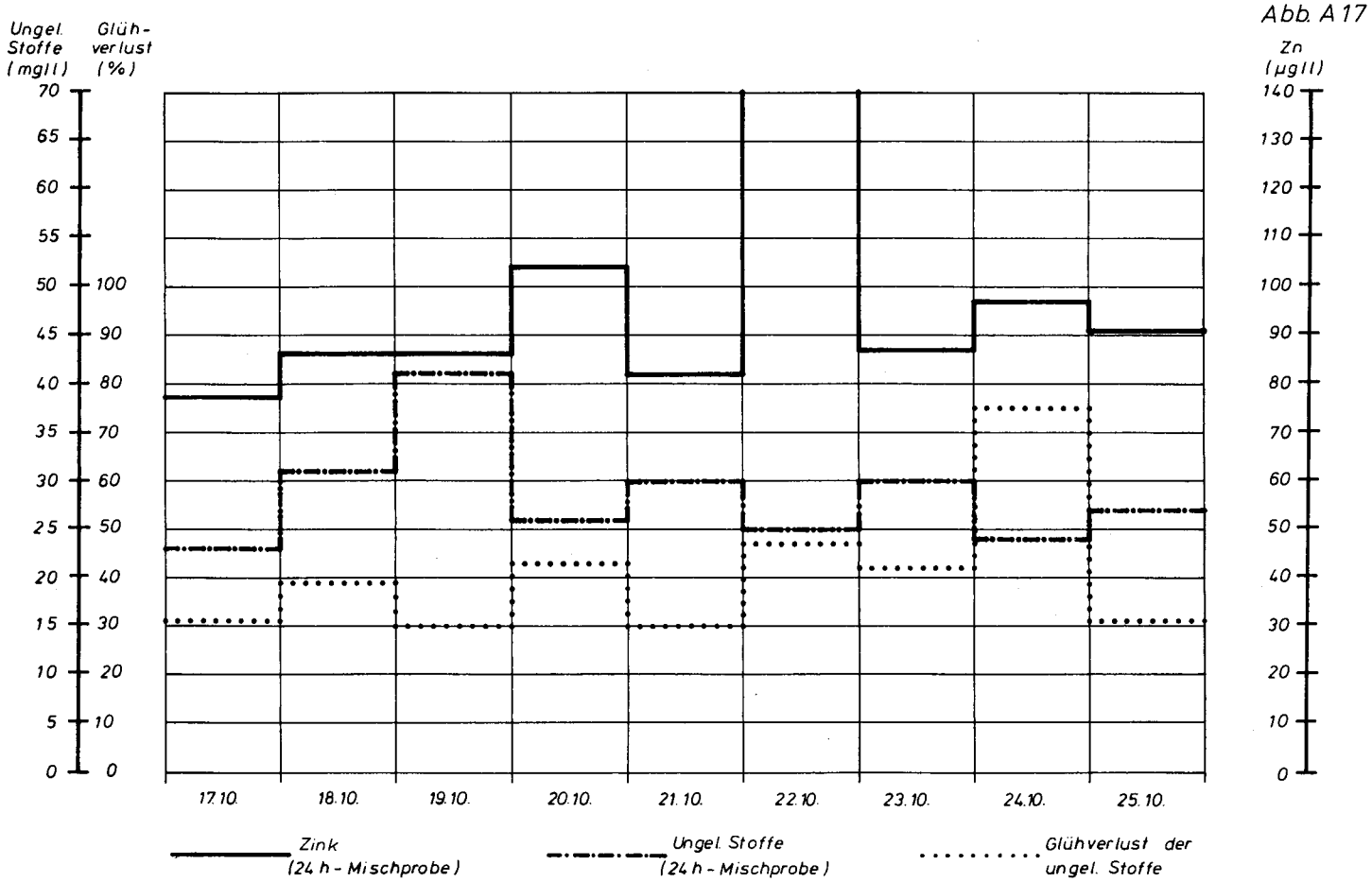


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 21.10.1979



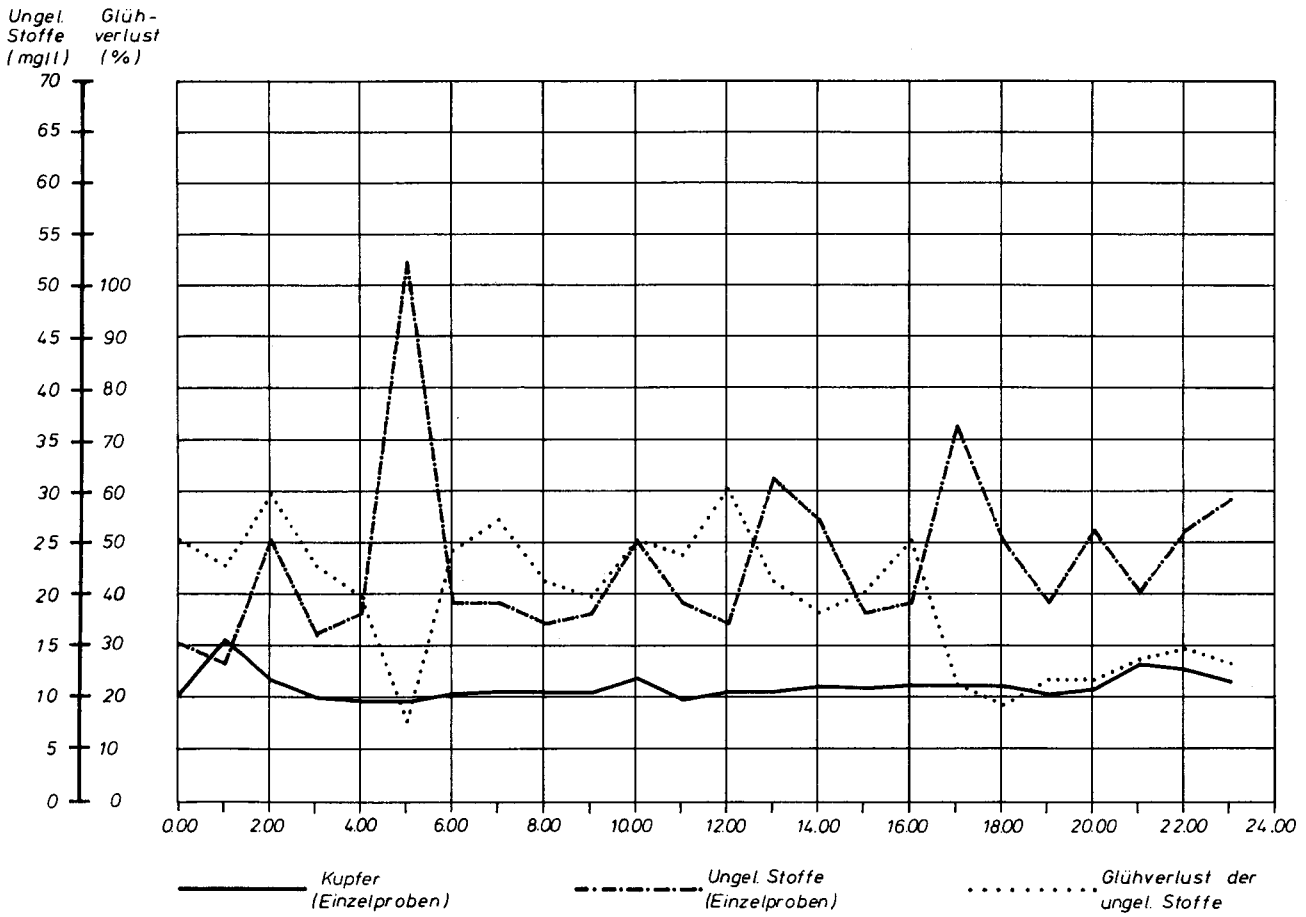
SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 23.10.1979

Abb. A 17

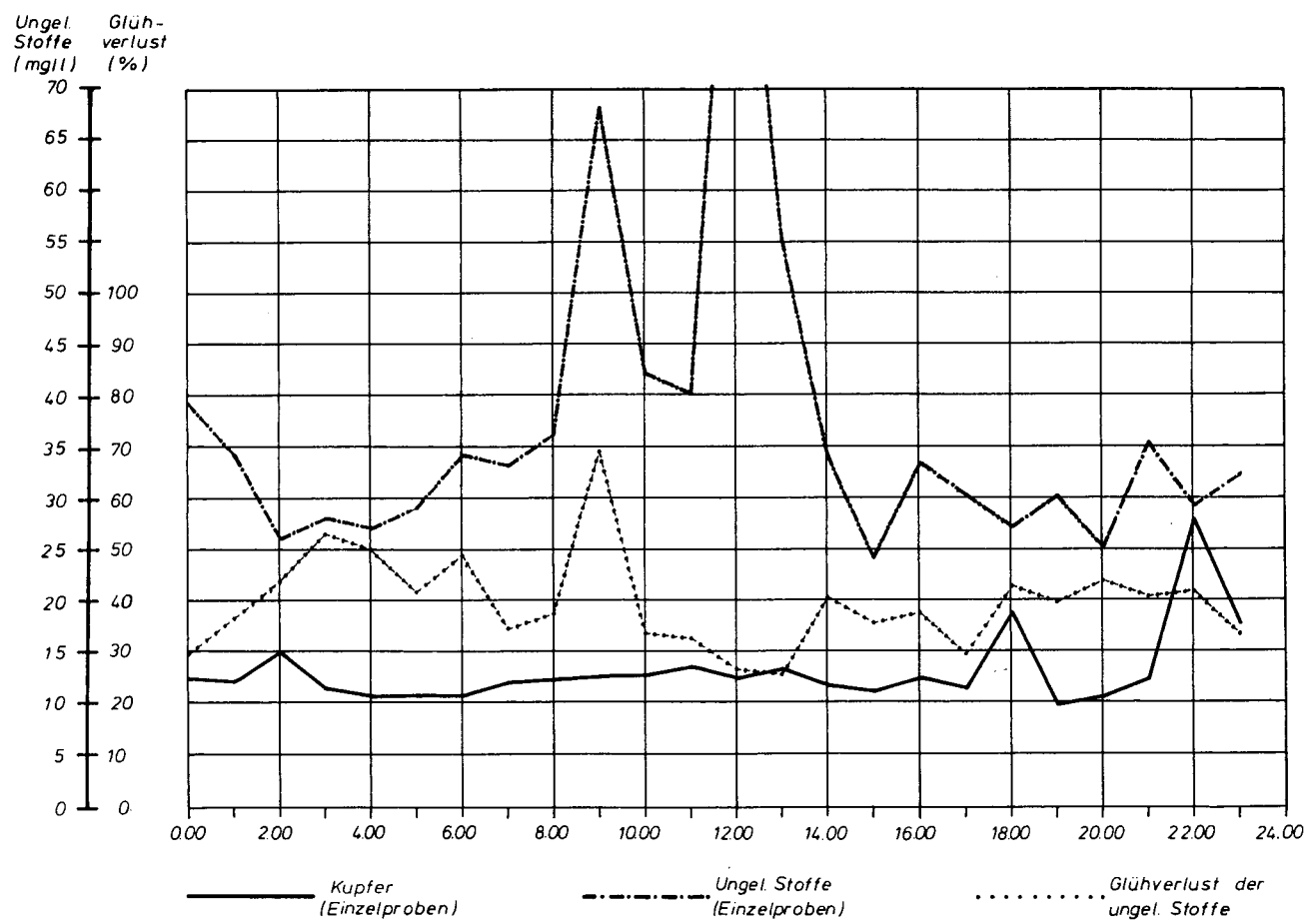


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17.10. - 25.10. 1979

Abb. A 18

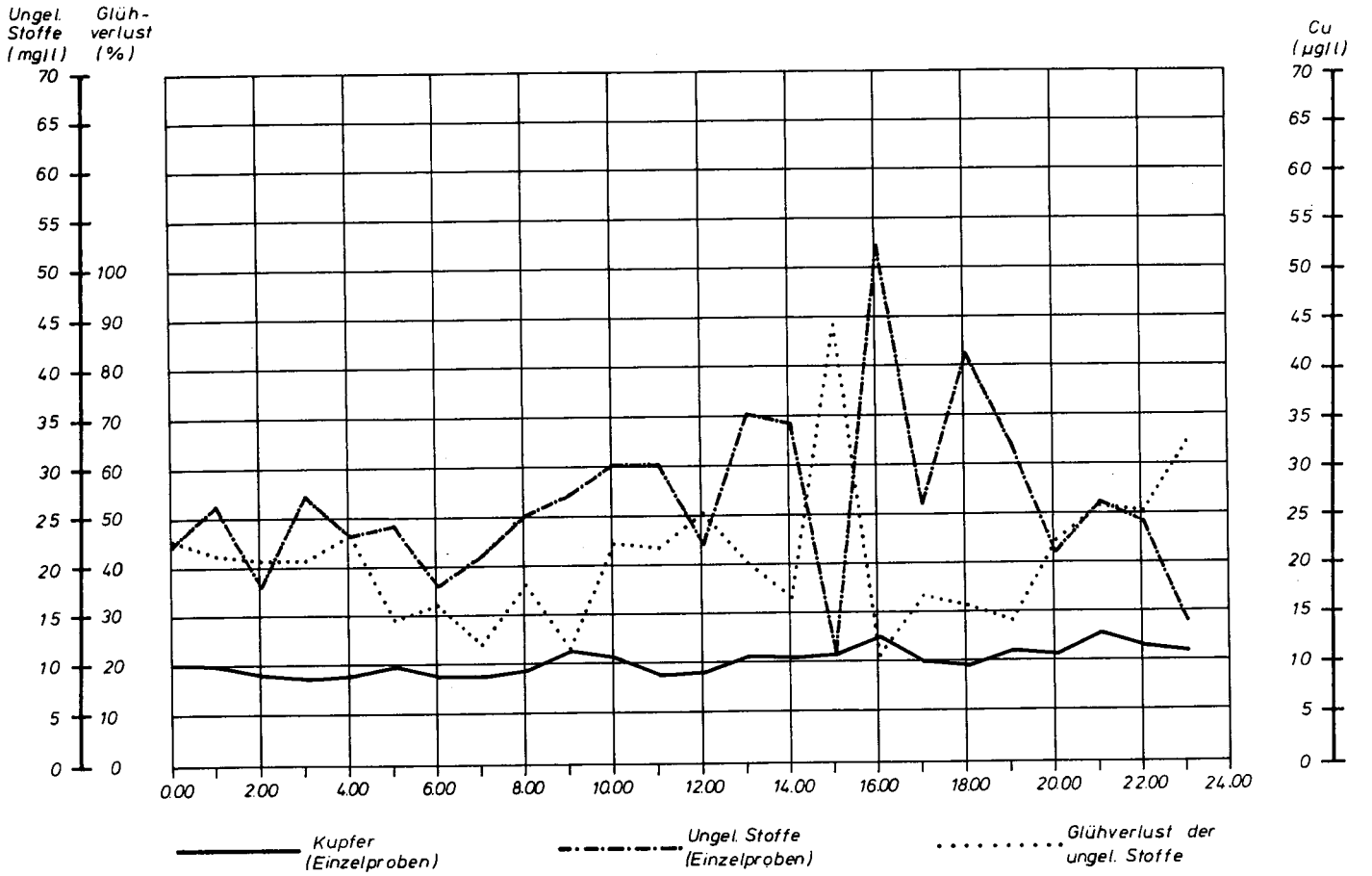


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17.10.1979

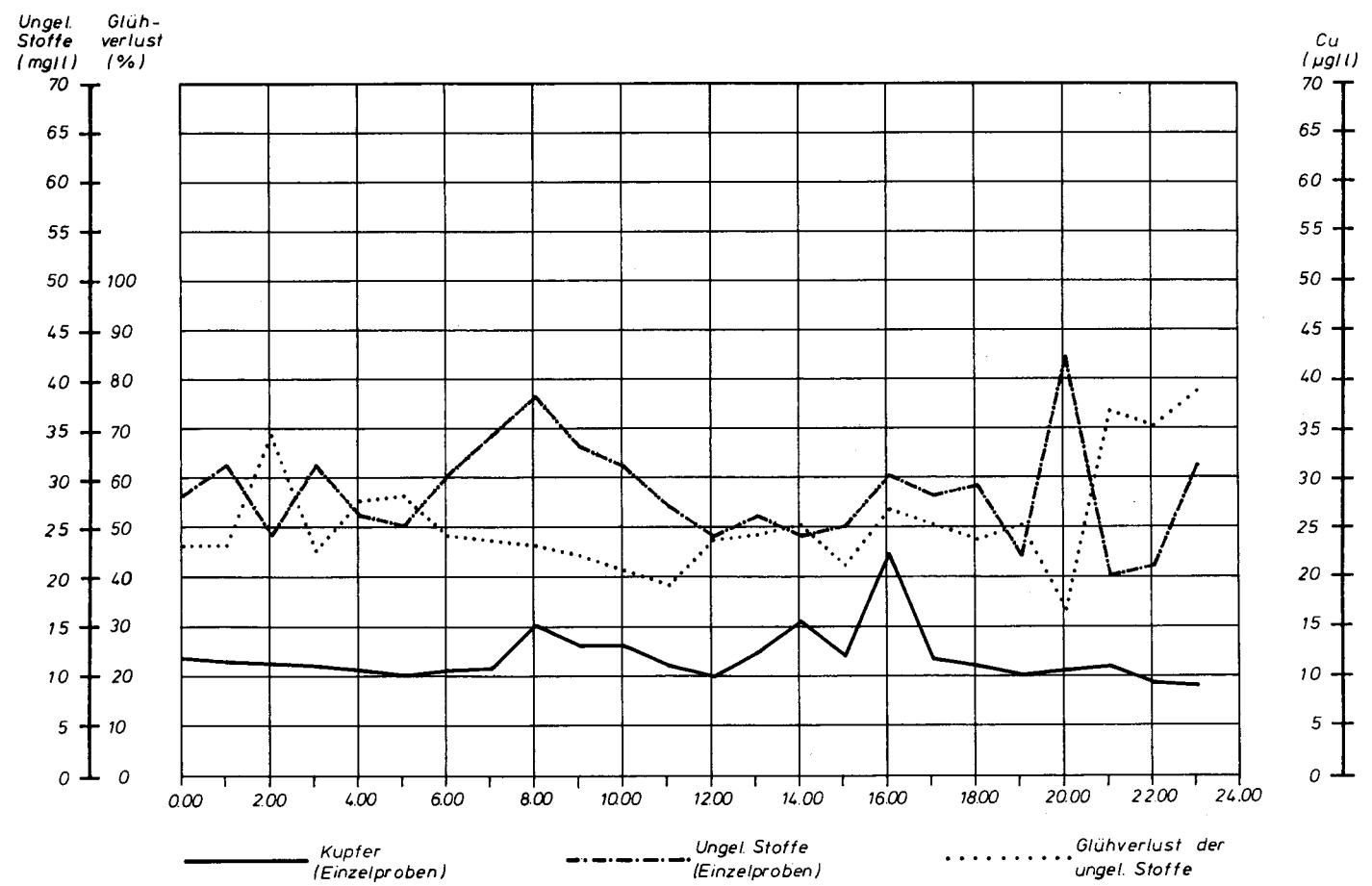


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 19.10.1979

Abb. A 19

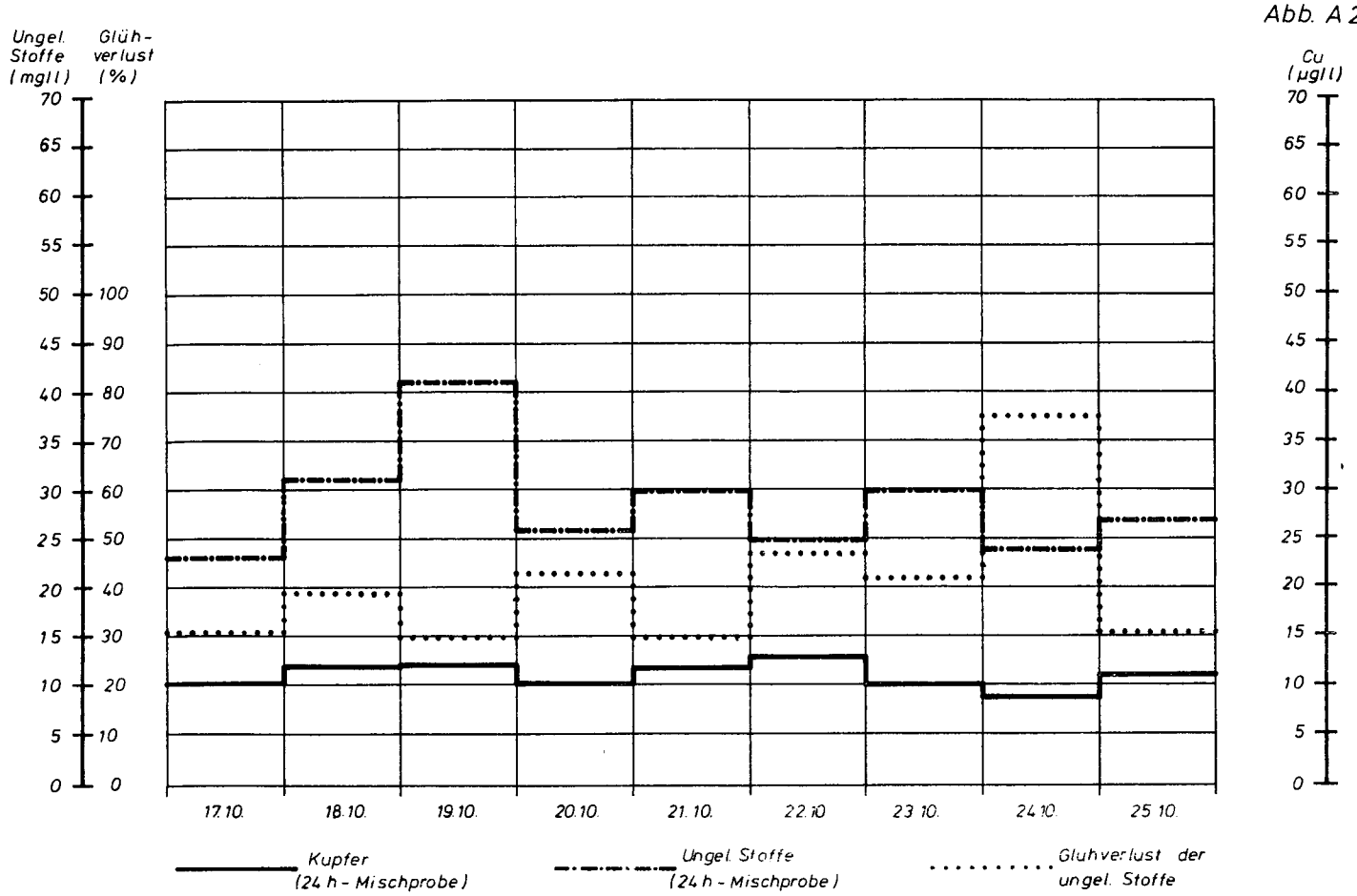


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 21. 10. 1979



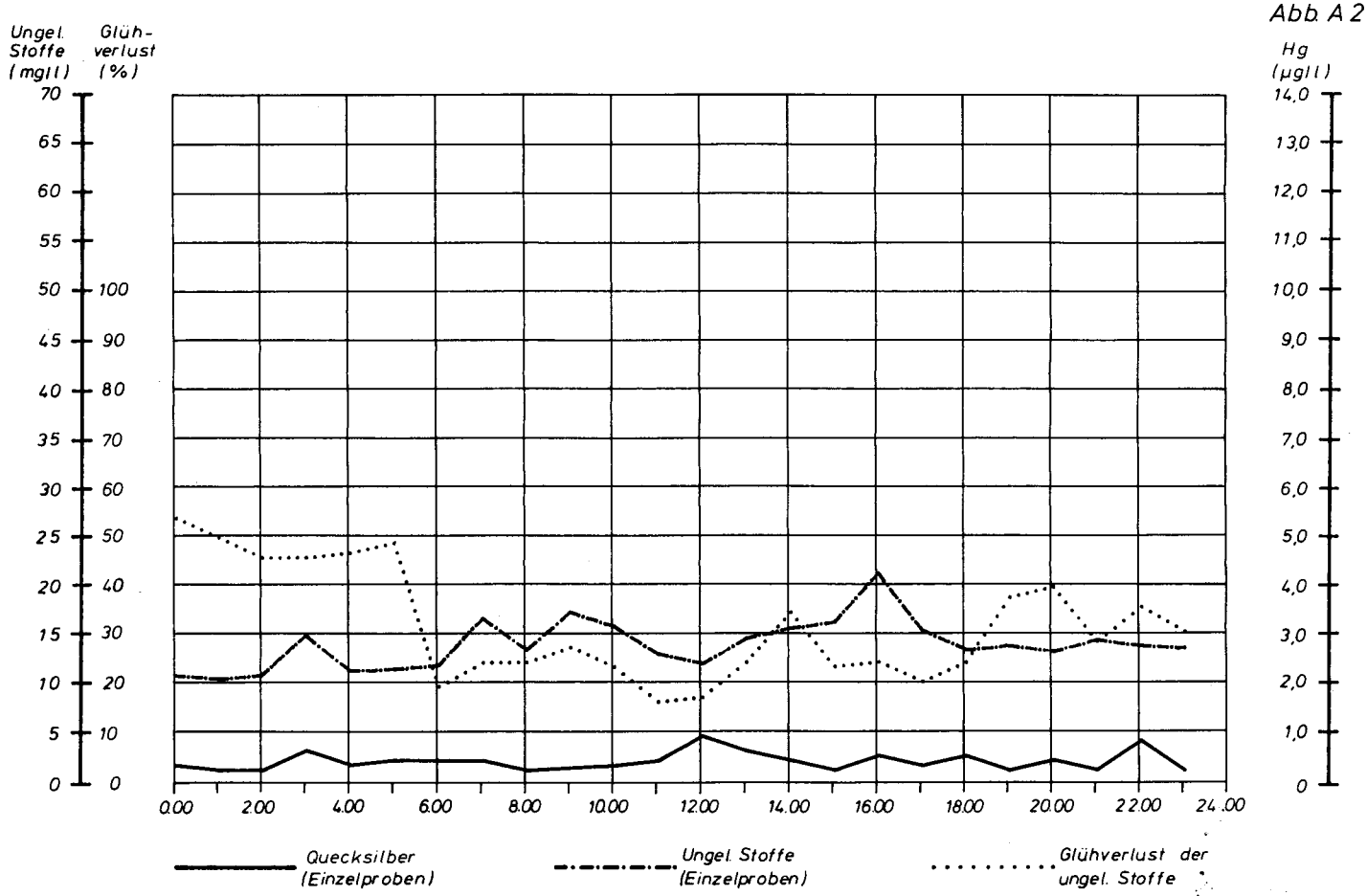
SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 23. 10. 1979

Abb. A 20

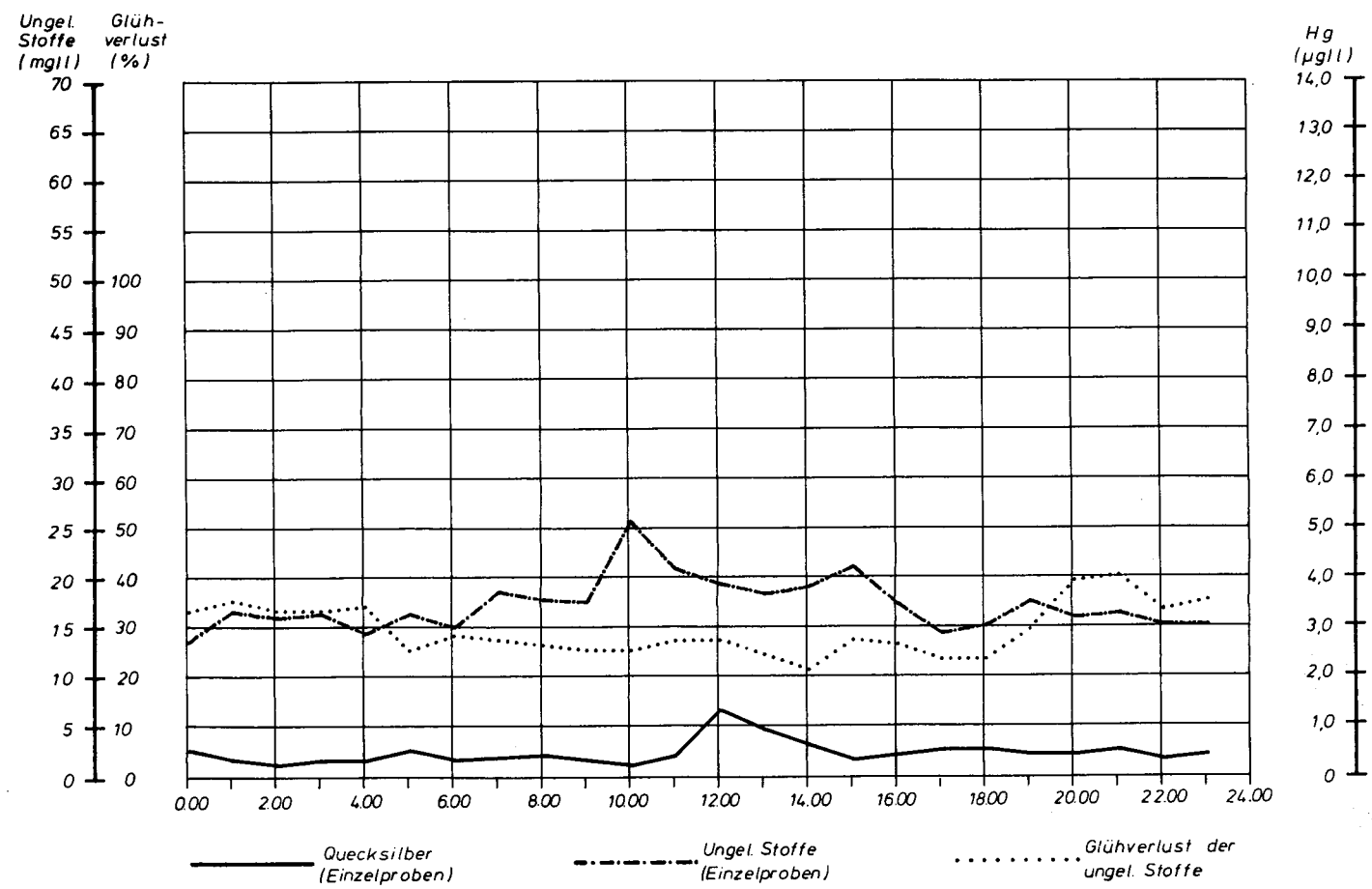


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17.10. - 25.10. 1979

Abb. A 21

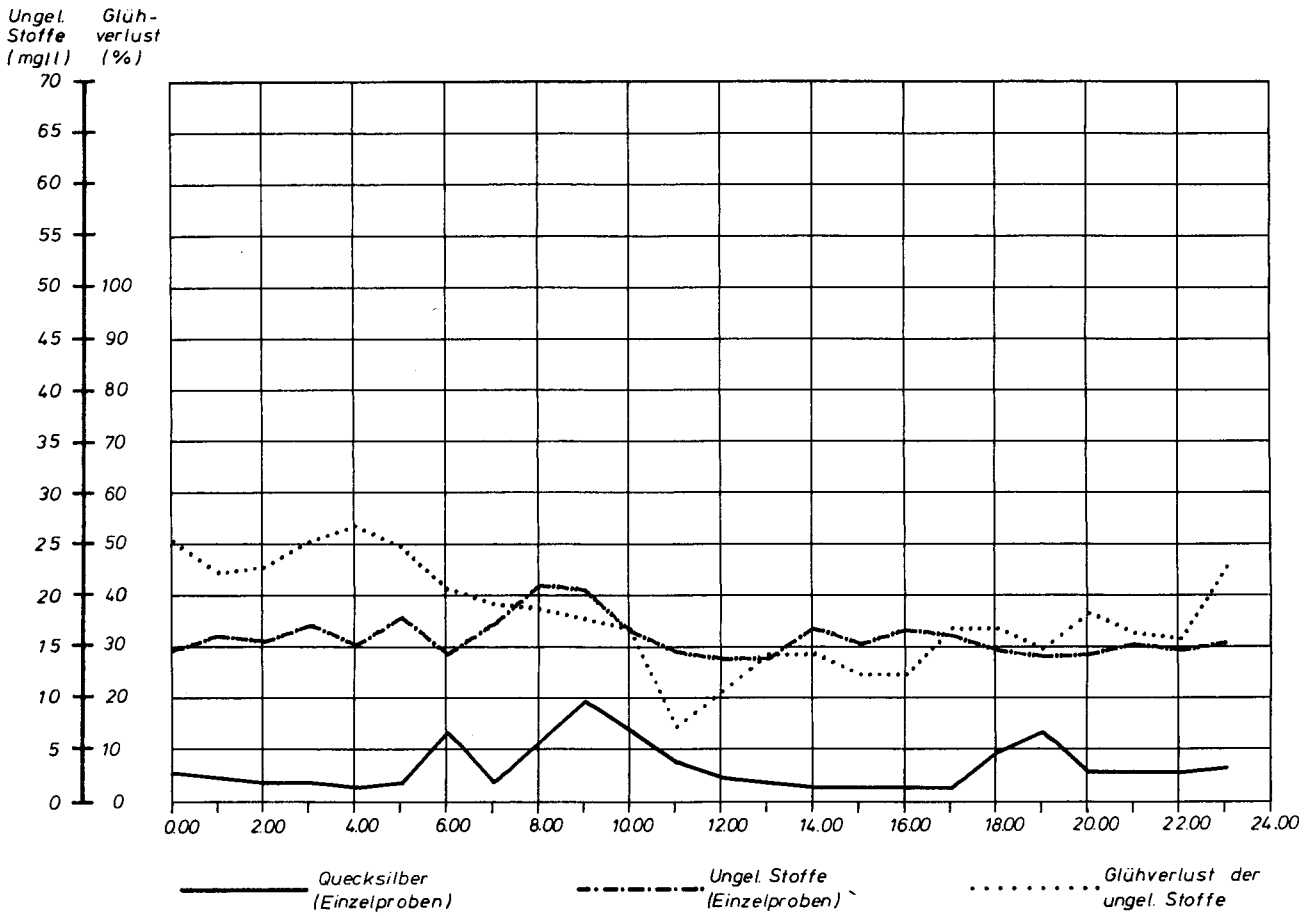


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11. 3. 1980

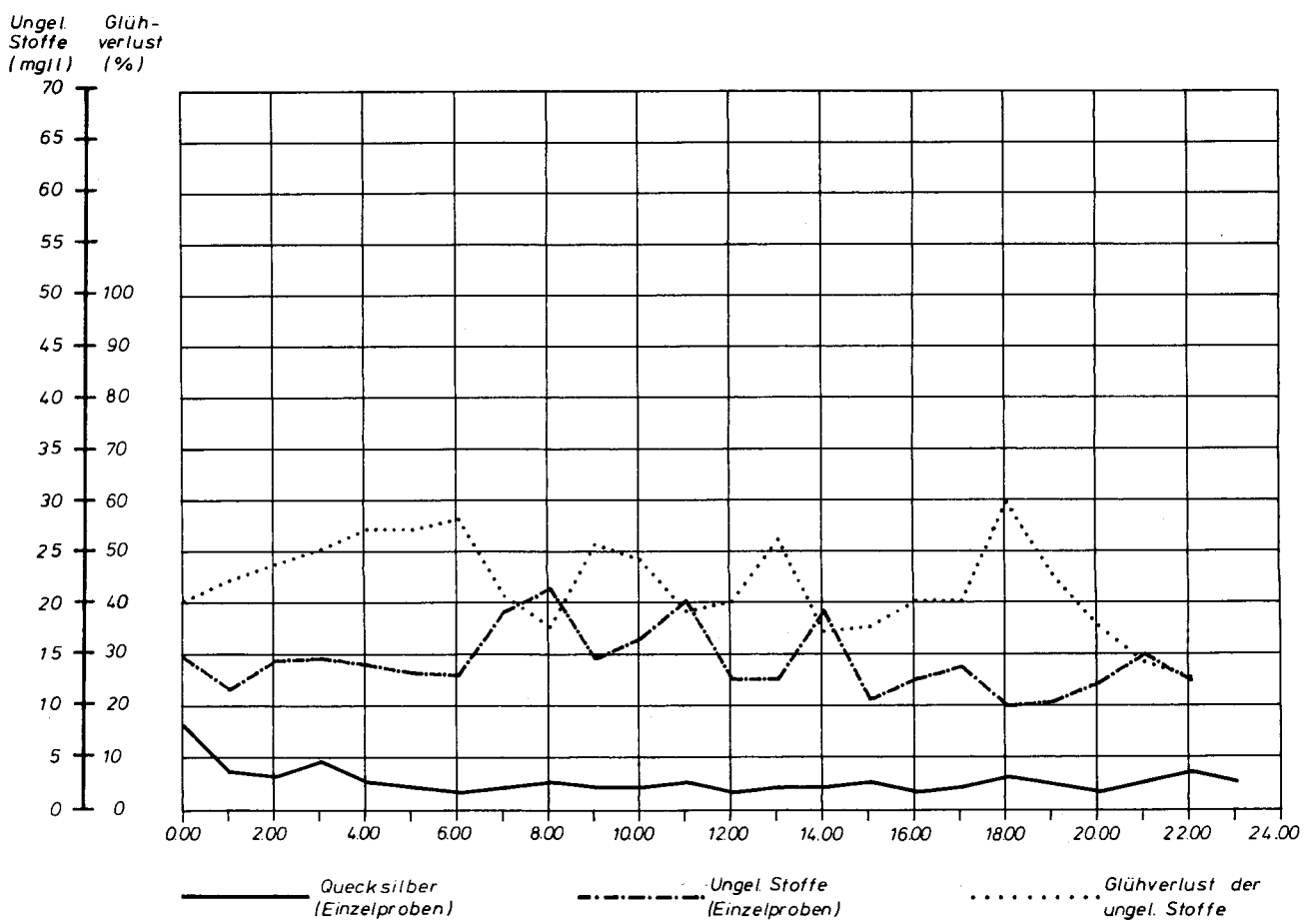


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 13. 3. 1980

Abb. A22

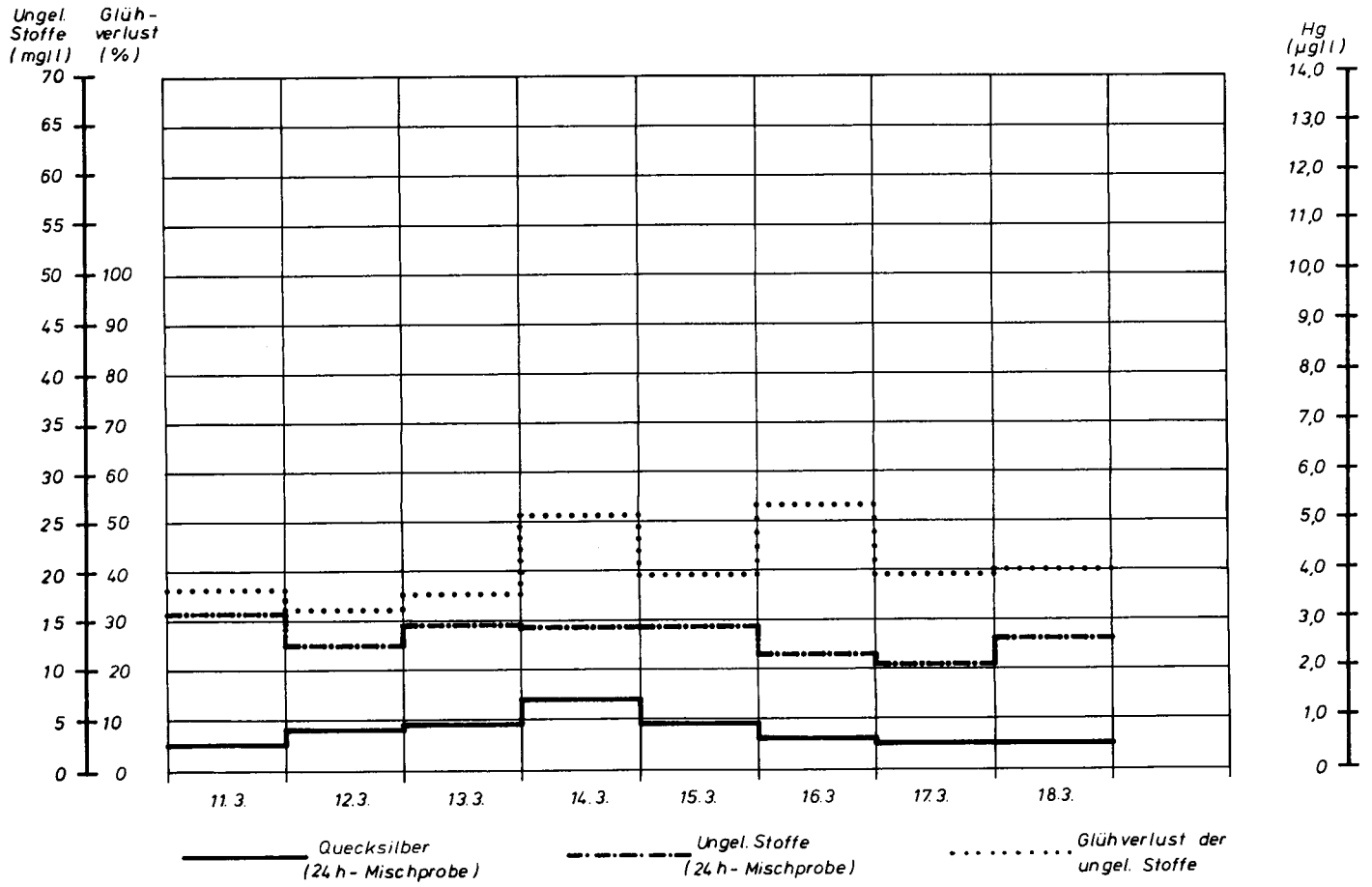


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 15. 3.1980



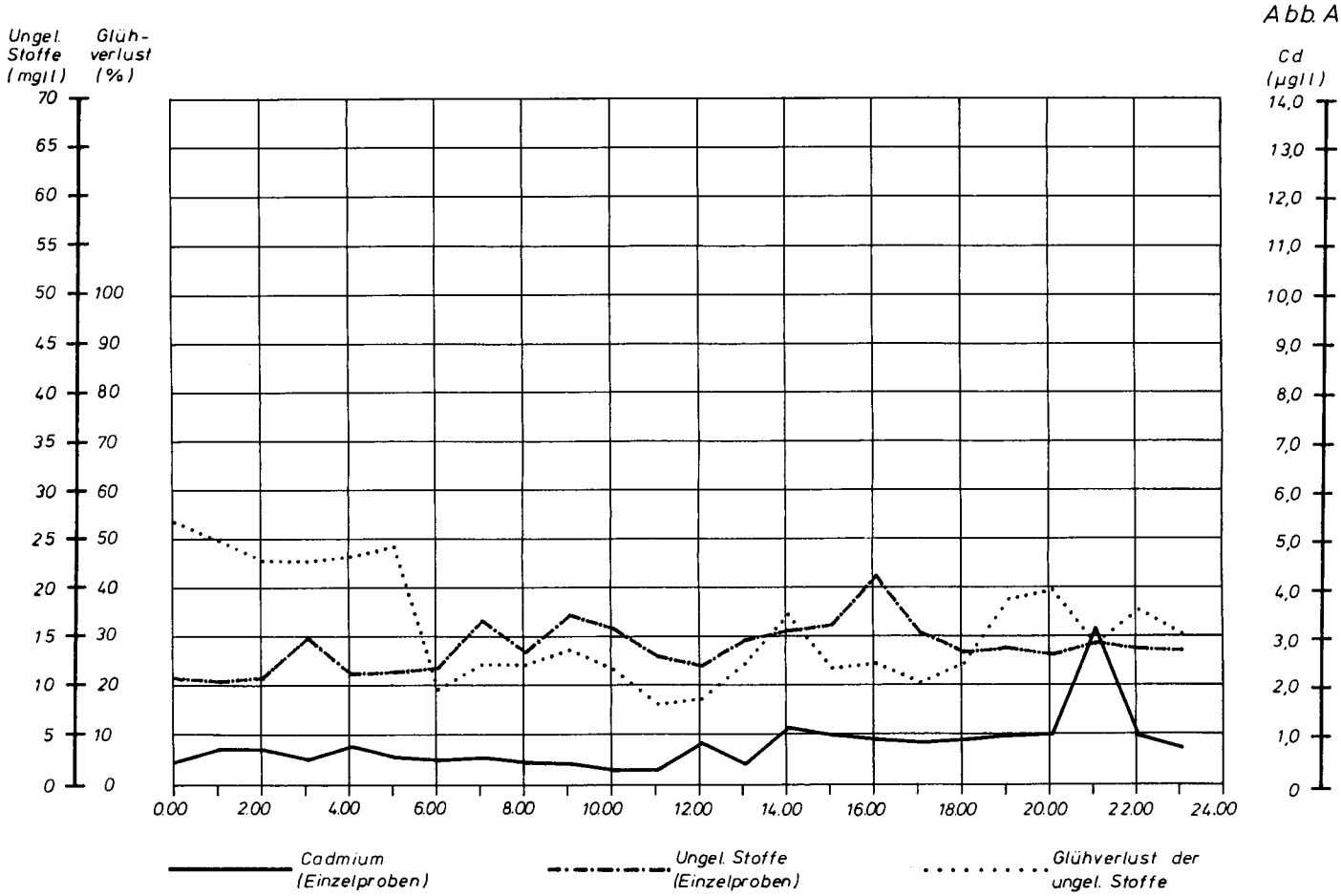
SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17. 3.1980

Abb. A 23

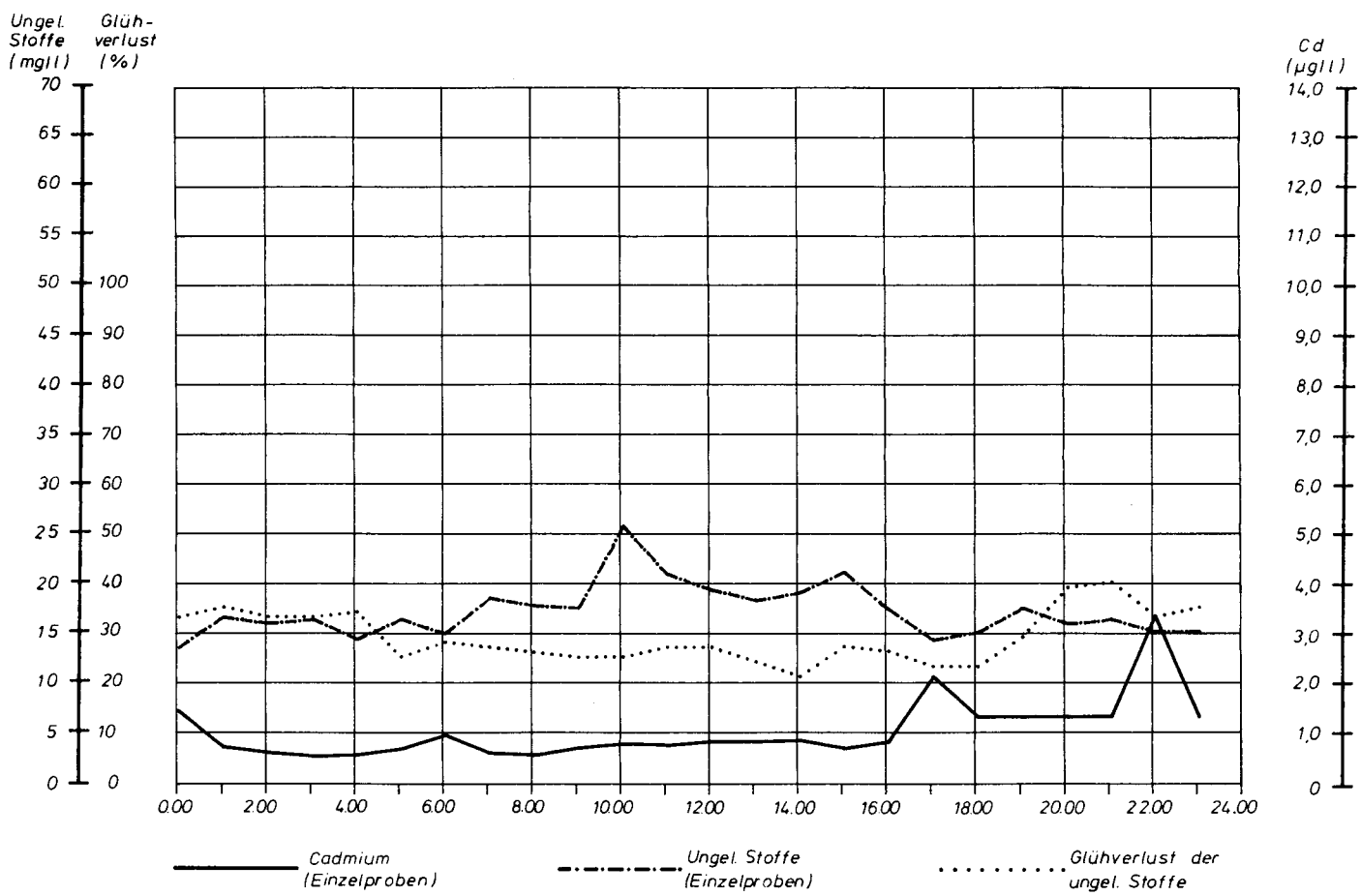


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11.3. - 18.3.1980

Abb. A 24

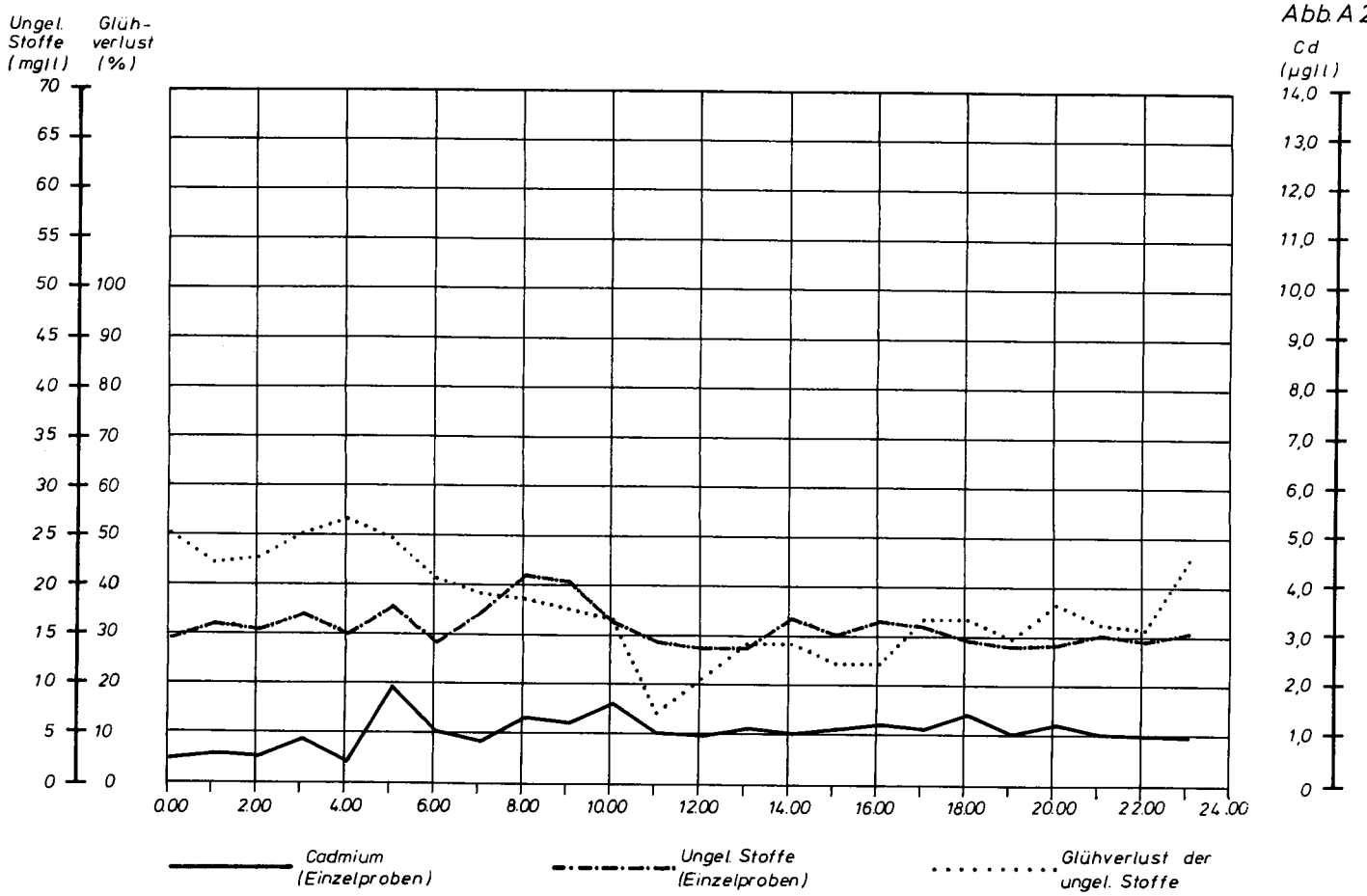


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11. 3. 1980

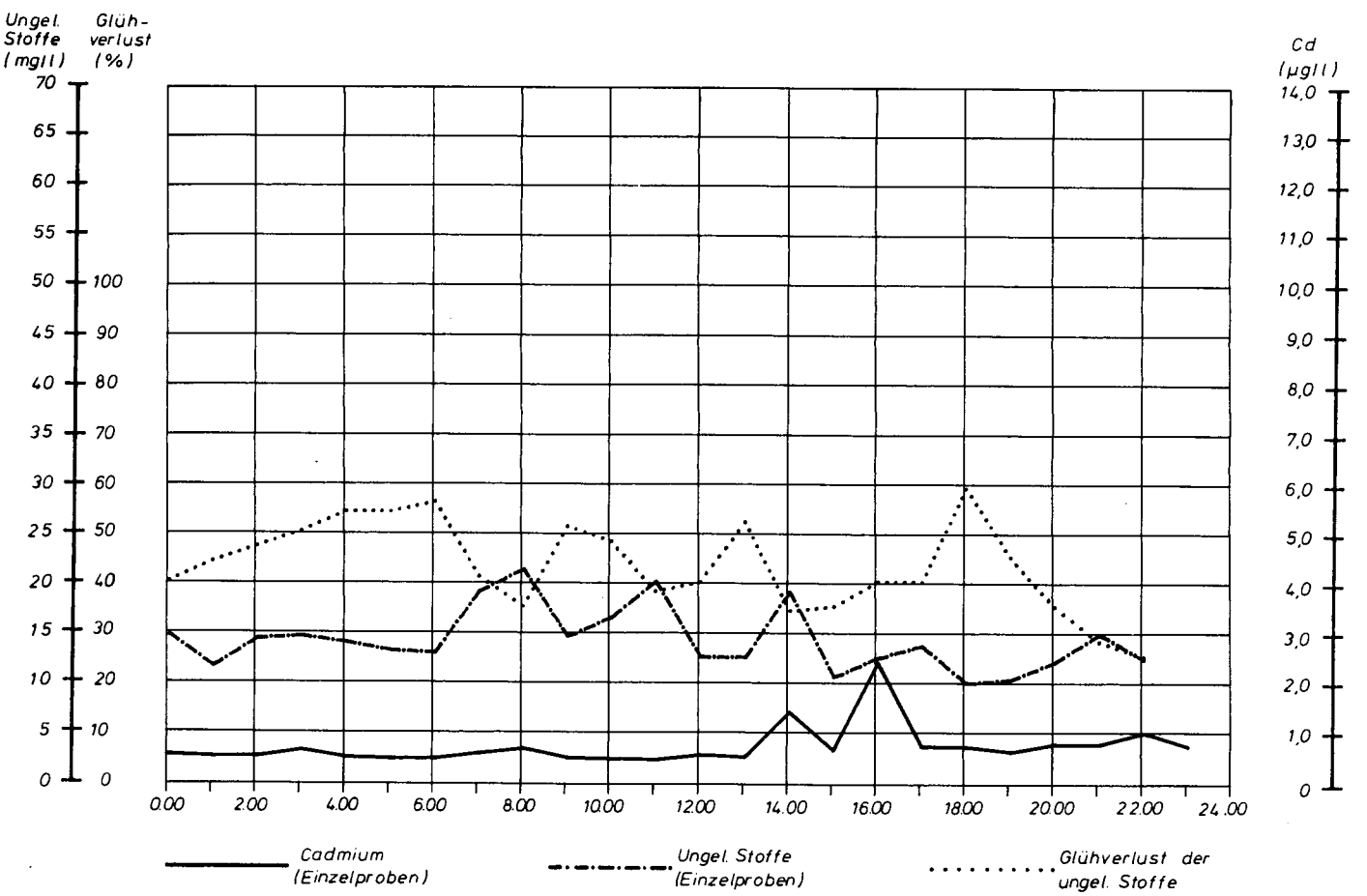


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 13. 3. 1980

Abb. A 25

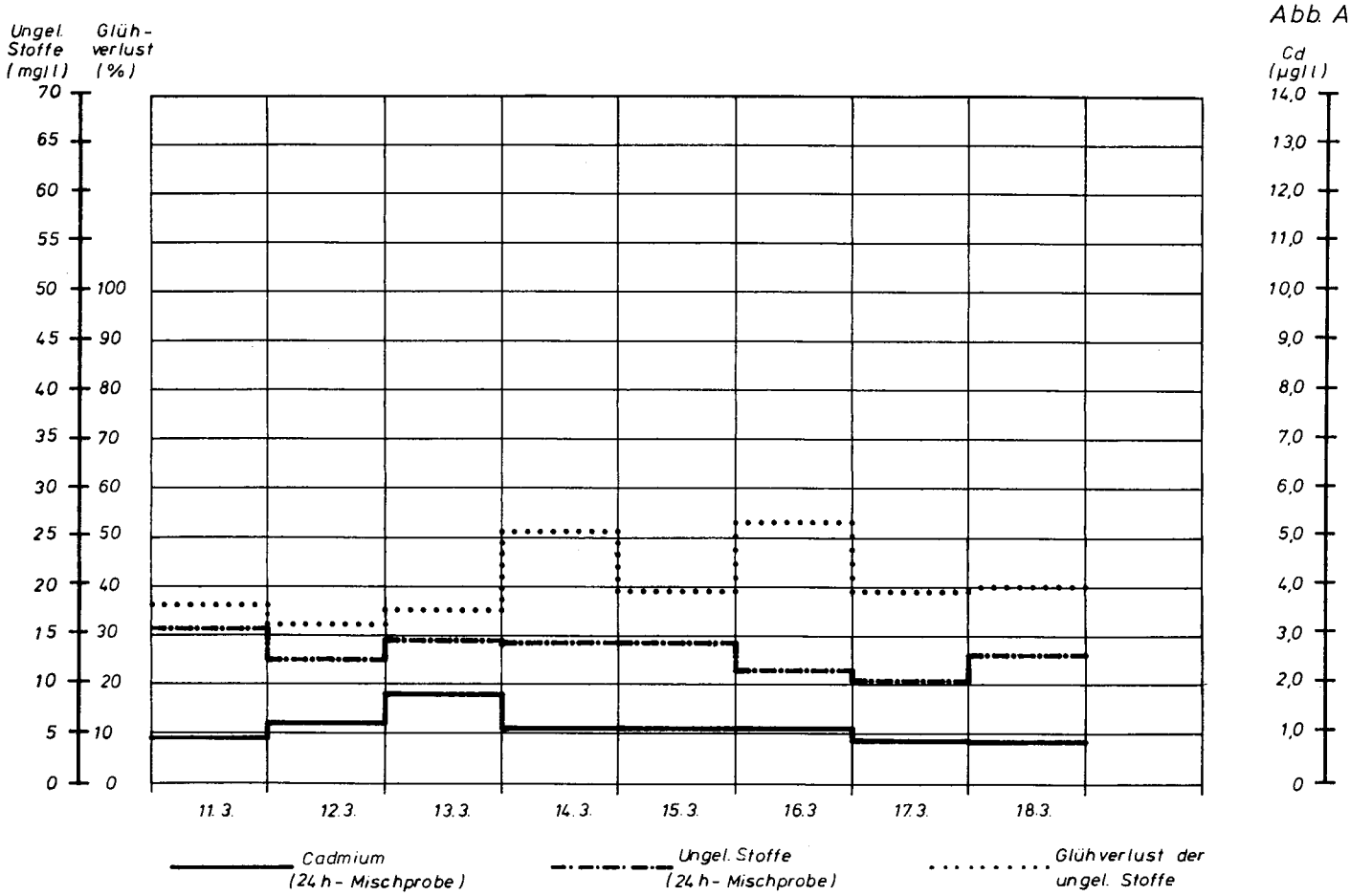


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 15. 3. 1980



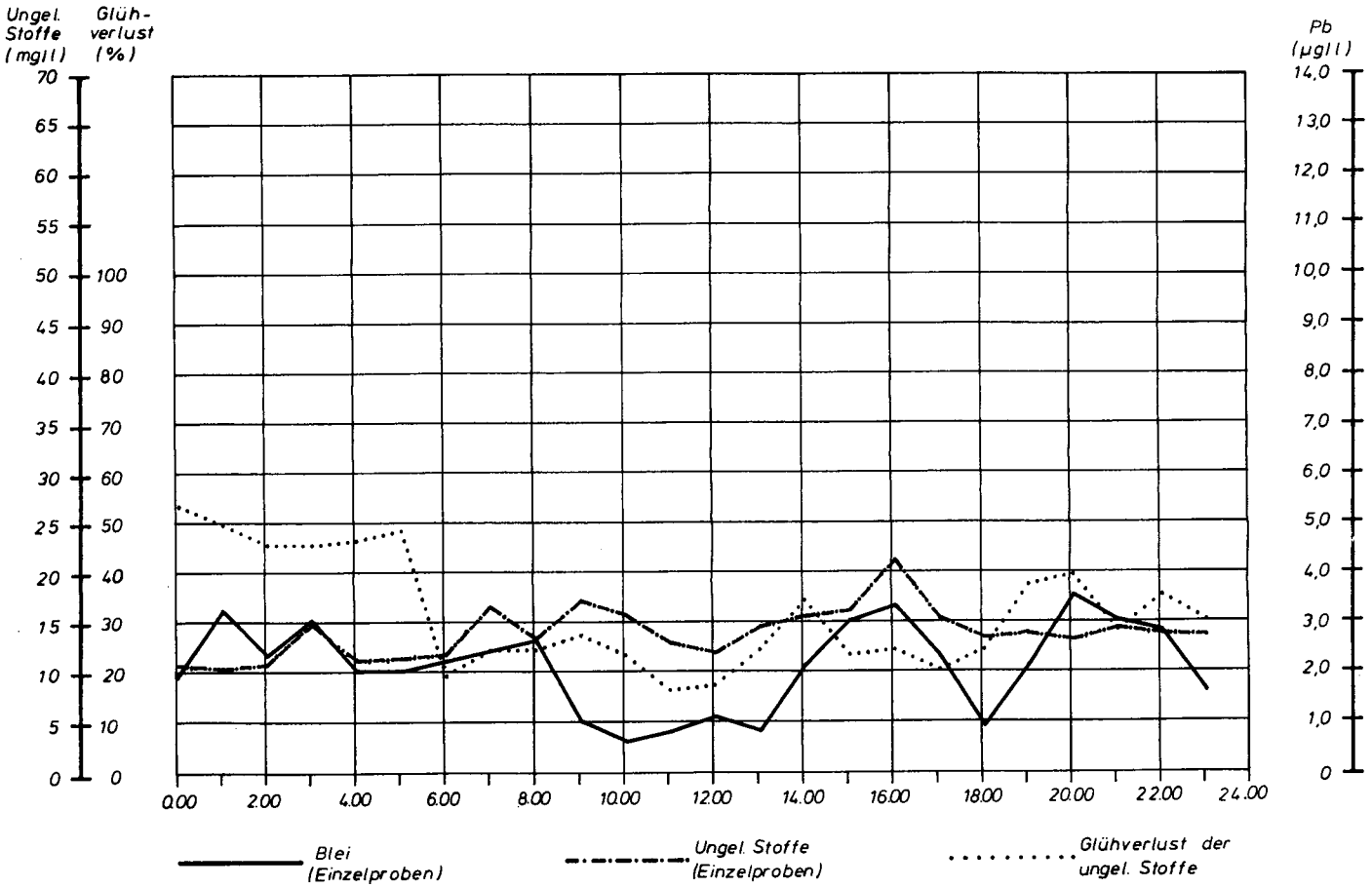
SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17. 3. 1980

Abb. A 26

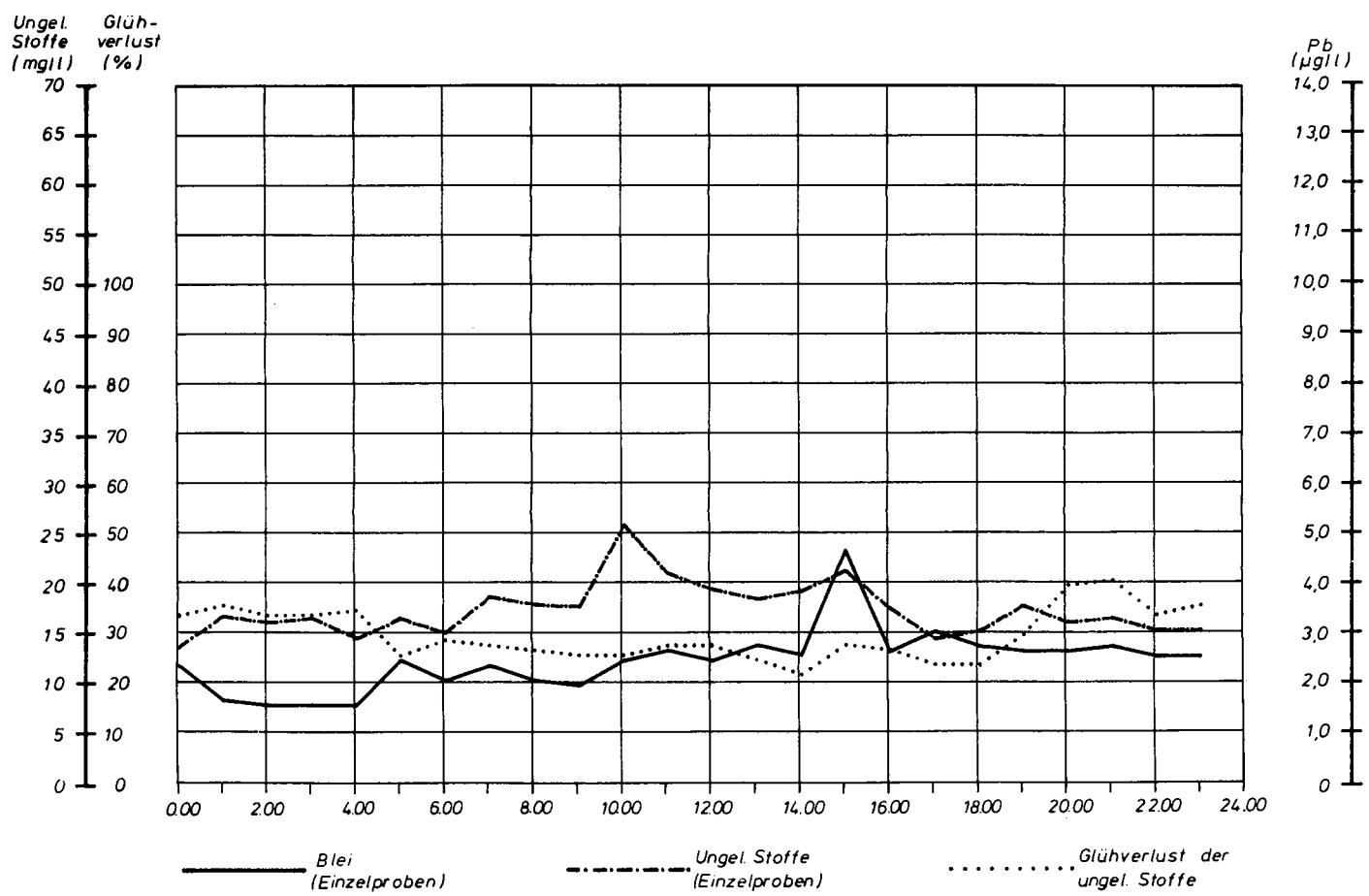


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11.3. - 18.3.1980

Abb. A 27

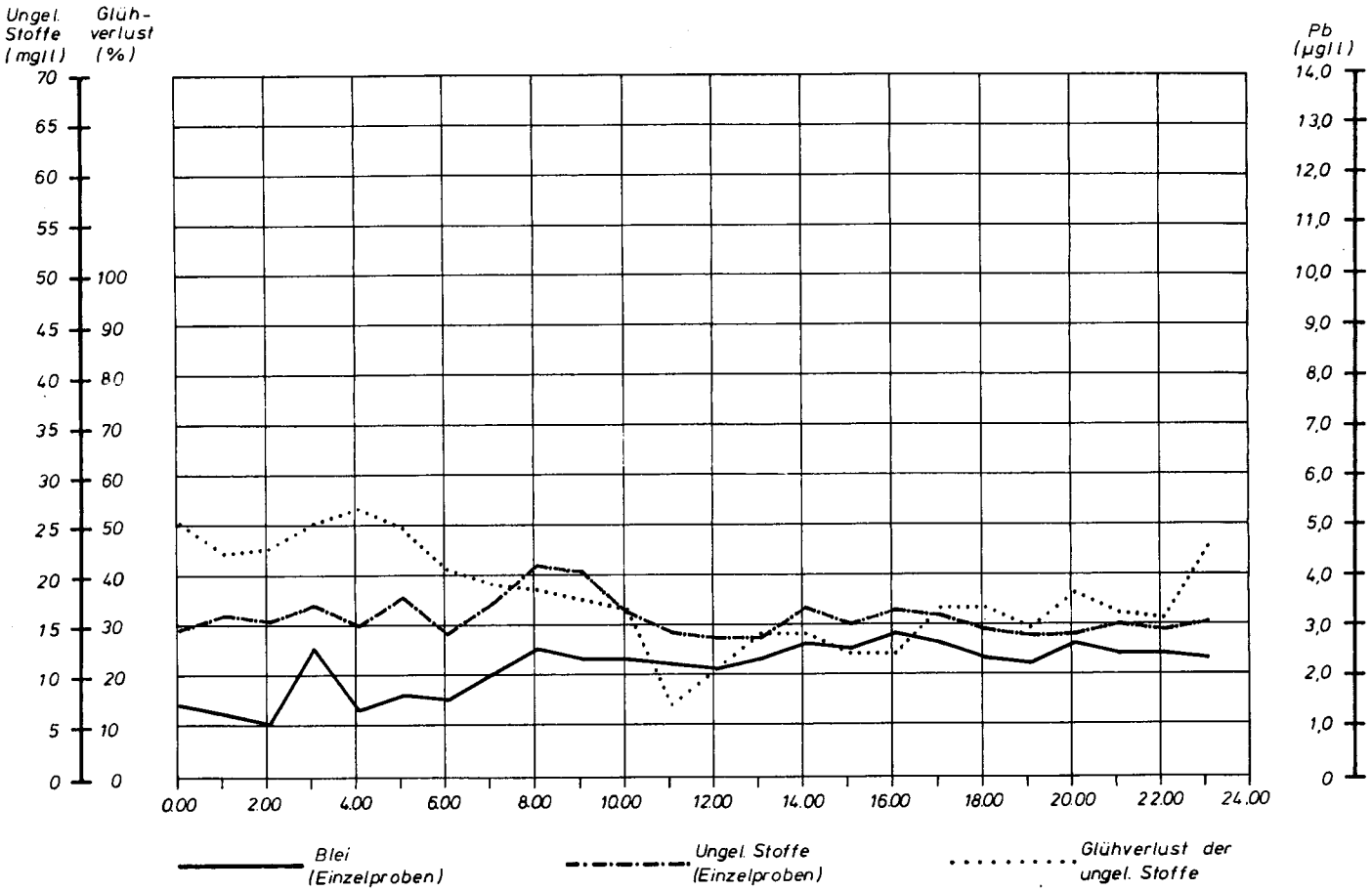


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11.3.1980

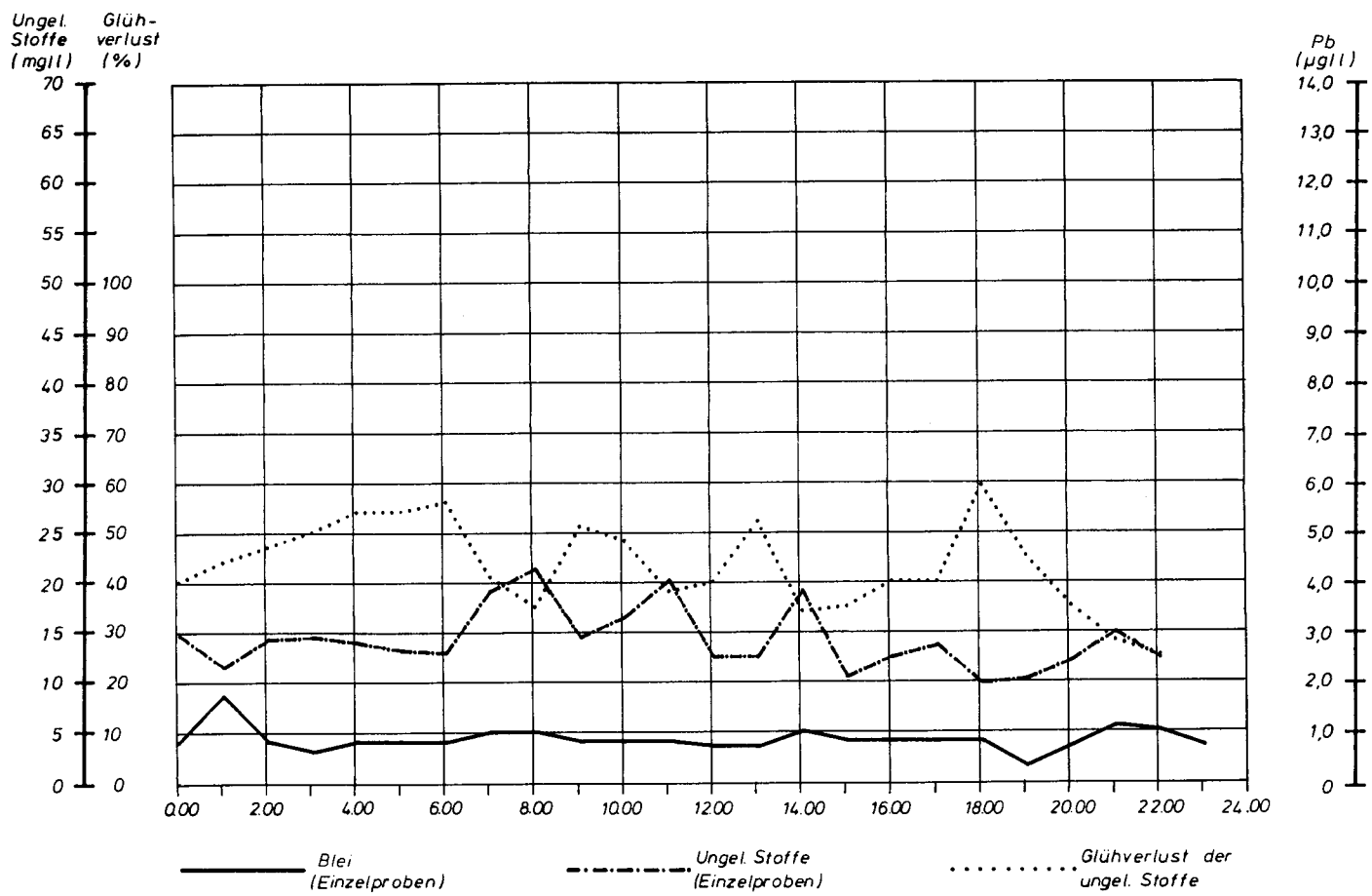


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 13.3.1980

Abb. A28

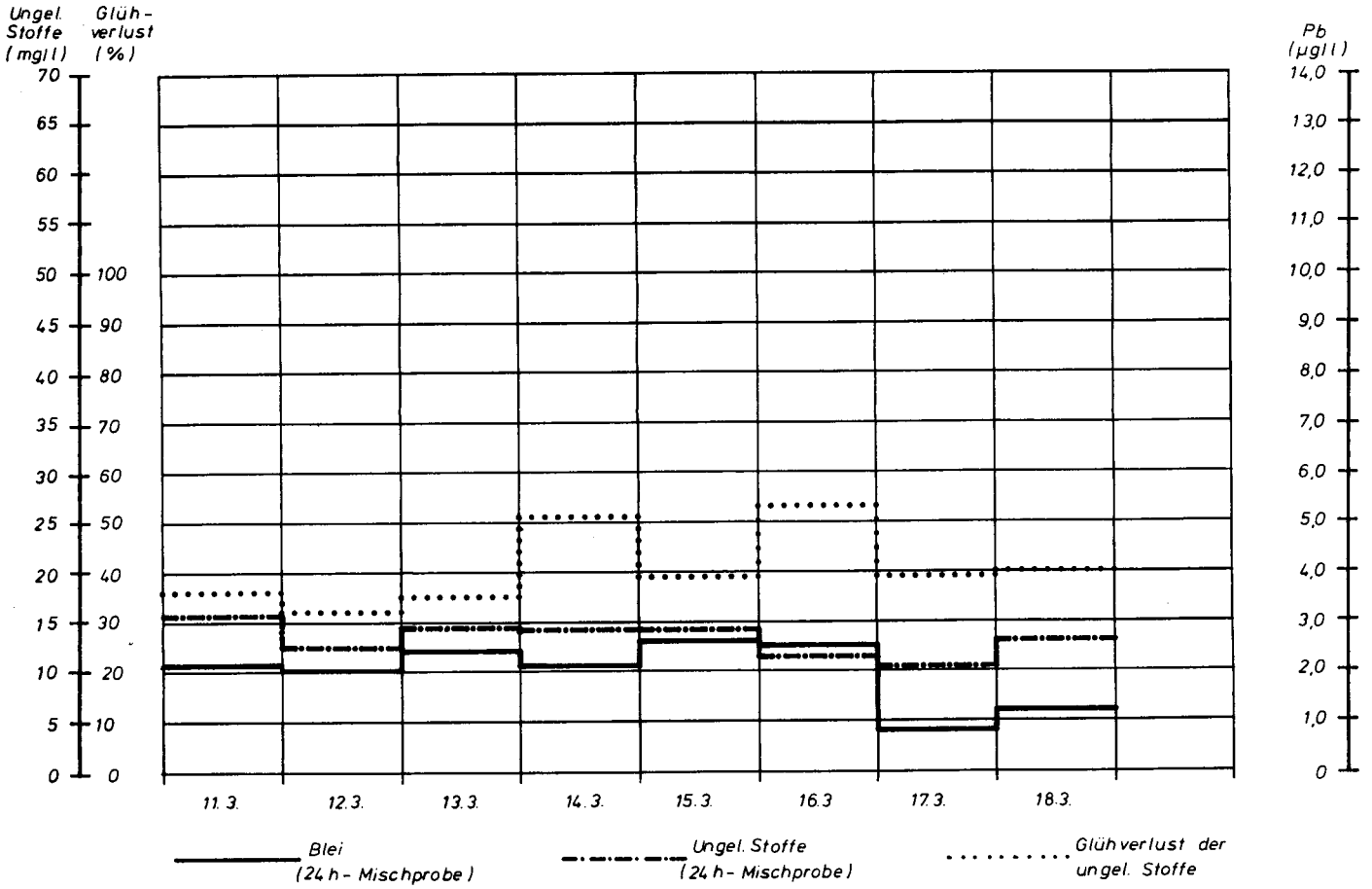


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 15.3.1980



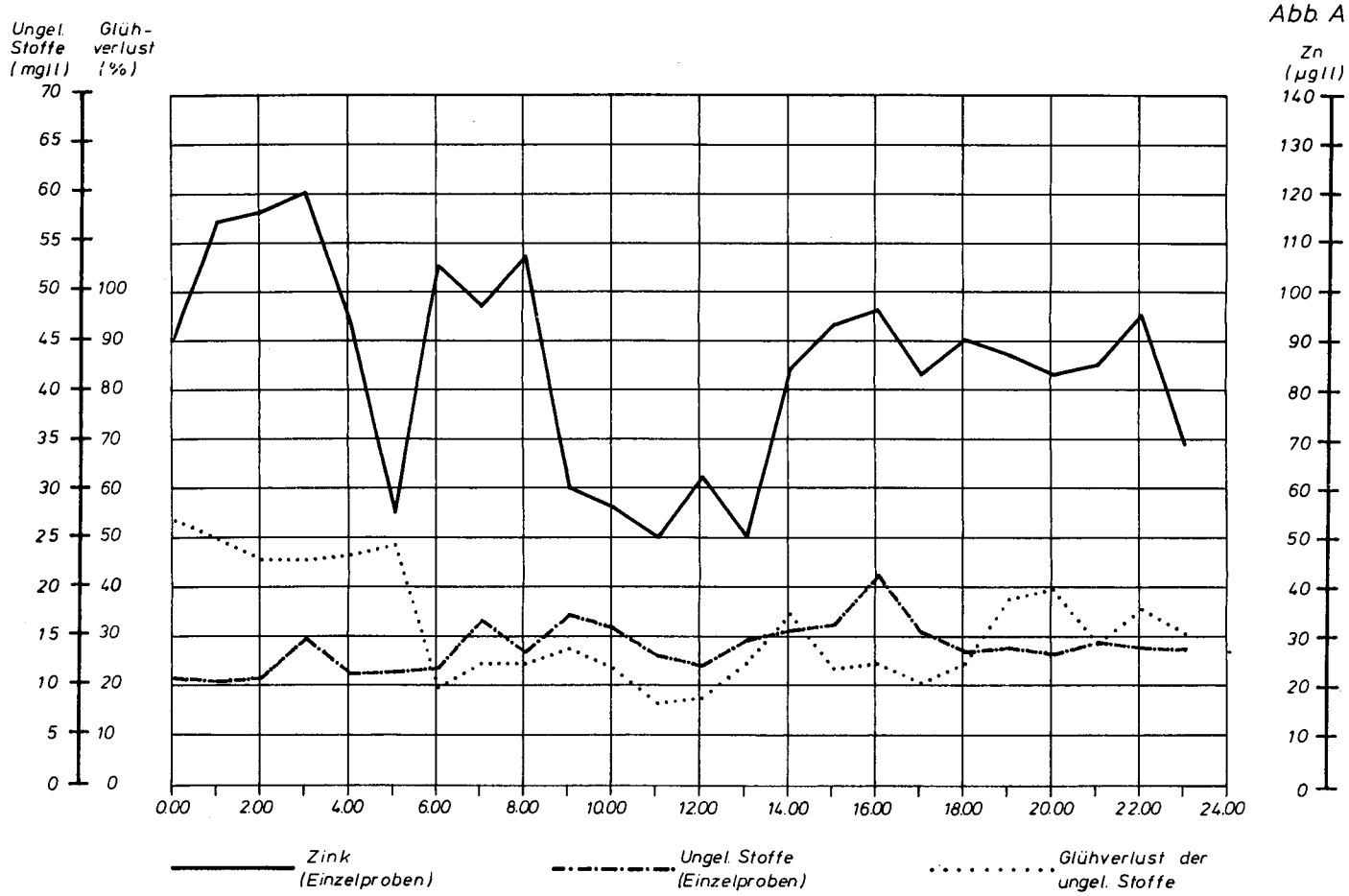
SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17.3.1980

Abb. A 29

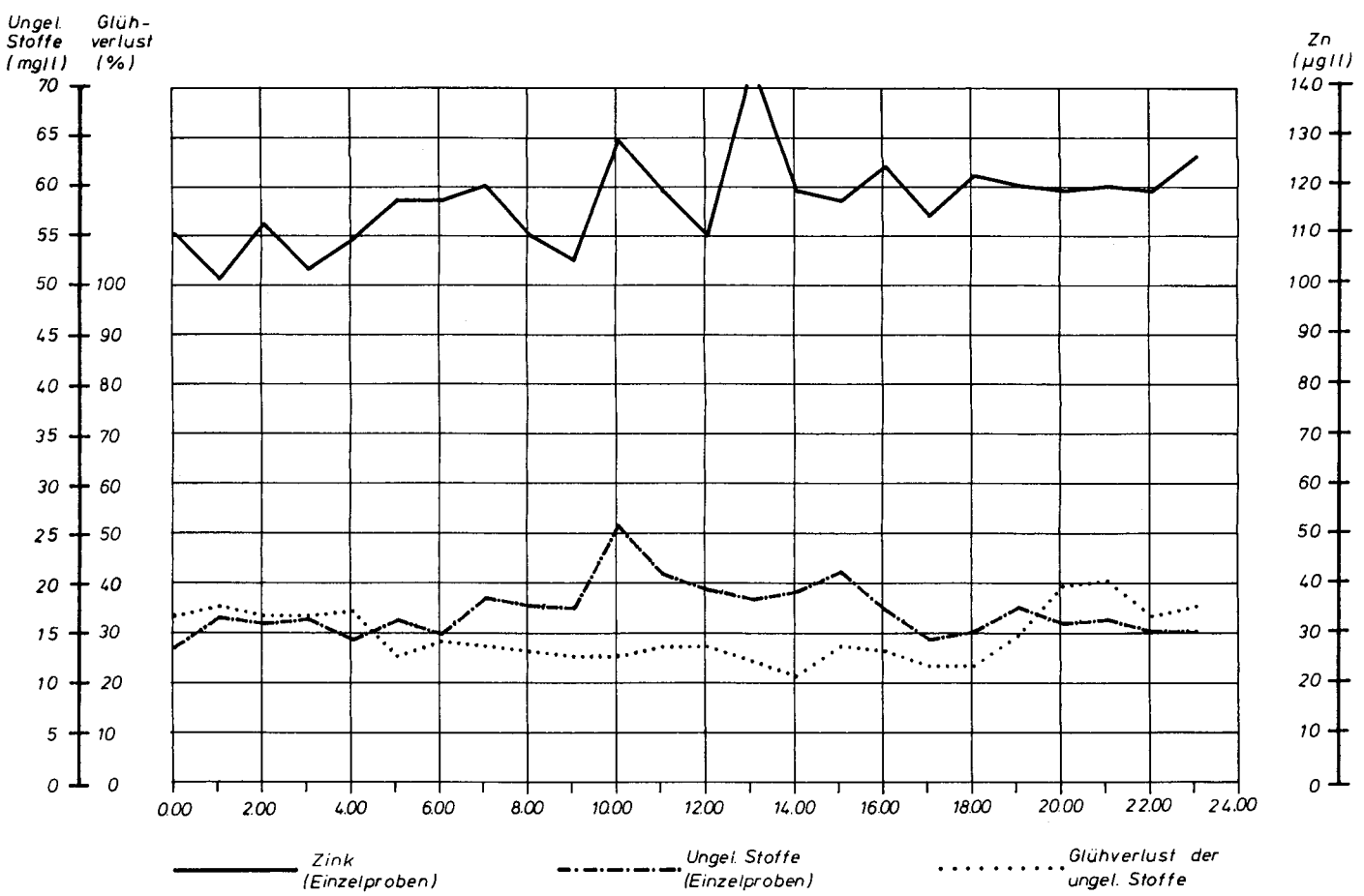


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11.3. - 18.3.1980

Abb. A30

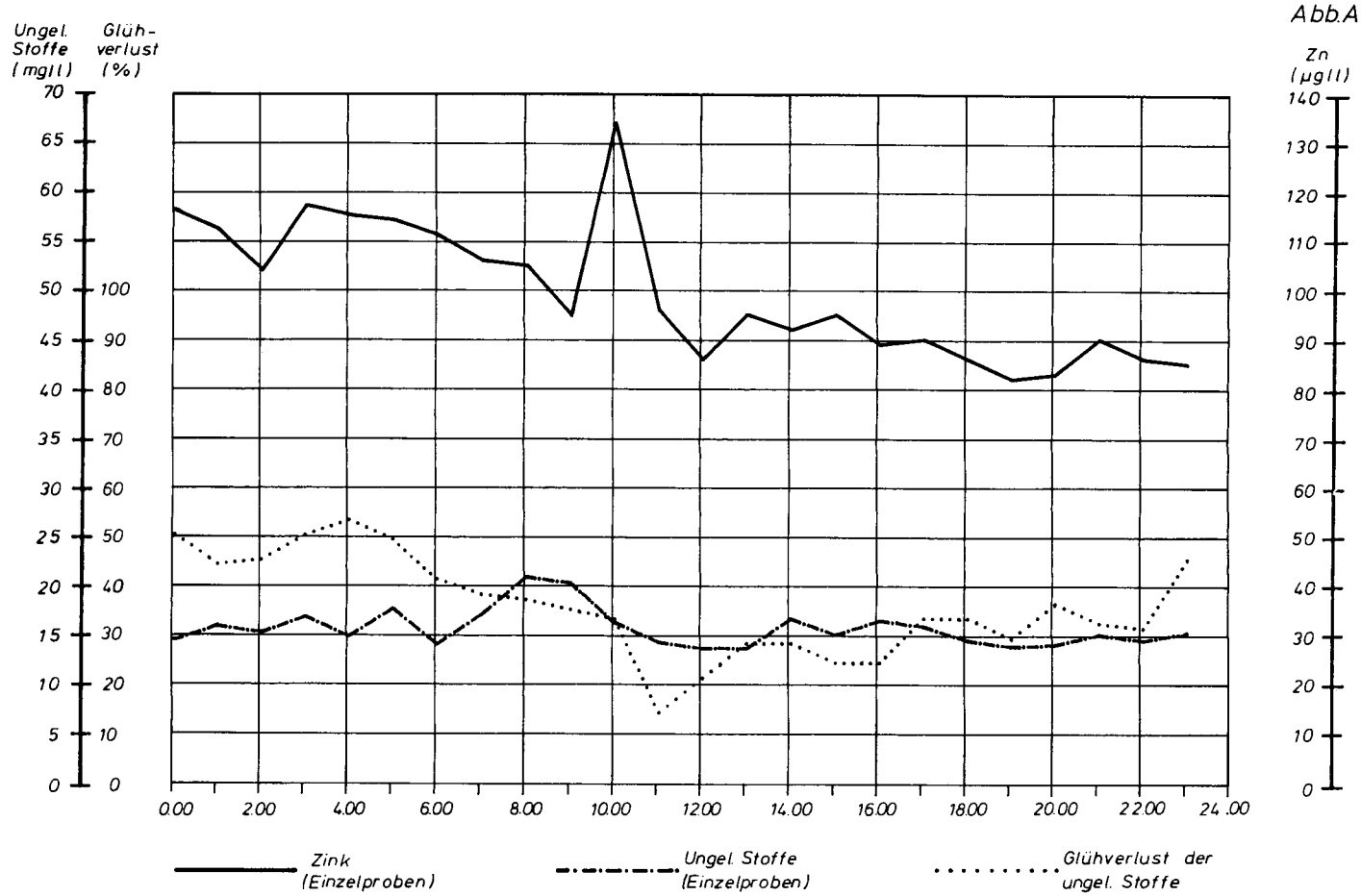


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11.3.1980

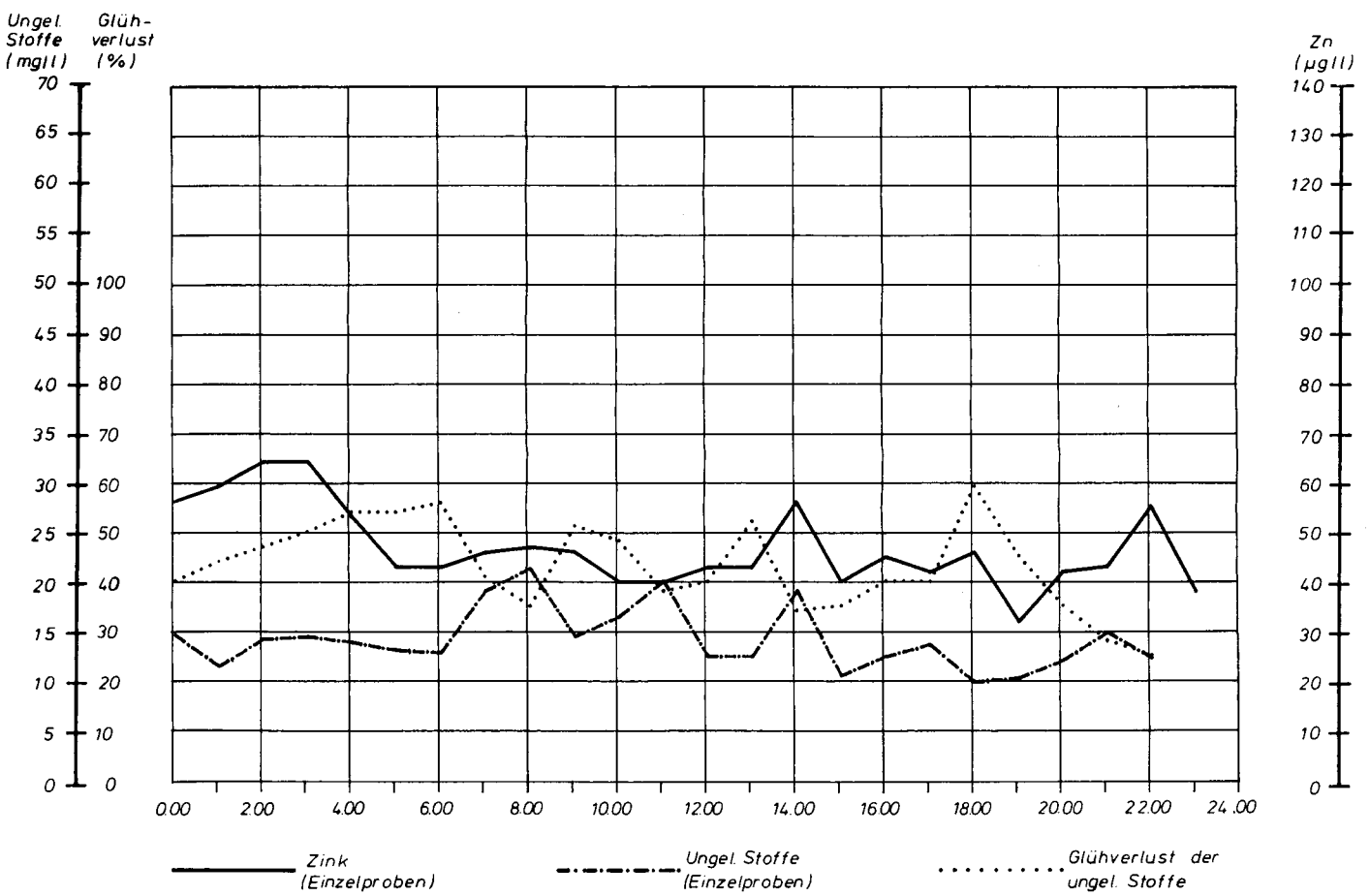


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 13.3.1980

Abb.A 31

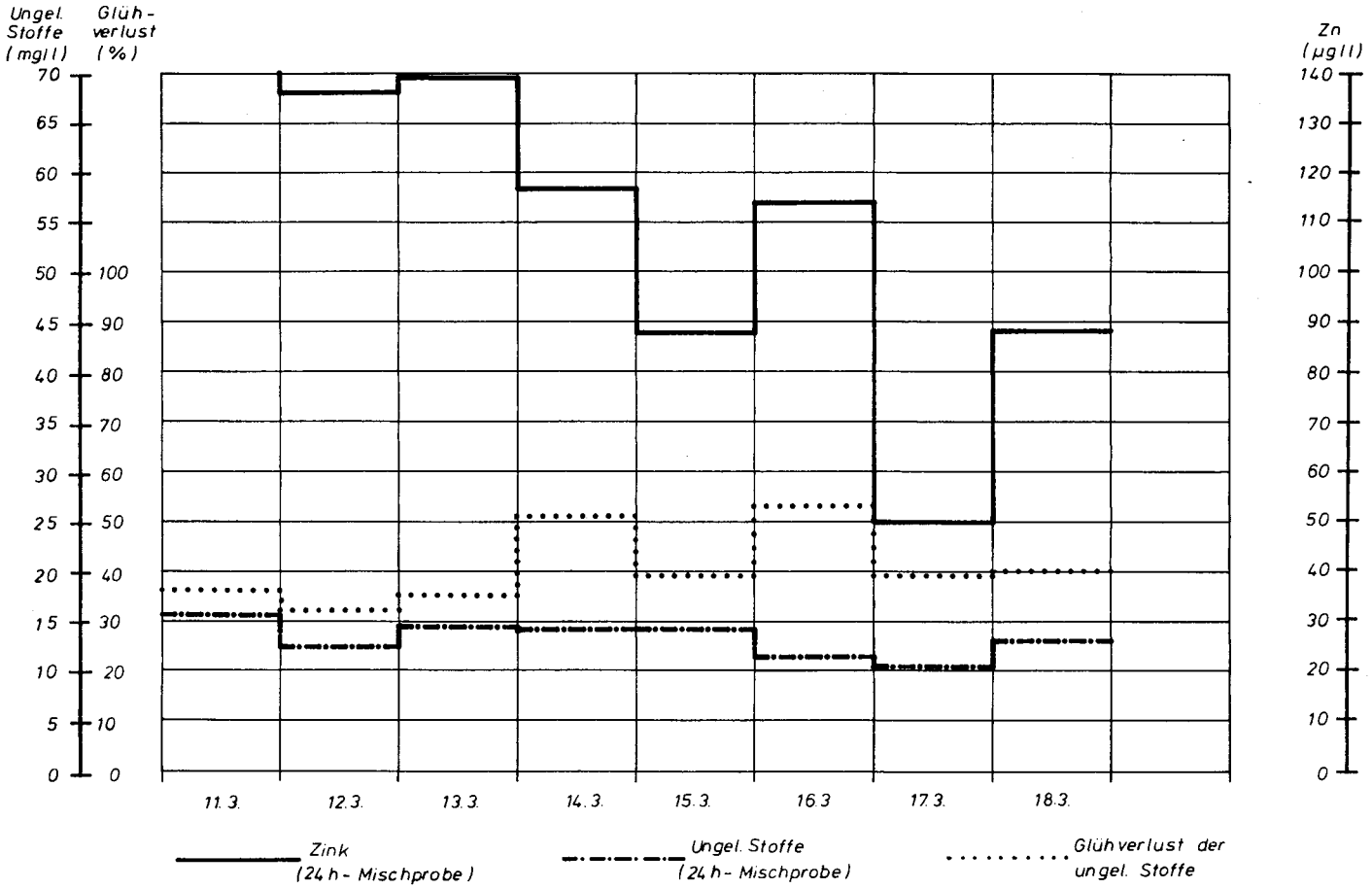


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 15. 3. 1980



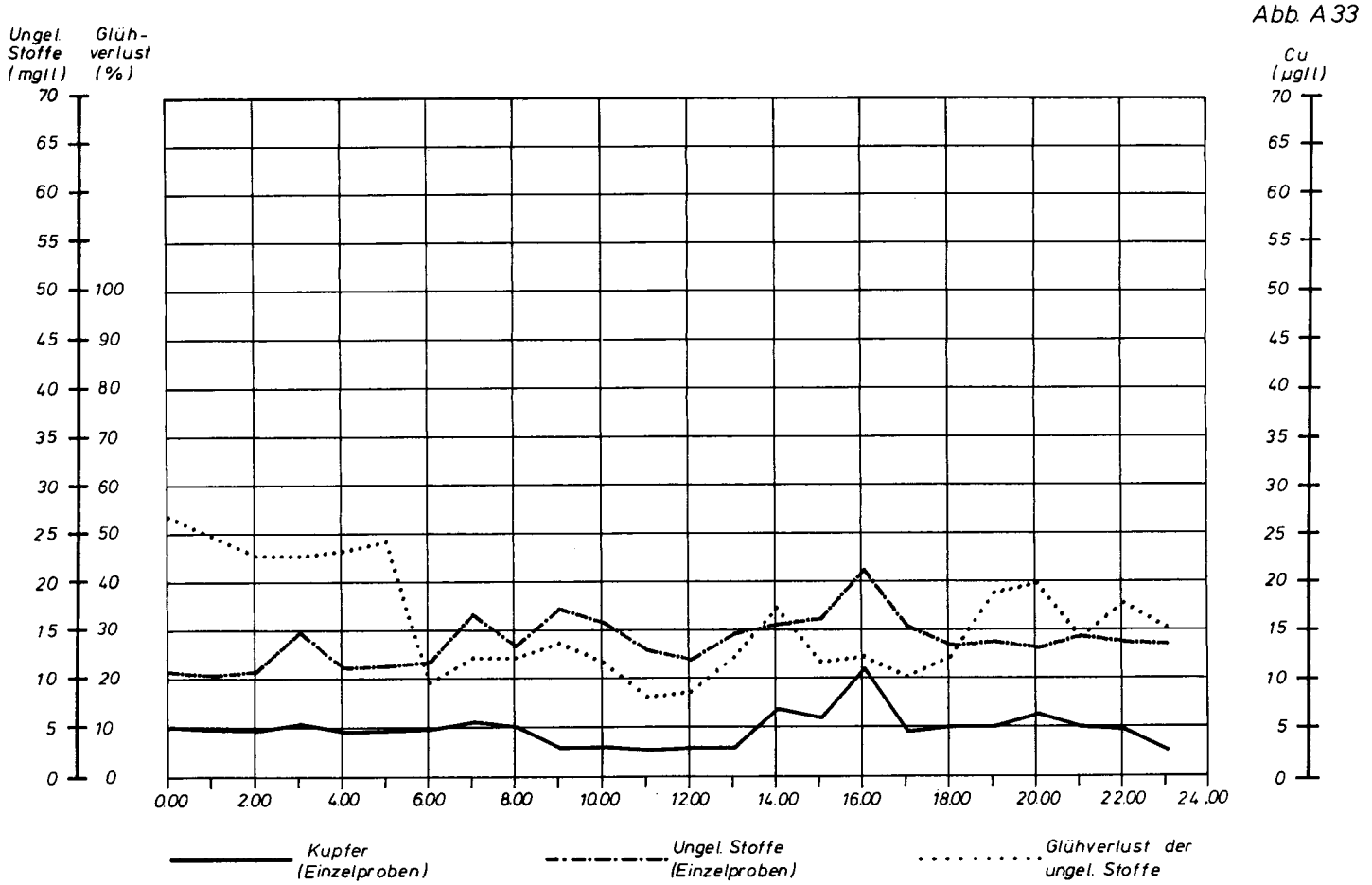
SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17. 3. 1980

Abb. A 32

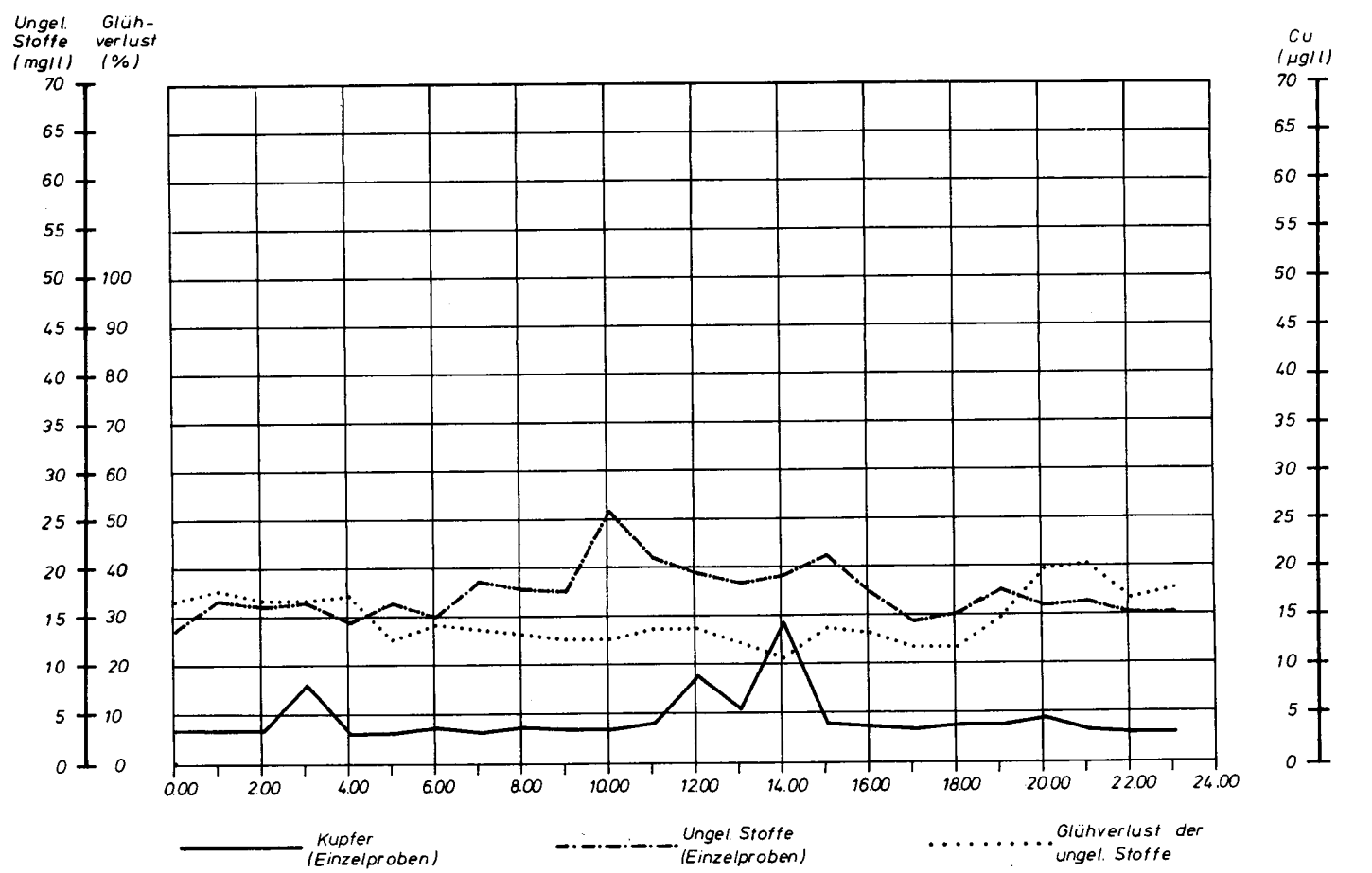


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11.3. - 18.3.1980

Abb. A 33

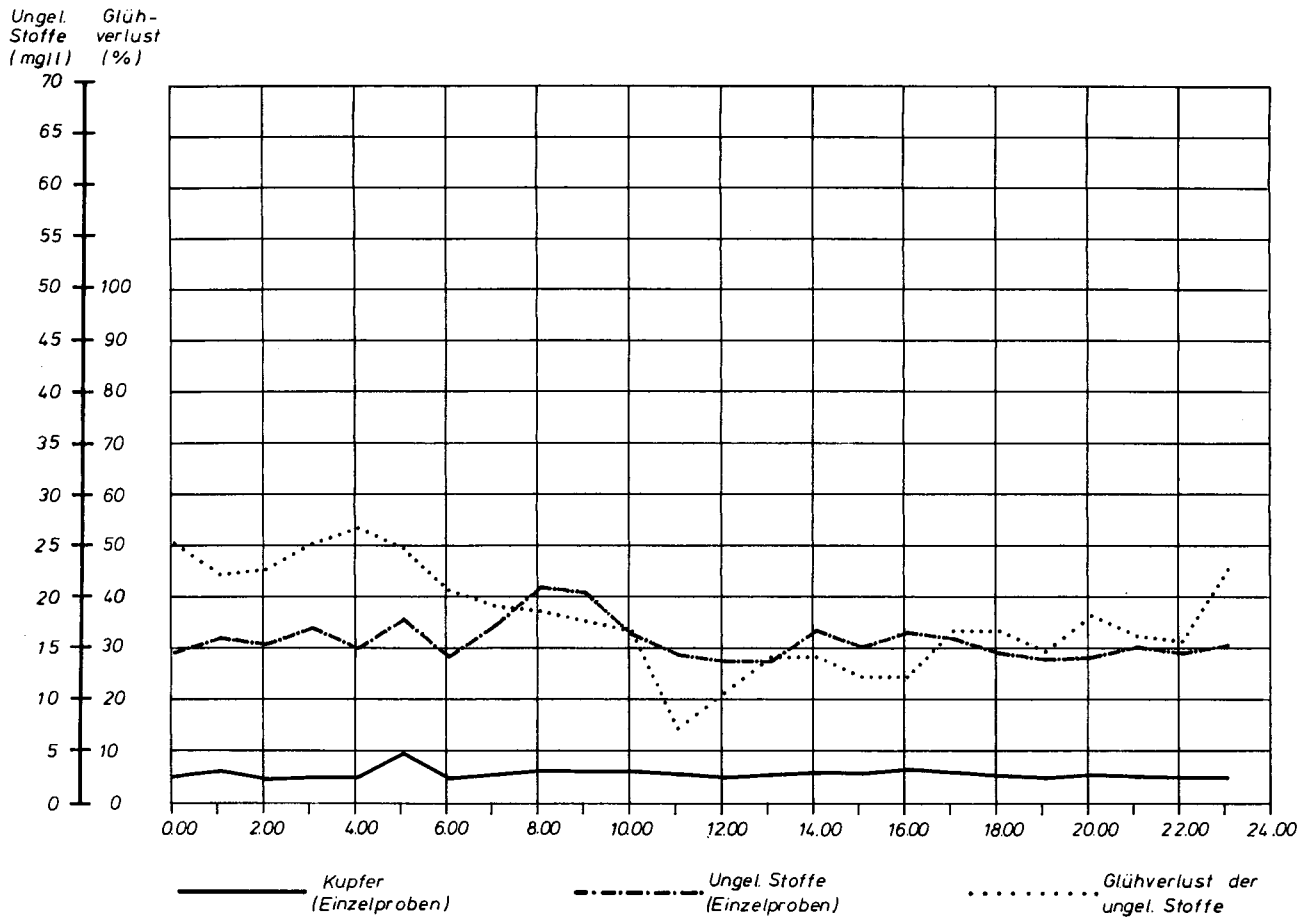


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11. 3. 1980

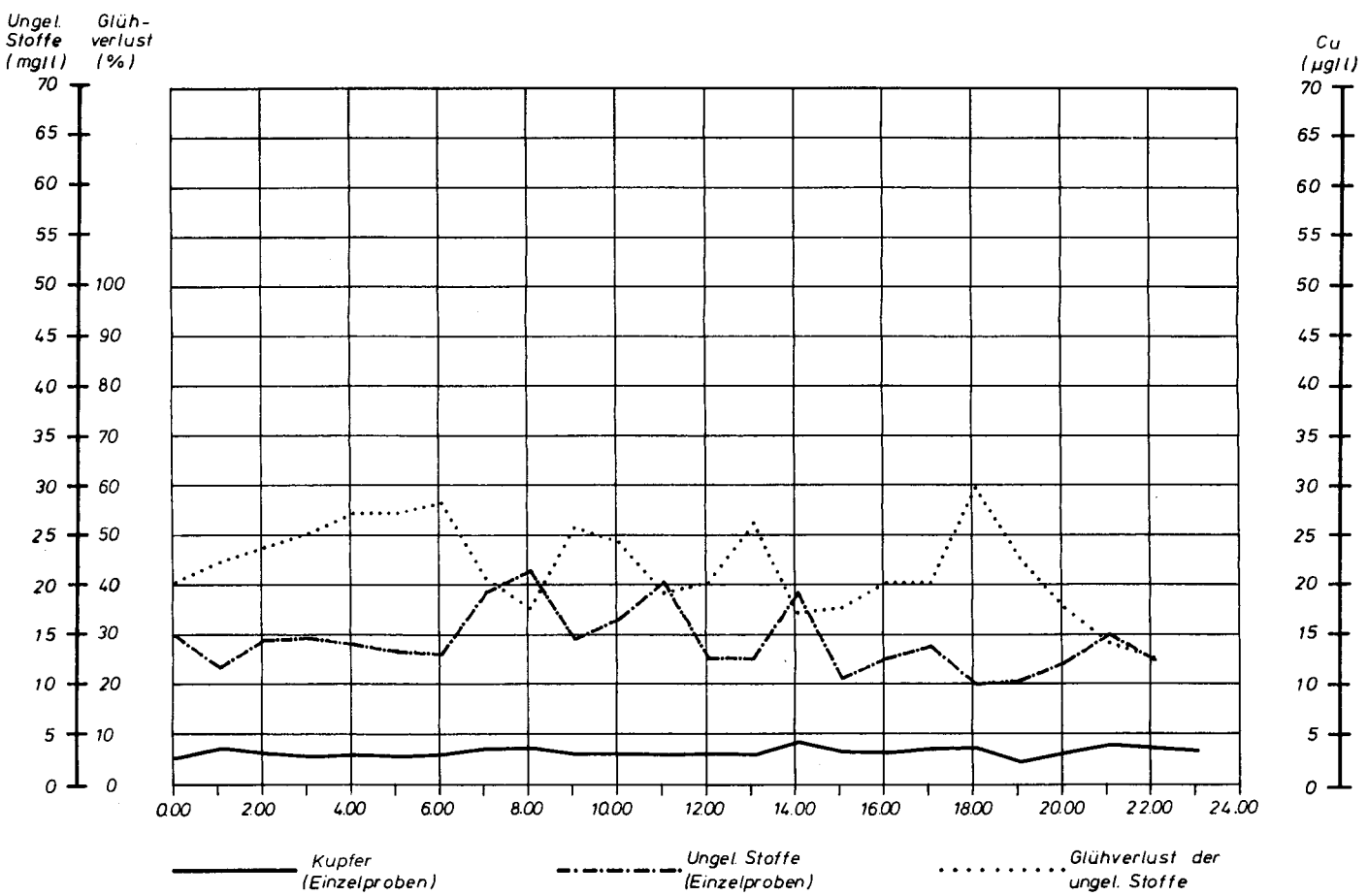


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 13. 3. 1980

Abb. A 34

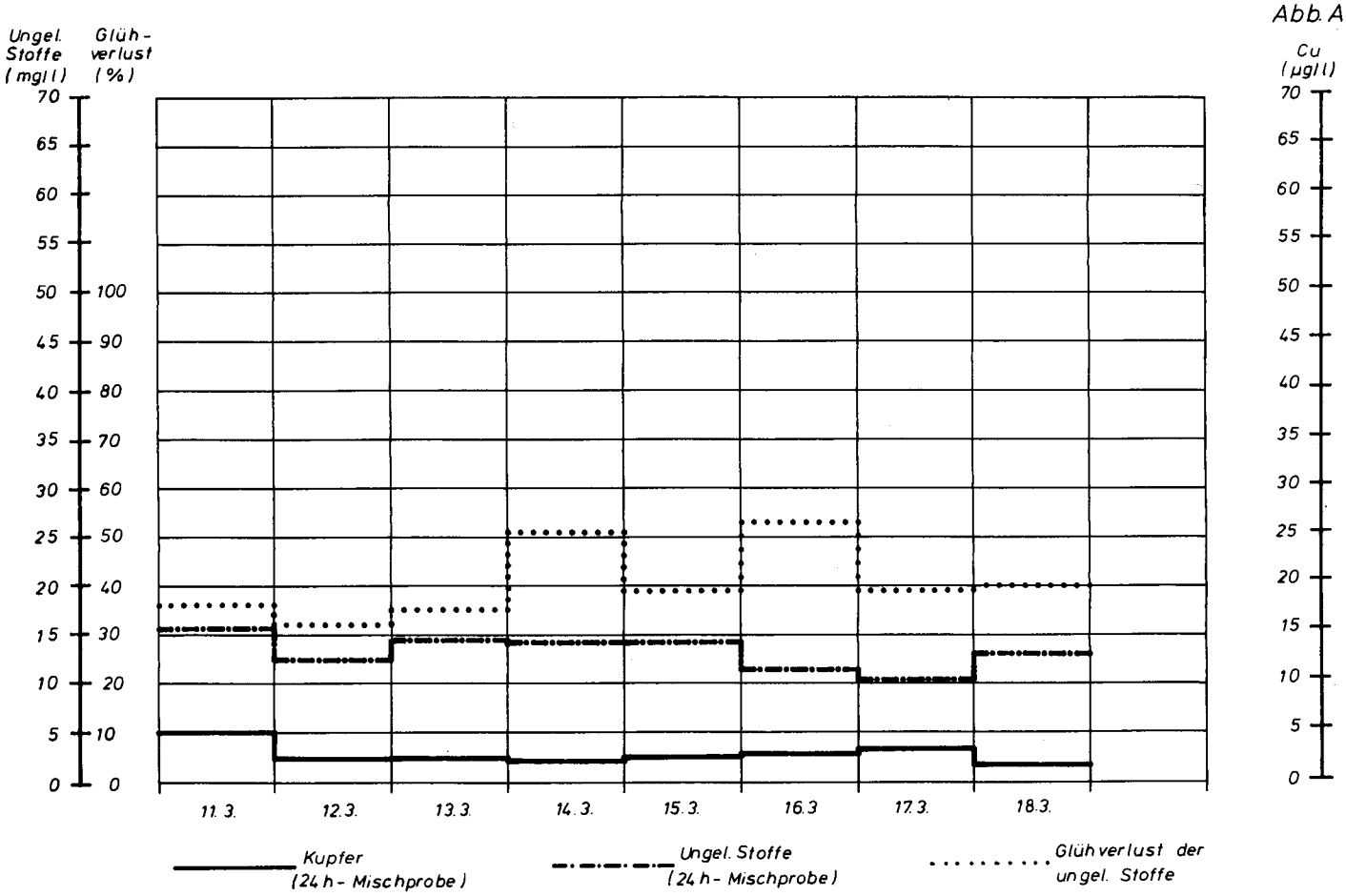


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 15. 3. 1980



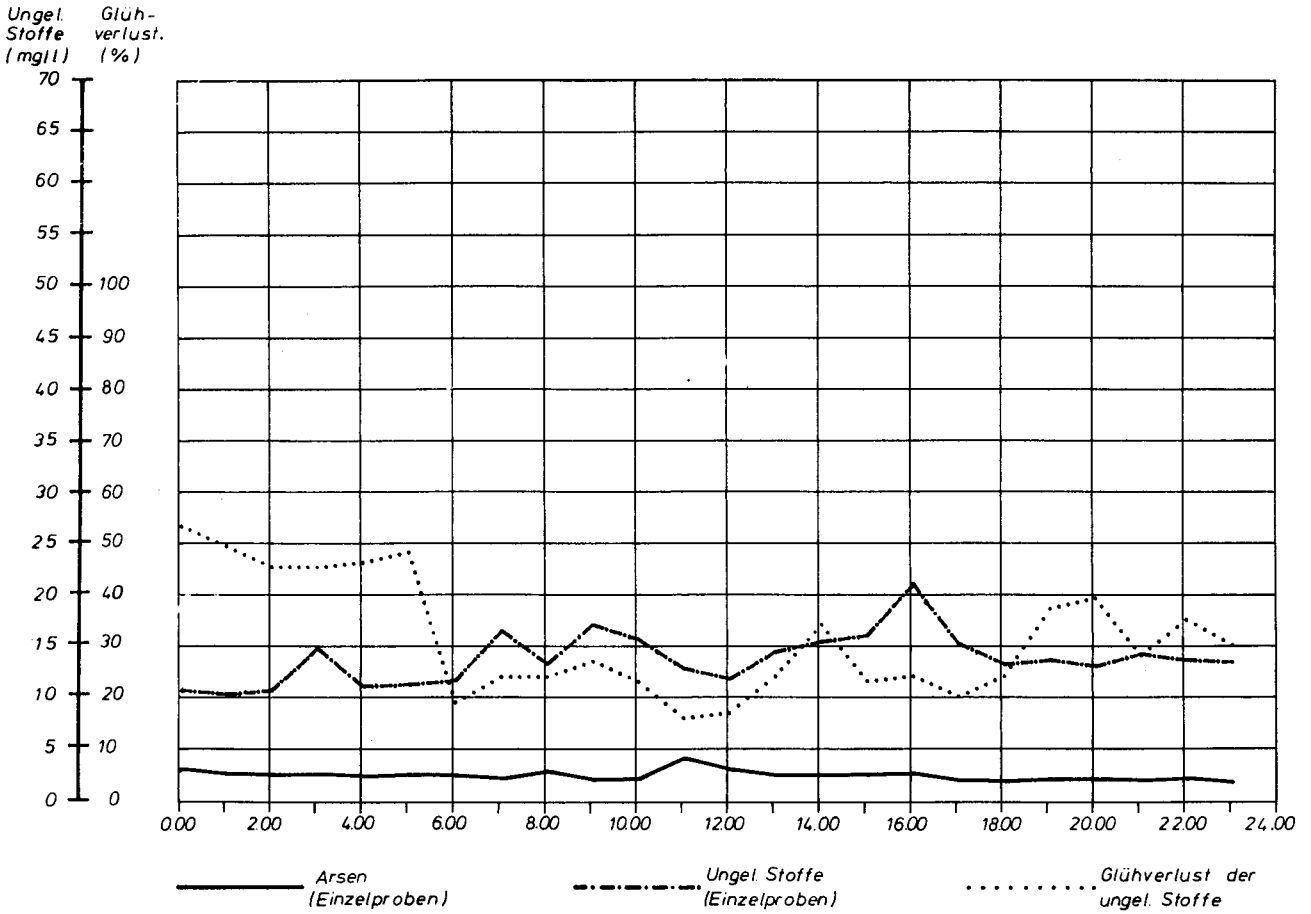
SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17. 3. 1980

Abb. A35

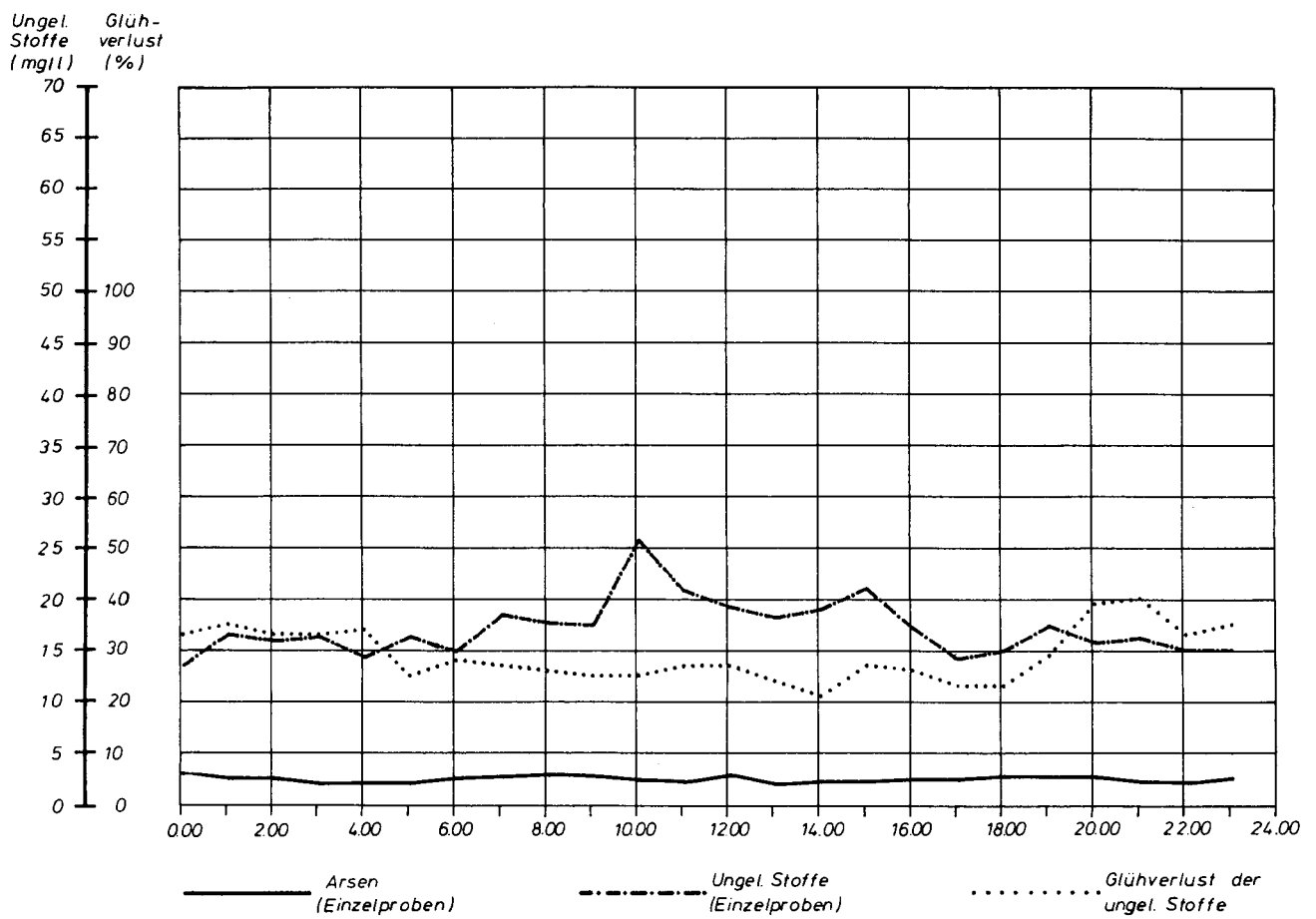


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11.3. - 18.3.1980

Abb. A 36

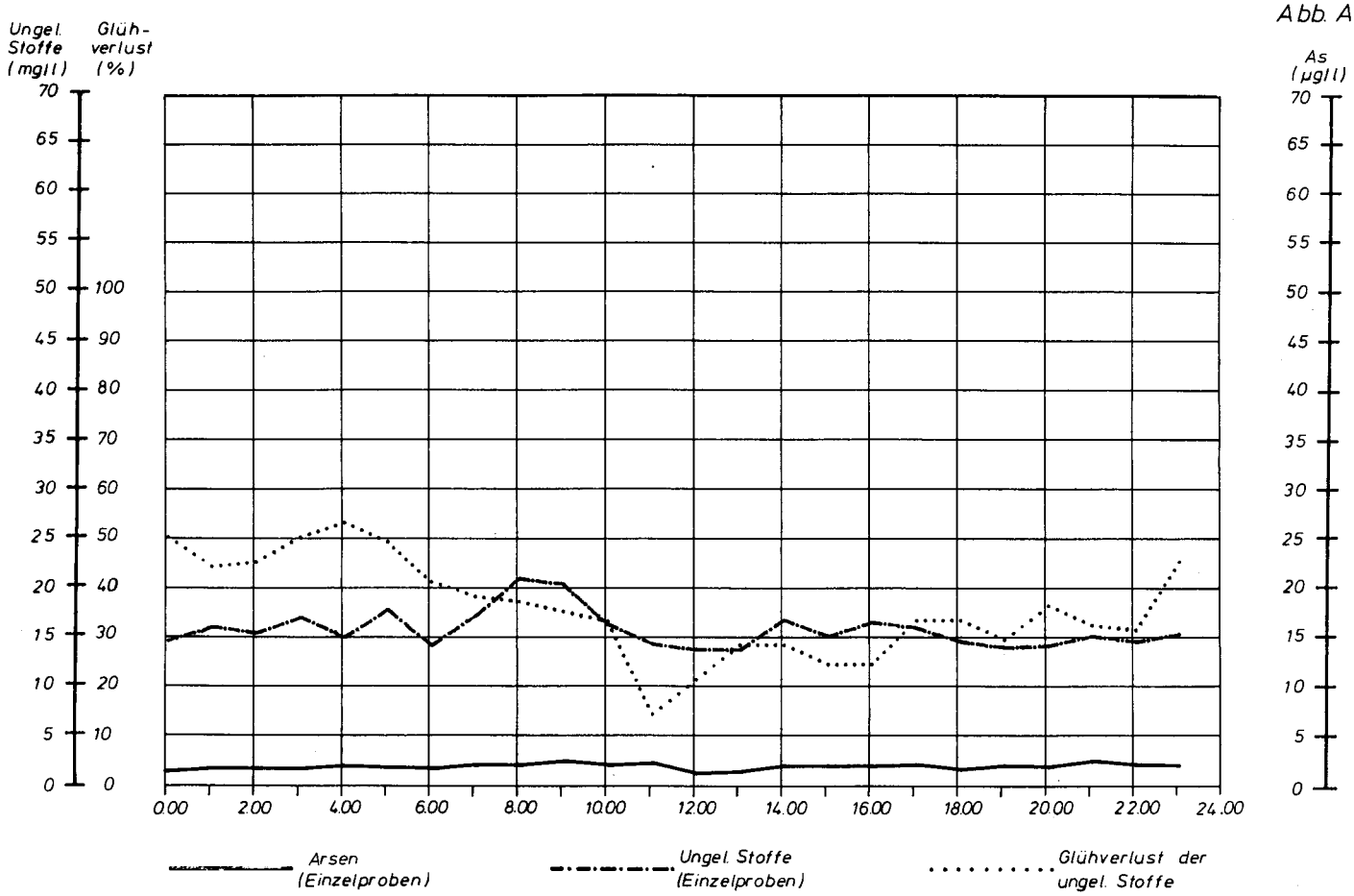


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11.3.1980

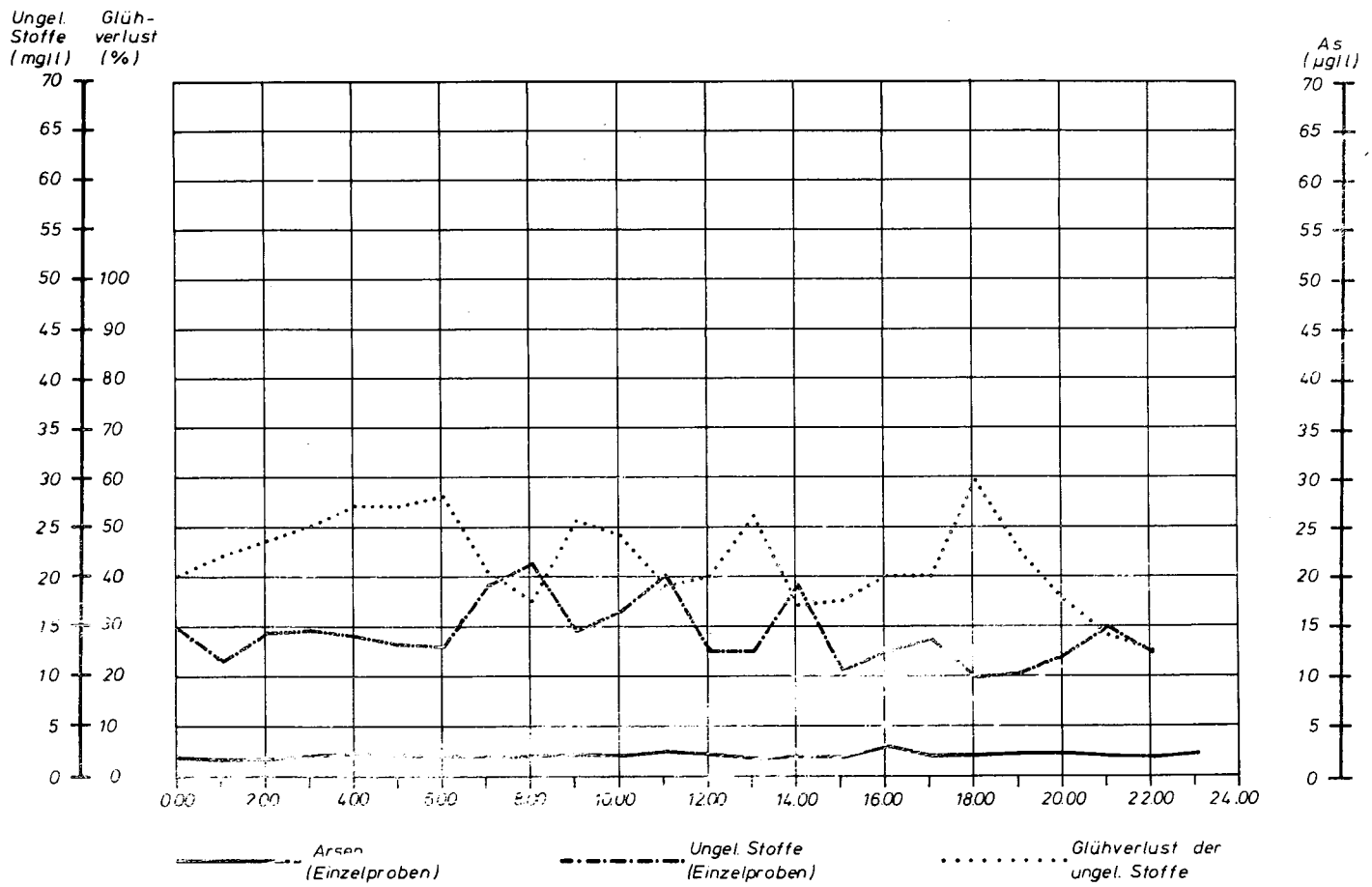


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 13.3.1980

Abb. A 37

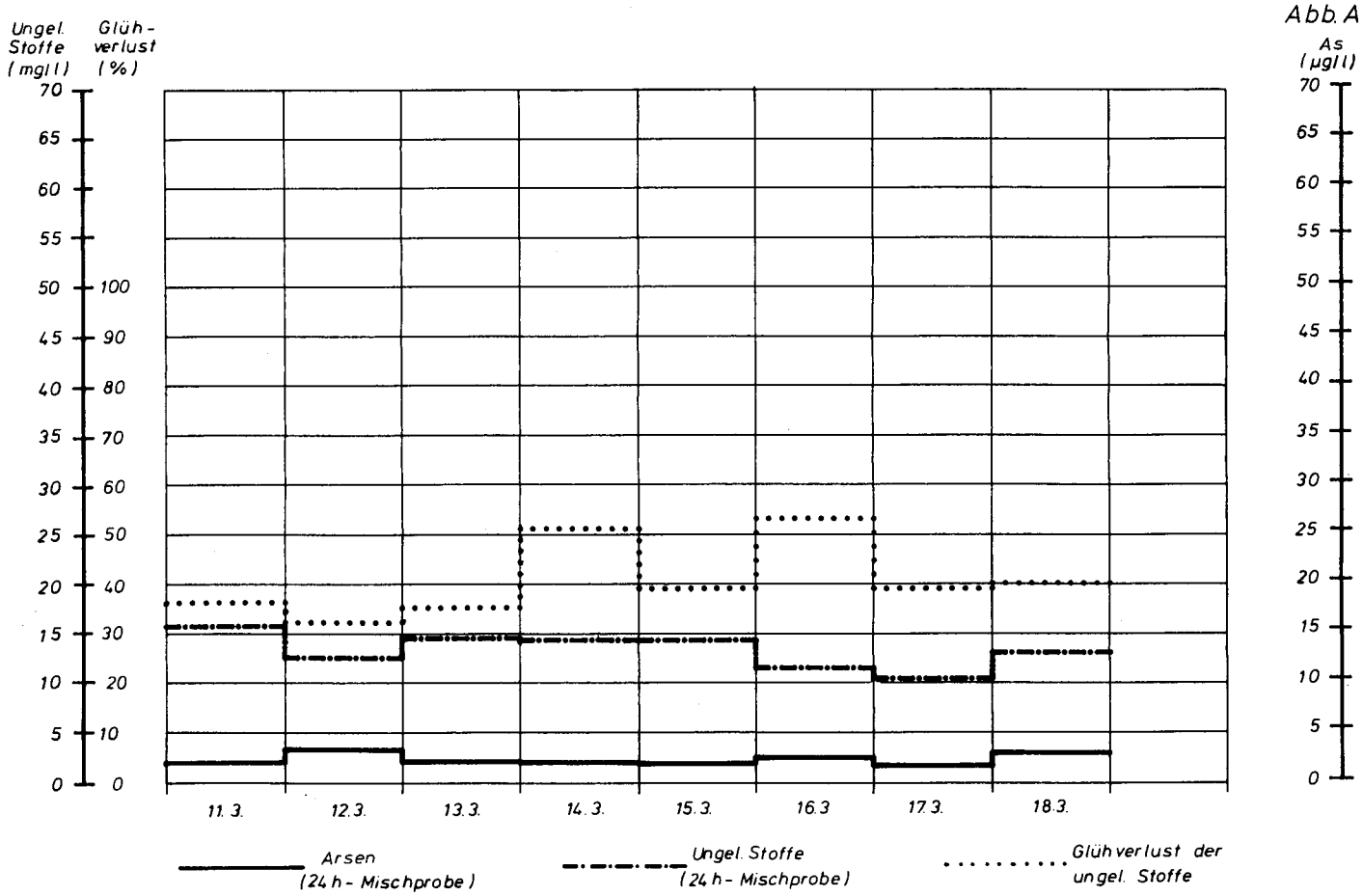


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 15. 3. 1980



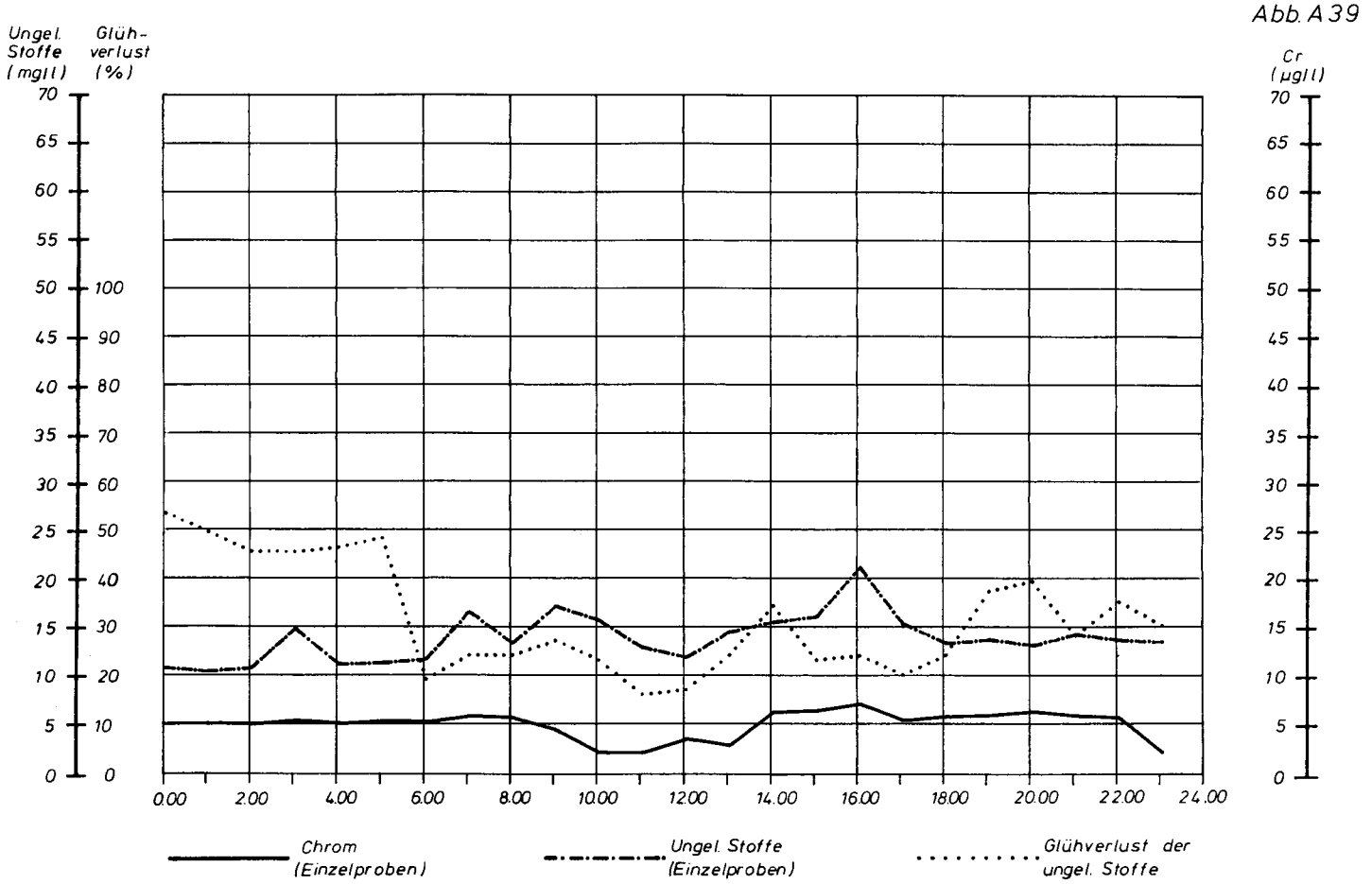
SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17. 3. 1980

Abb. A 38

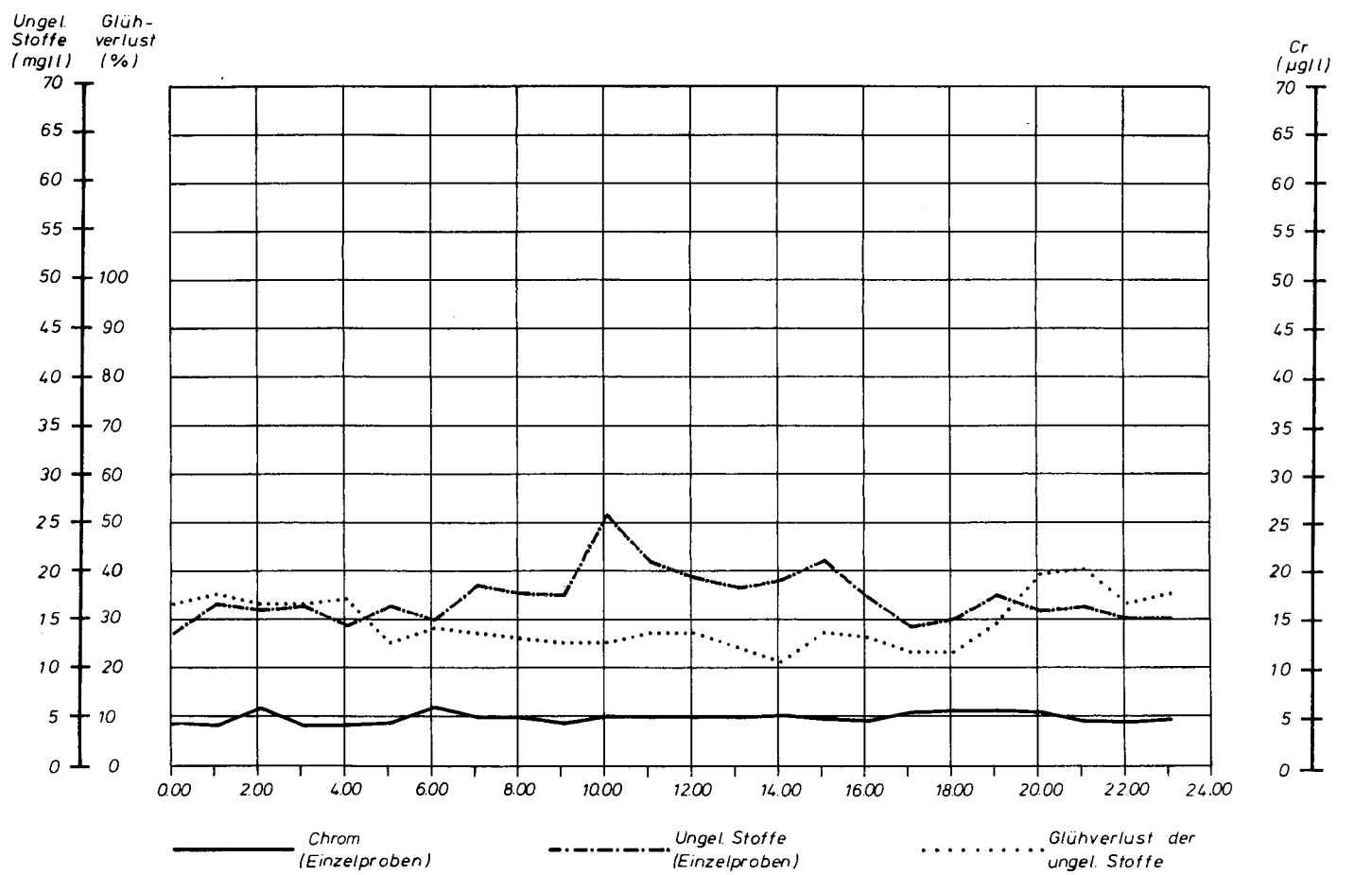


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11.3. - 18.3.1980

Abb. A 39

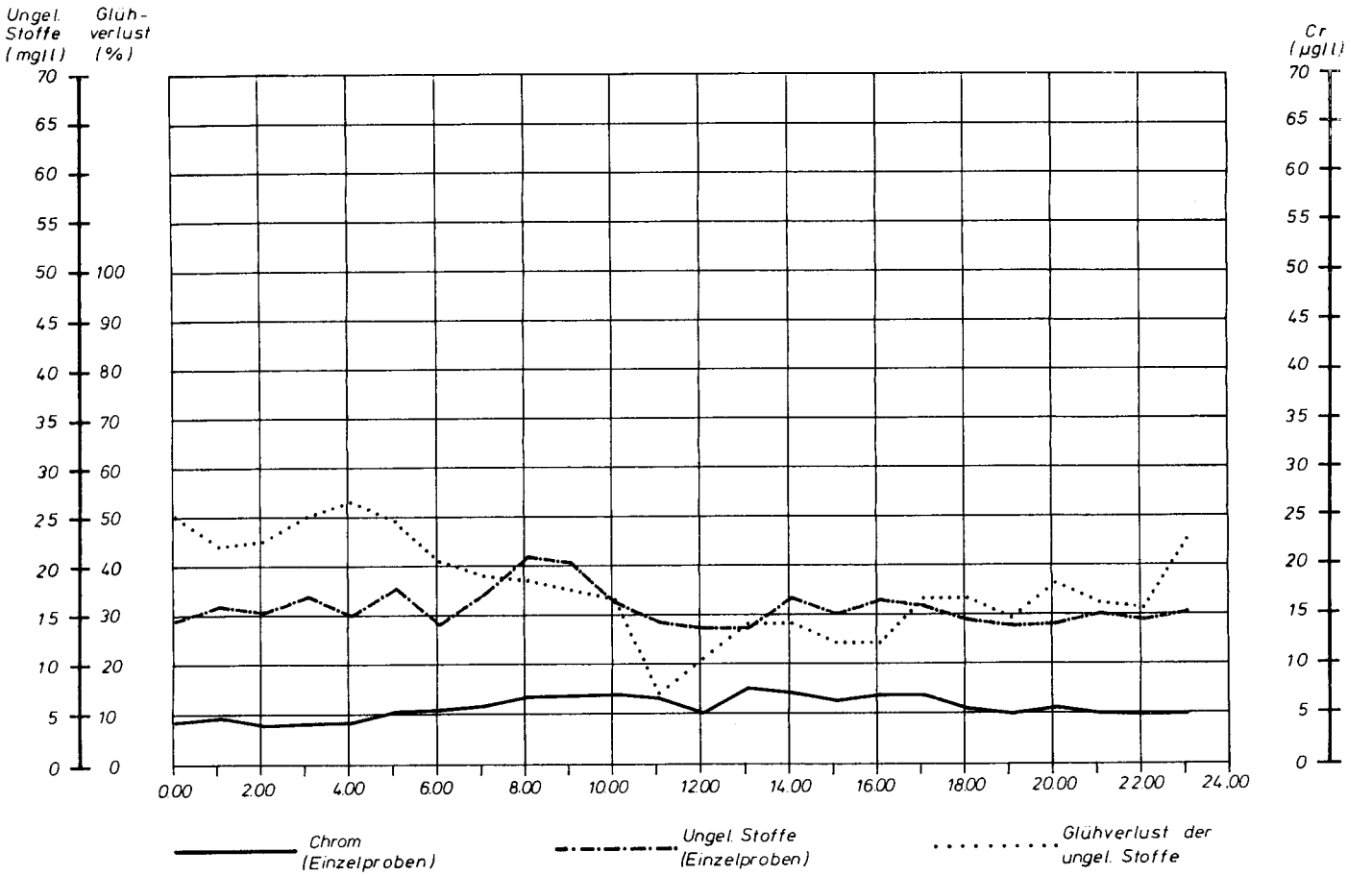


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11. 3. 1980

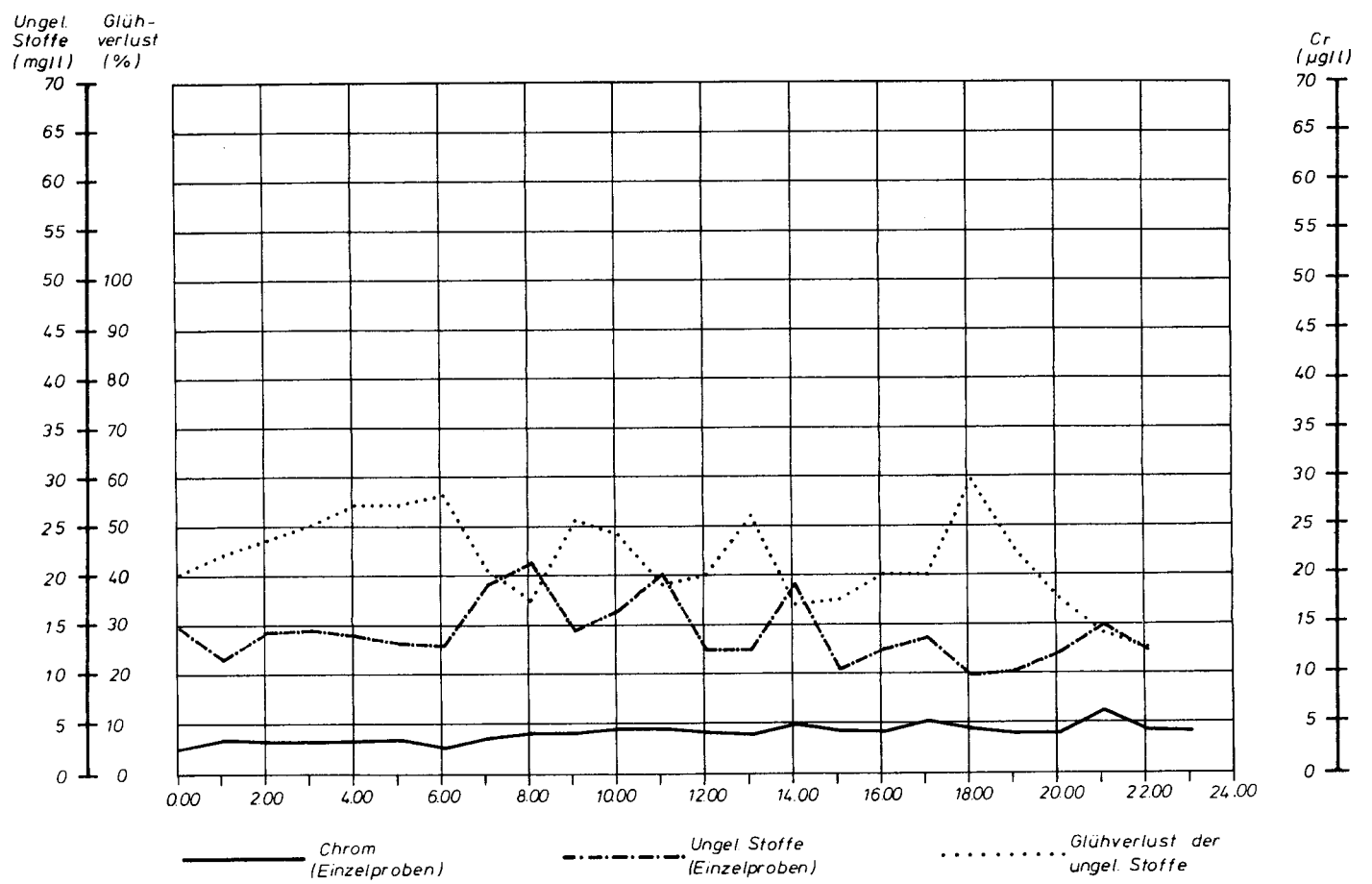


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 13. 3. 1980

Abb. A40

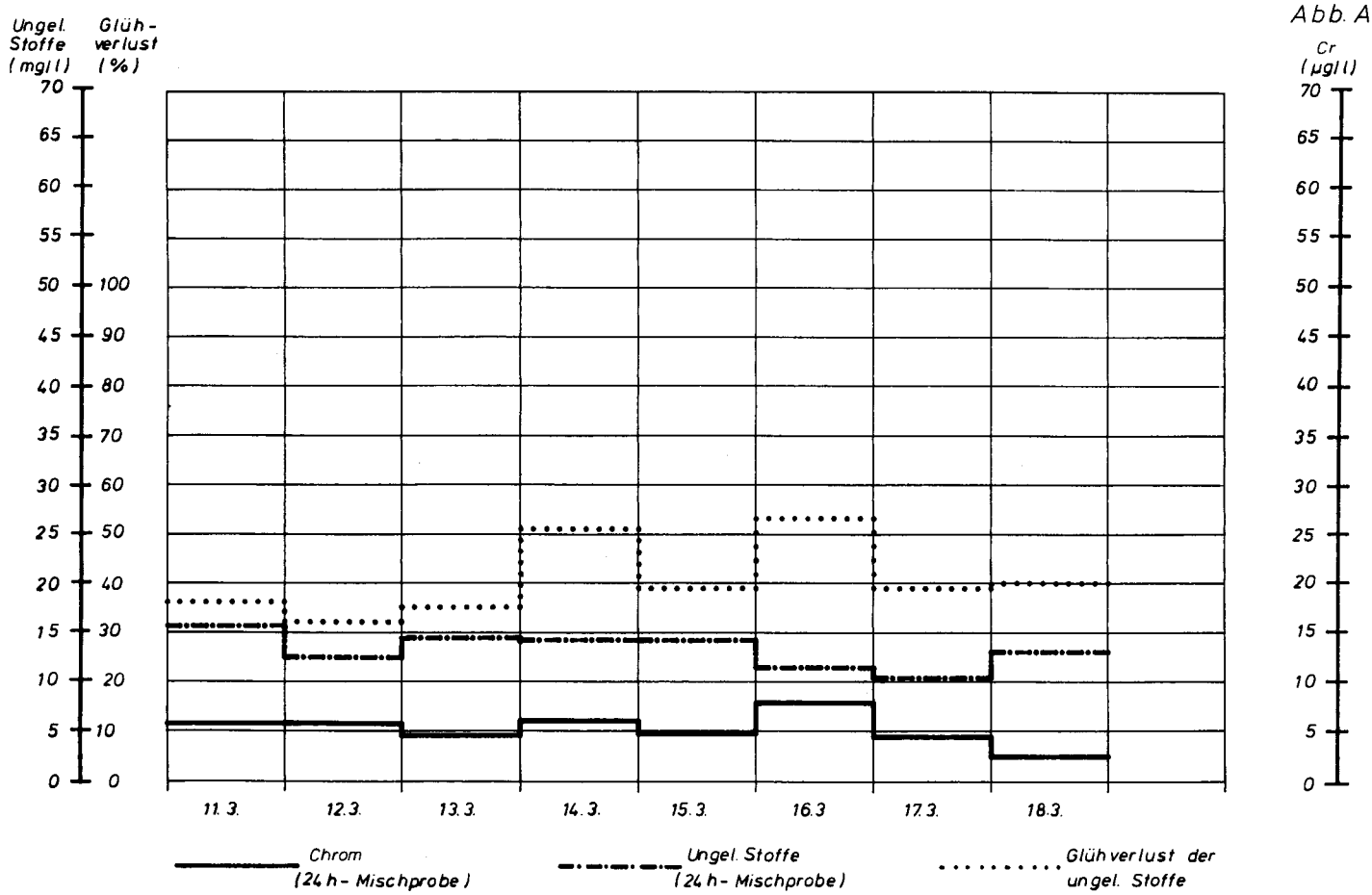


SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 15.3.1980



SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 17.3.1980

Abb. A41



SCHNACKENBURG - SONDERMESSPROGRAMM 11.3. - 18.3.1980

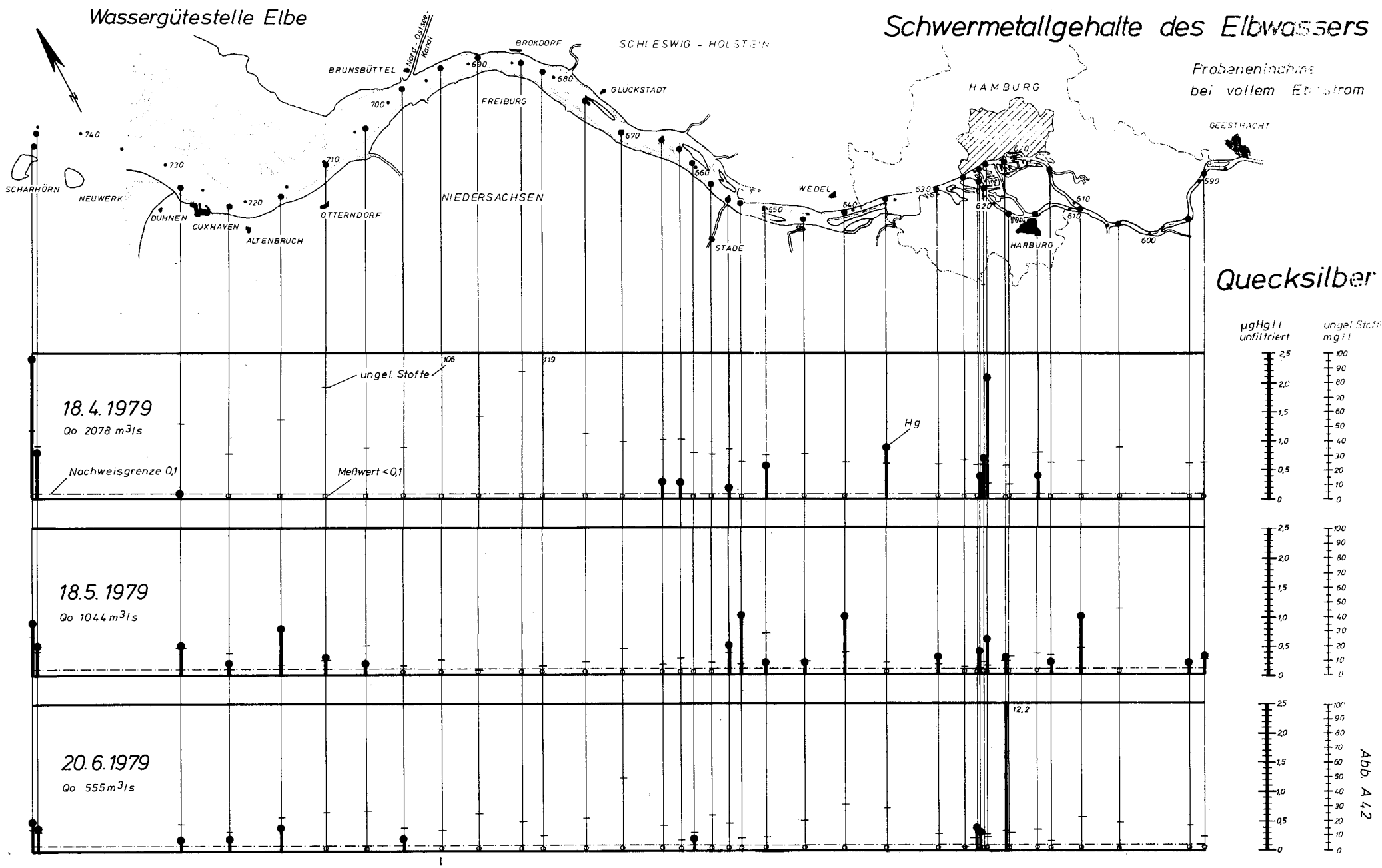
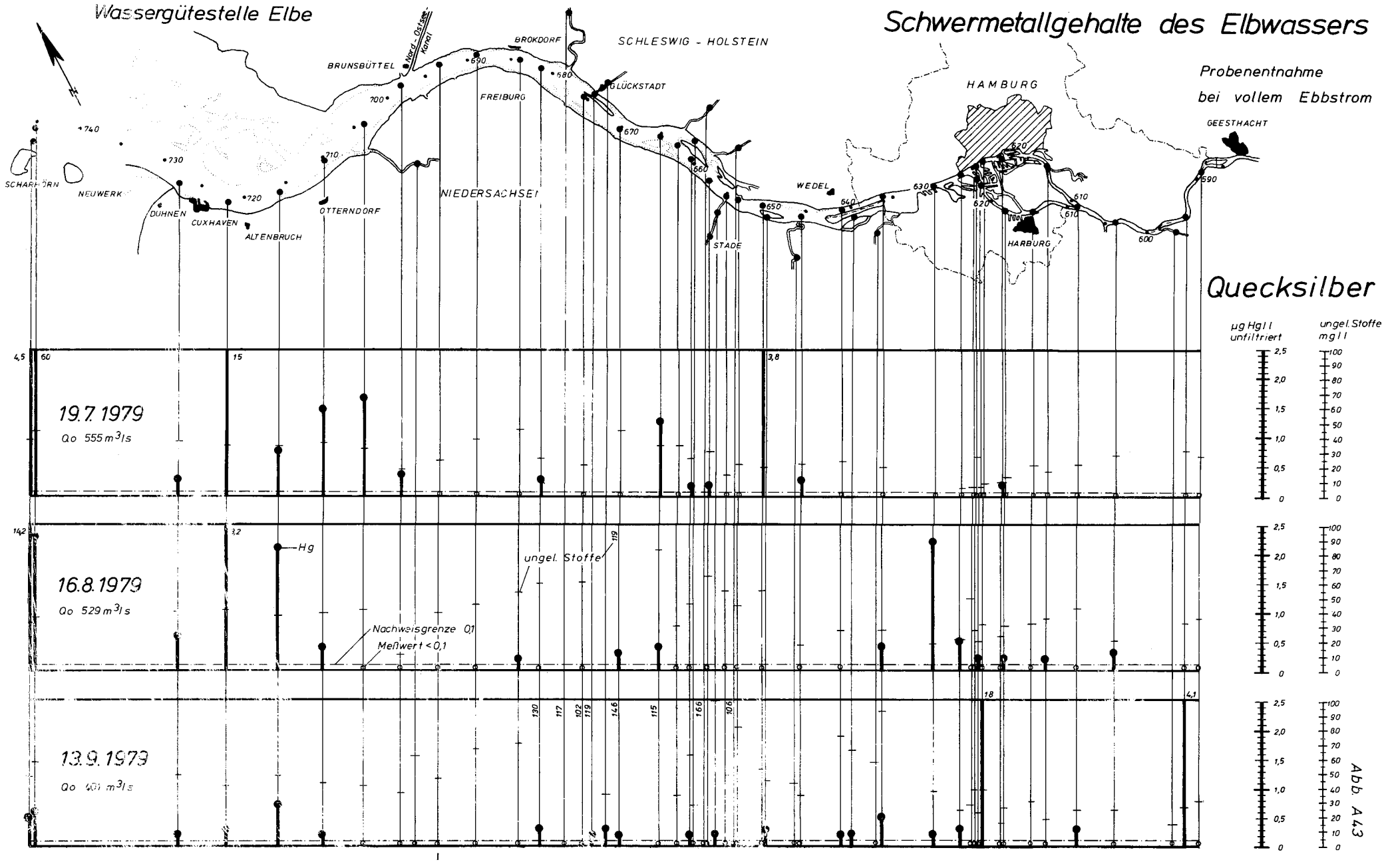

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probeneinnahme bei vollem Elbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
Nord - Ostsee - Kanal
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
BRUNSBÜTTEL
OTTERNDORF
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
Quecksilber
µgHg/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
ungel. Stoffe
Hg
106
119
12,2
18.4.1979
Qo 2078 m³/s
Nachweisgrenze 0,1
Meßwert < 0,1
18.5.1979
Qo 1044 m³/s
20.6.1979
Qo 555 m³/s

Abb. A 4.2


Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
Quecksilber
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
BROKDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
GLÜCKSTADT
FREIBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
19.7.1979
Qo 555 m³/s
16.8.1979
Qo 529 m³/s
13.9.1979
Qo 401 m³/s
Hg
ungel. Stoffe
Nachweisgrenze 0,1
Meßwert < 0,1
µg Hg/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
Abb. A43

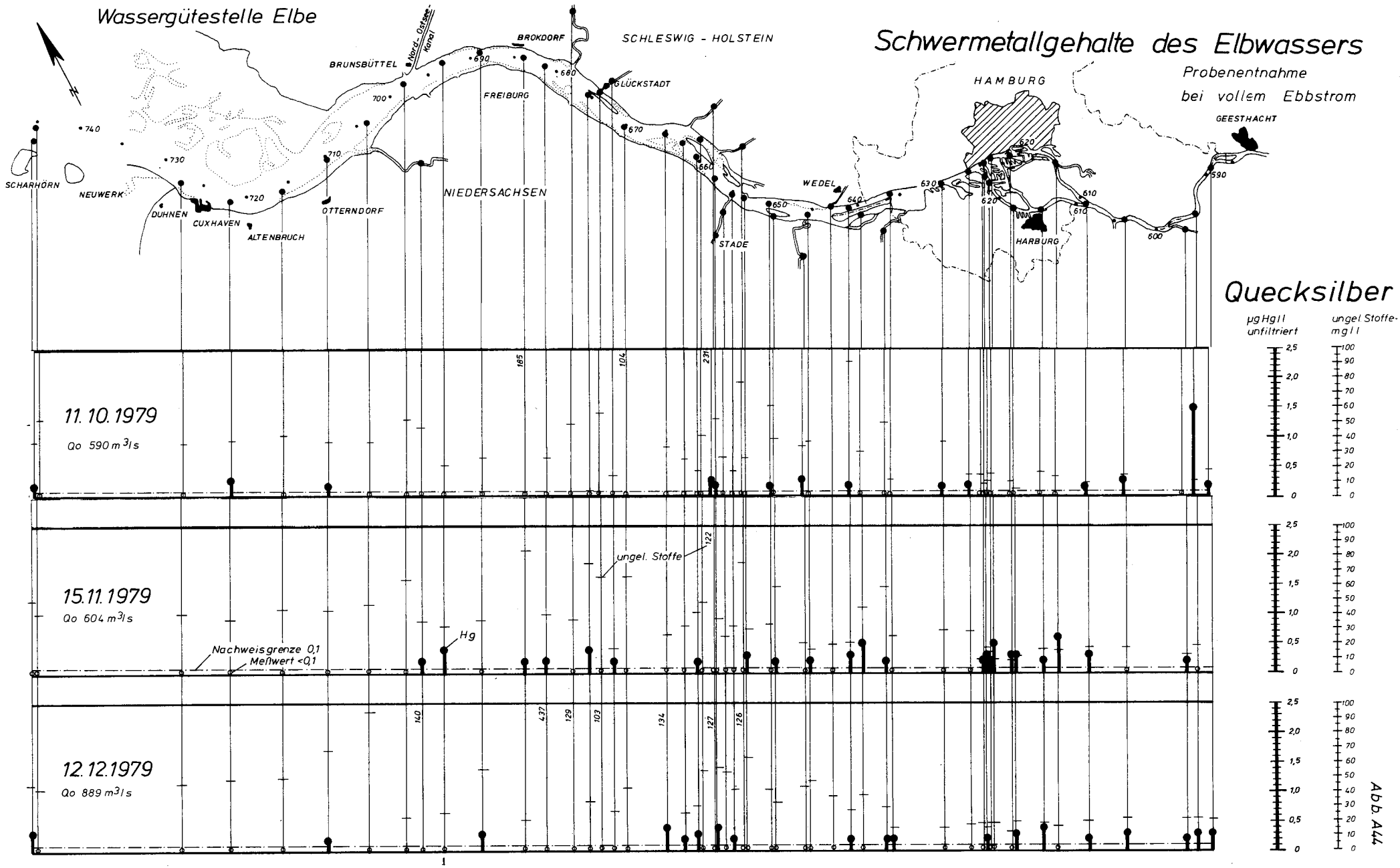

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
Quecksilber
µg Hg/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
11.10.1979
Qo 590 m³/s
185
104
231
15.11.1979
Qo 604 m³/s
ungel. Stoffe
122
Hg
Nachweisgrenze 0,1
Meßwert <0,1
12.12.1979
Qo 889 m³/s
140
437
129
103
134
127
126
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

Abb. A44

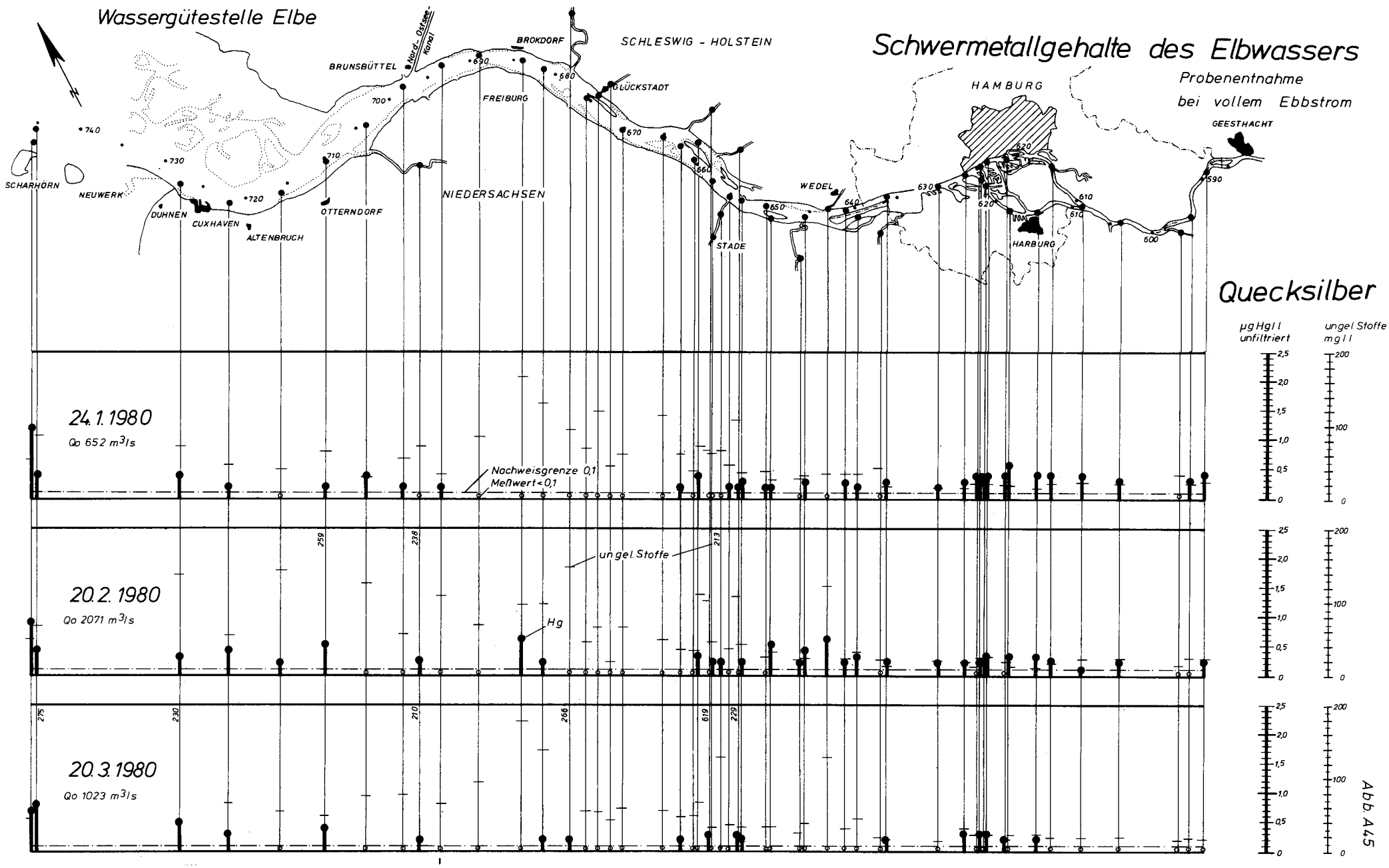

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
Quecksilber
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
OTTERNDORF
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
24.1.1980
Qo 652 m³/s
Nachweisgrenze 0,1
Meßwert < 0,1
20.2.1980
Qo 2071 m³/s
259
238
213
ungel. Stoffe
Hg
20.3.1980
Qo 1023 m³/s
275
230
210
266
619
229
µg Hg/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0
200
100
0

Abb. A45

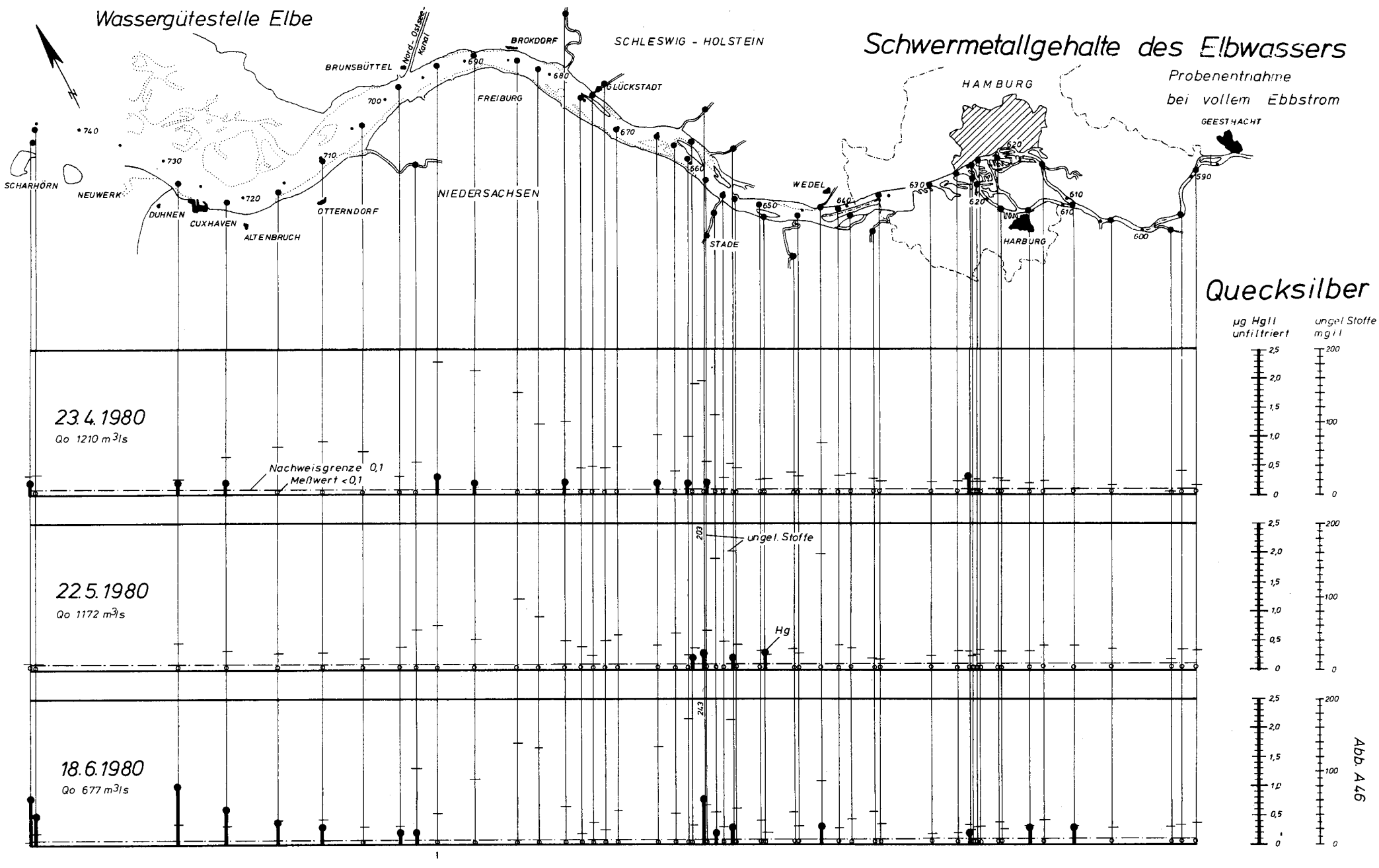

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
BROKDORF
FREIBURG
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
Quecksilber
µg Hg/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0
200
100
23.4.1980
Qo 1210 m³/s
Nachweisgrenze 0,1
Meßwert <0,1
22.5.1980
Qo 1172 m³/s
203
ungel. Stoffe
Hg
18.6.1980
Qo 677 m³/s
243

Abb. A46

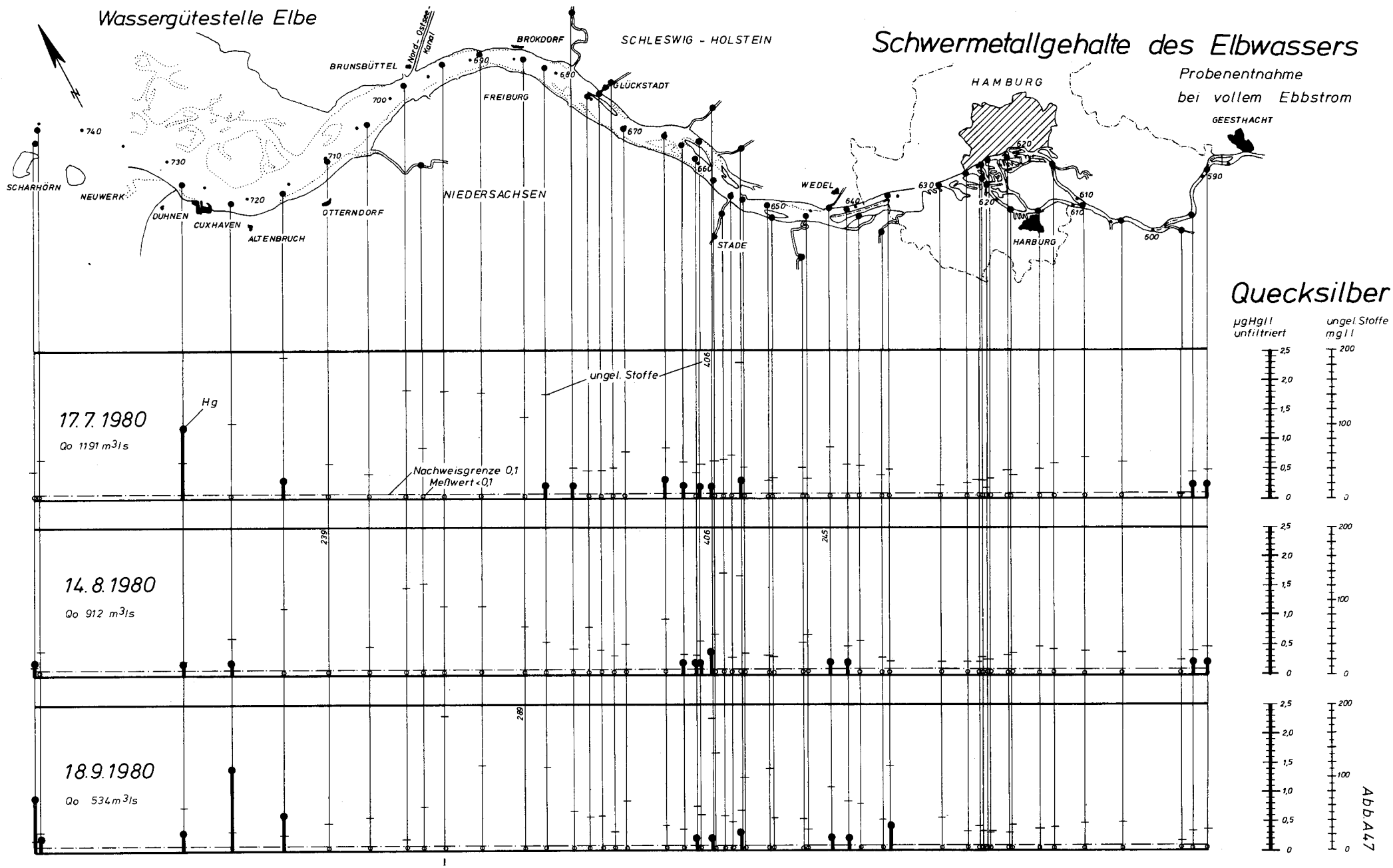

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
Nord-Ostsee-Kanal
BROKDORF
BRUNSBÜTTEL
FREIBURG
LÜCKSTADT
WEDEL
STADE
HARBURG
GEESTHACHT
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
Quecksilber
µgHg/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
ungel. Stoffe
Hg
Nachweisgrenze 0,1
Meßwert < 0,1
17.7.1980
Qo 1191 m³/s
14.8.1980
Qo 912 m³/s
18.9.1980
Qo 534 m³/s
406
239
245
289
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0
200
100
0

Abb. A47

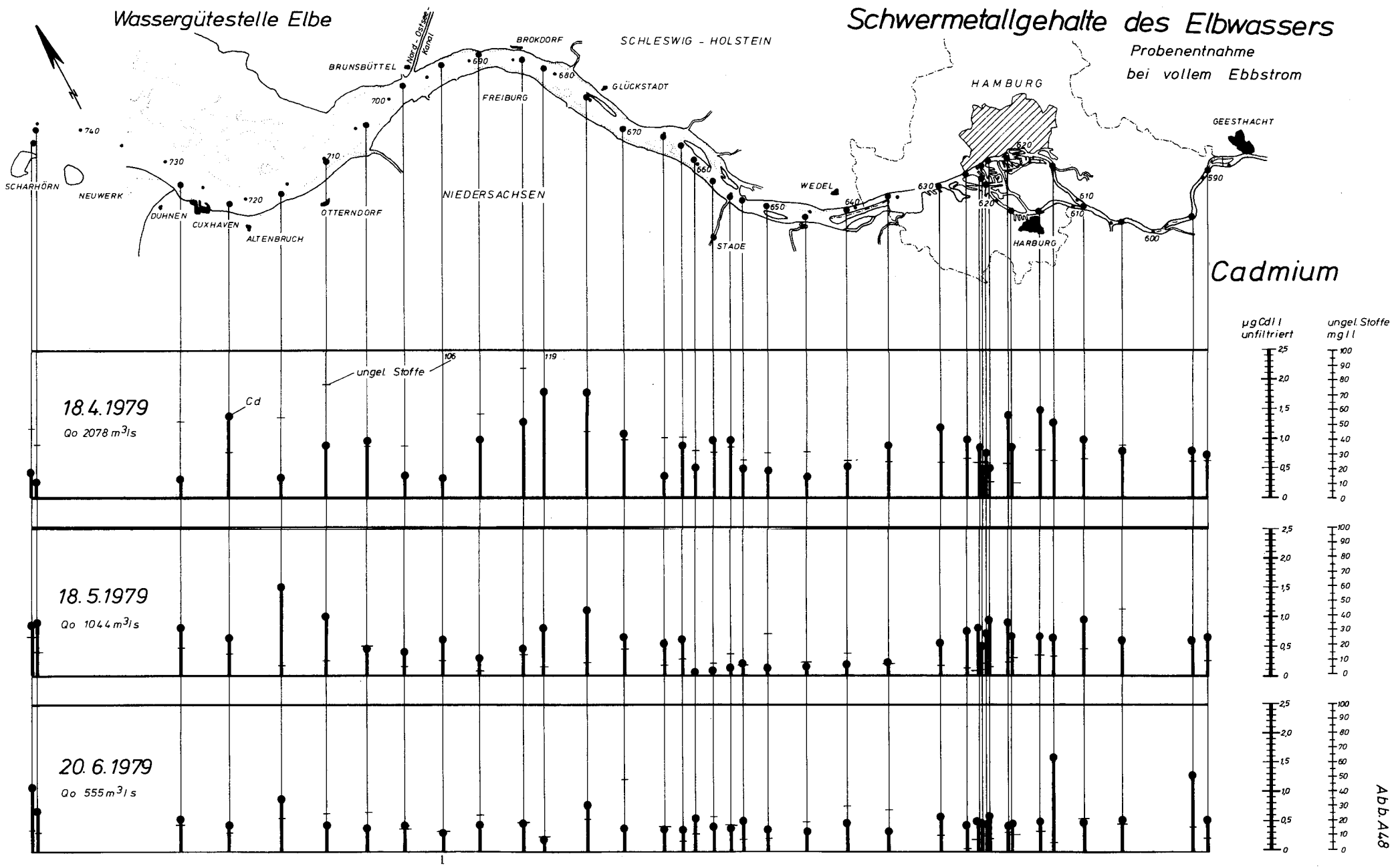

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
Cadmium
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
ungel. Stoffe
106
119
Cd
18.4.1979
Qo 2078 m³/s
18.5.1979
Qo 1044 m³/s
20.6.1979
Qo 555 m³/s
µg Cd/l
unfiltriert
ungel. Stoffe
mg/l
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

Abb. A4.8

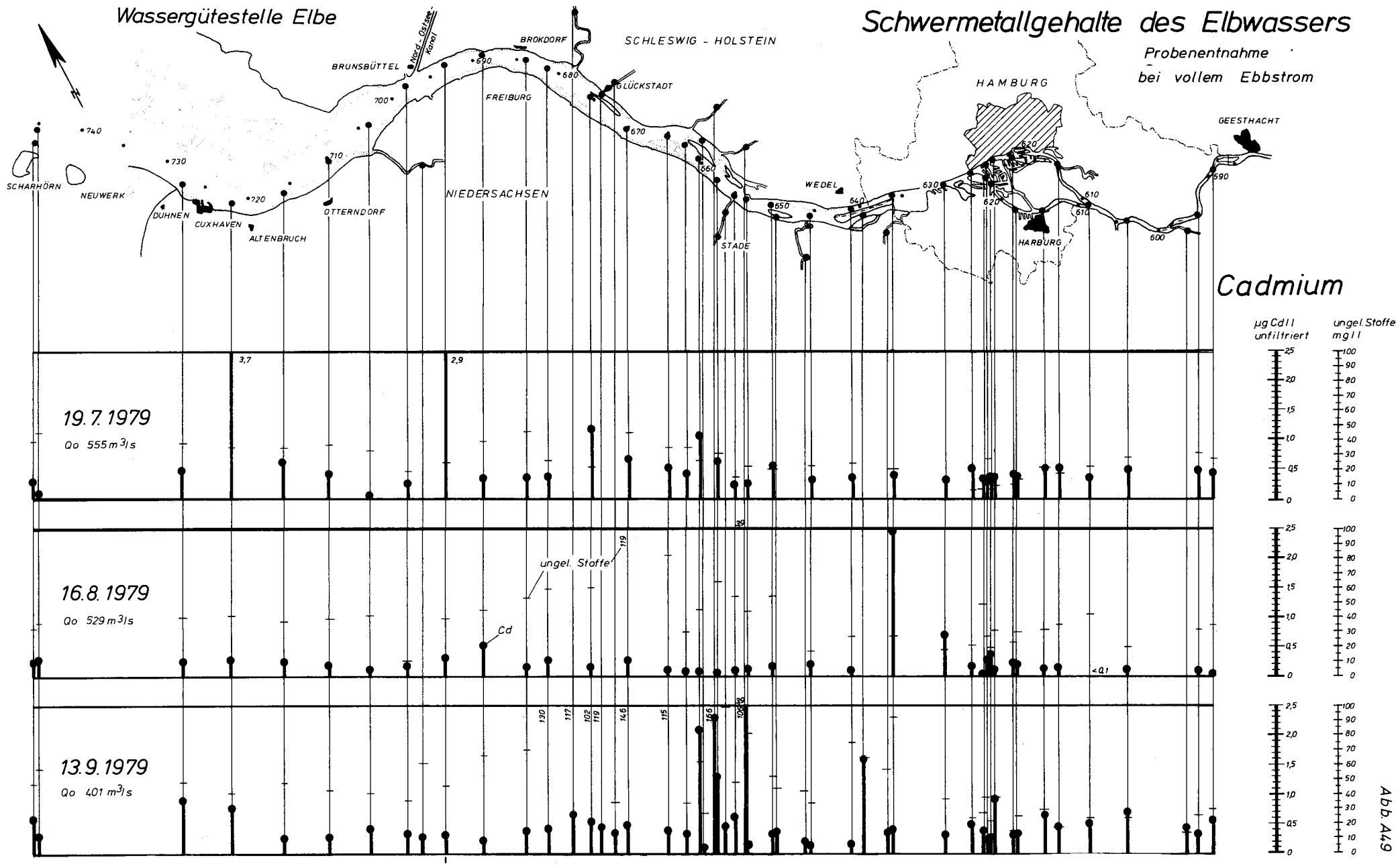
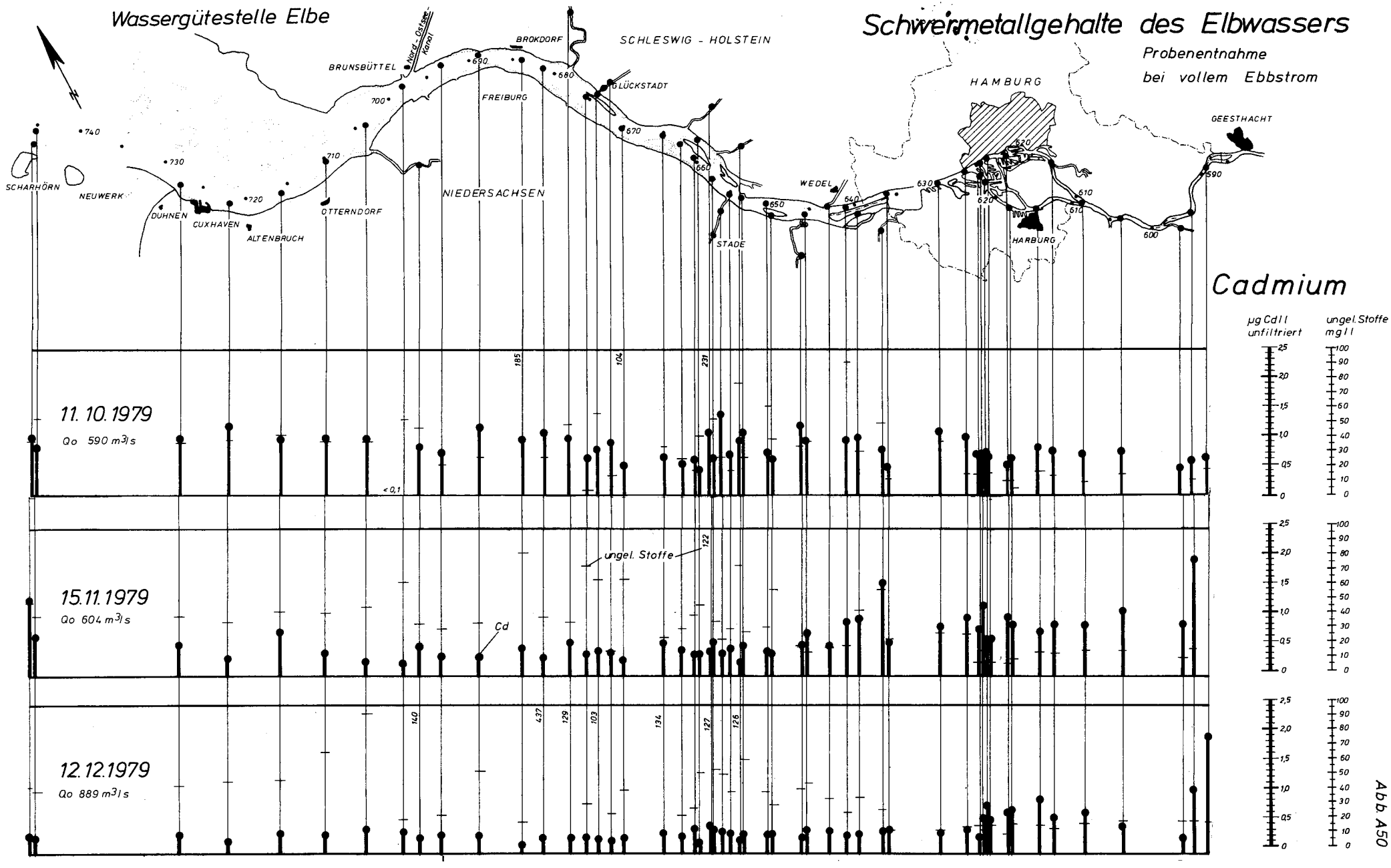

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DÜHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
Cadmium
µg Cd/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
19.7.1979
Qo 555 m³/s
16.8.1979
Qo 529 m³/s
13.9.1979
Qo 401 m³/s
ungel. Stoffe
Cd
3,7
2,9
<0,1

Abb. A49


Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
Cadmium
µg Cd/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
11. 10. 1979
Qo 590 m³/s
15.11.1979
Qo 604 m³/s
12.12.1979
Qo 889 m³/s
ungel. Stoffe
Cd
Abb. A50

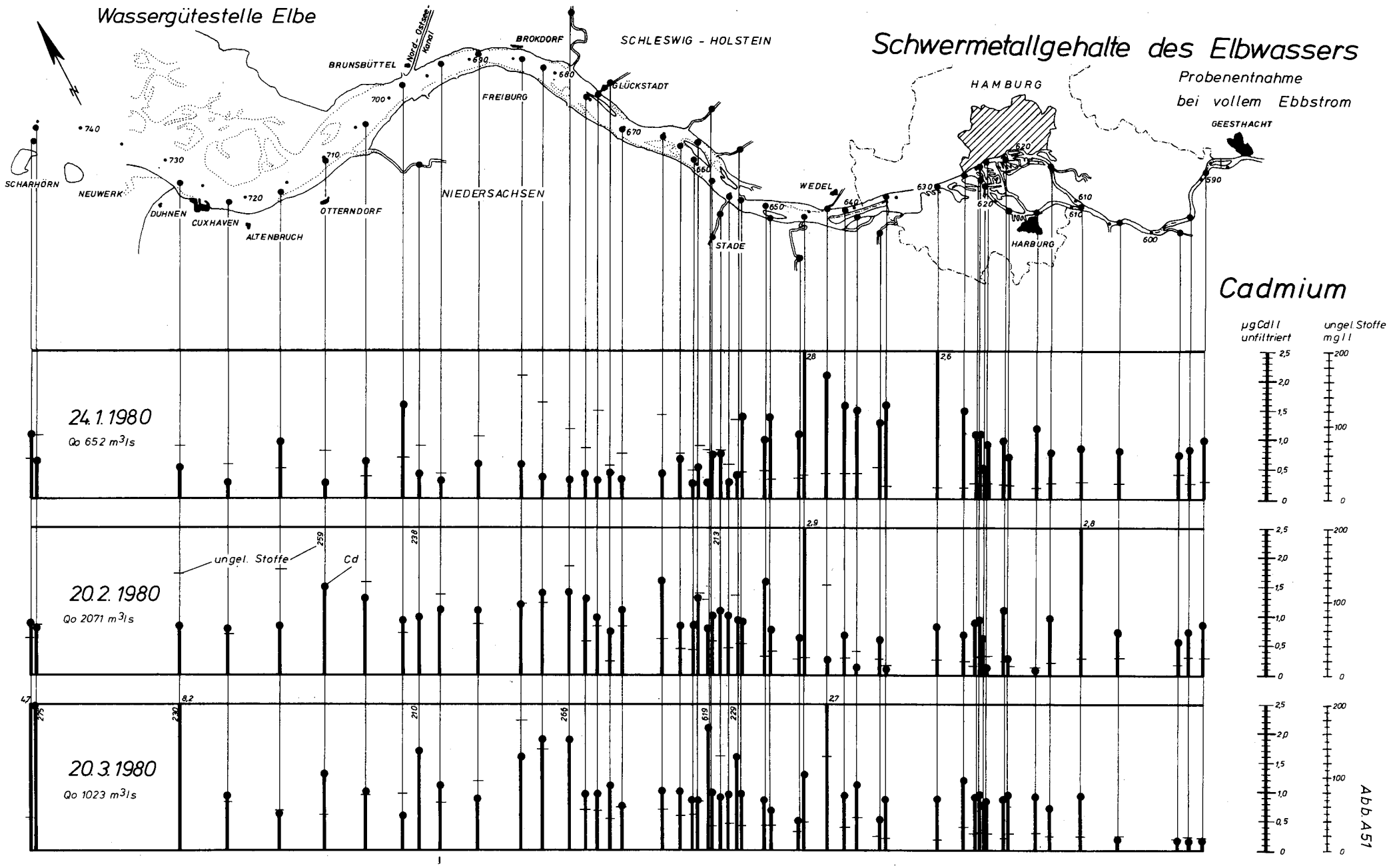

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
Cadmium
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
24.1.1980
Qo 652 m³/s
20.2.1980
Qo 2071 m³/s
20.3.1980
Qo 1023 m³/s
ungel. Stoffe
Cd
µg Cd/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0
200
100
0
28
2,6
2,9
2,8
259
238
213
4,7
275
8,2
230
210
266
619
229
27

Abb. A51

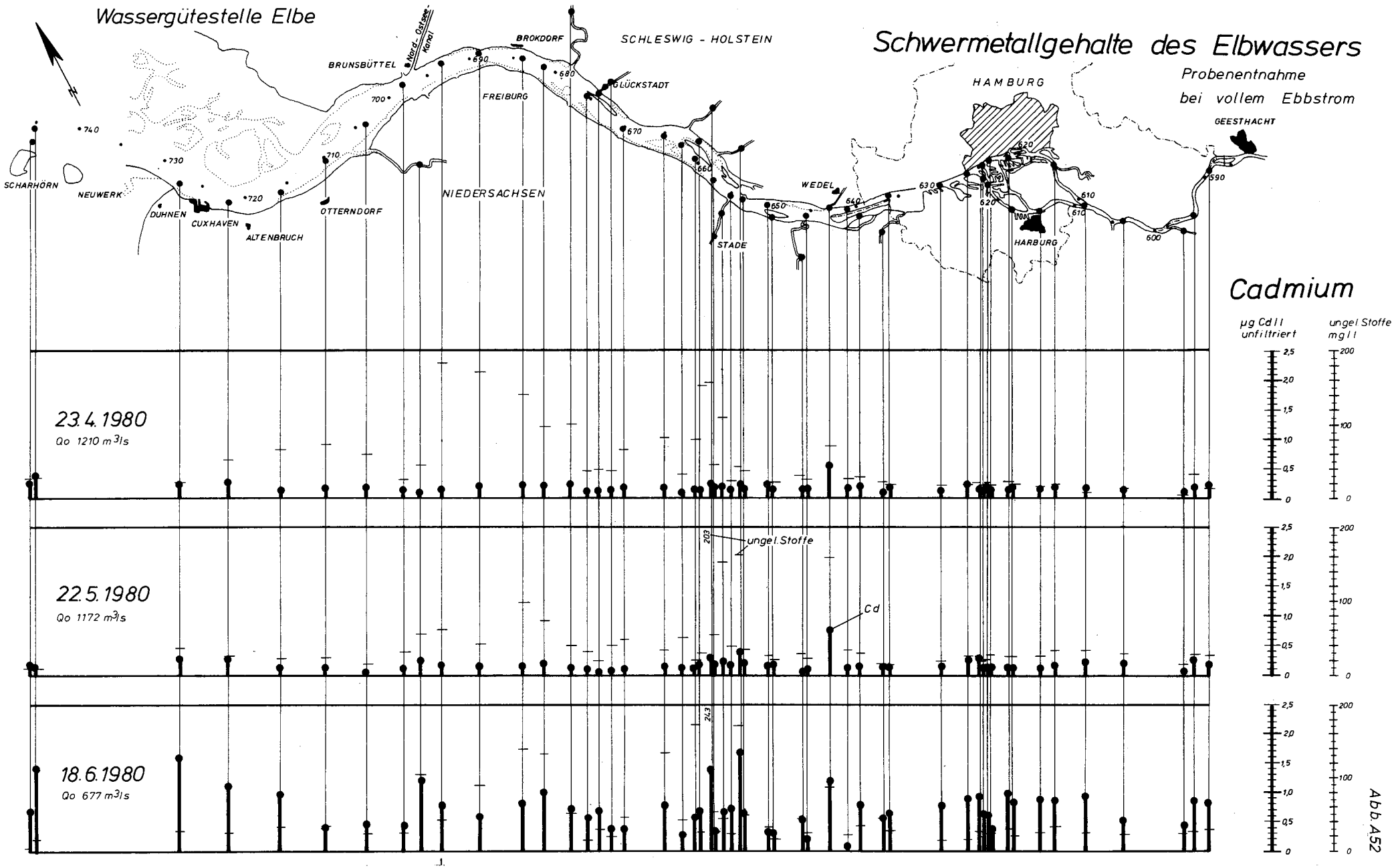

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
Cadmium
µg Cd/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
23.4.1980
Qo 1210 m³/s
22.5.1980
Qo 1172 m³/s
ungel. Stoffe
Cd
18.6.1980
Qo 677 m³/s
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0
200
100
0

Abb. A52

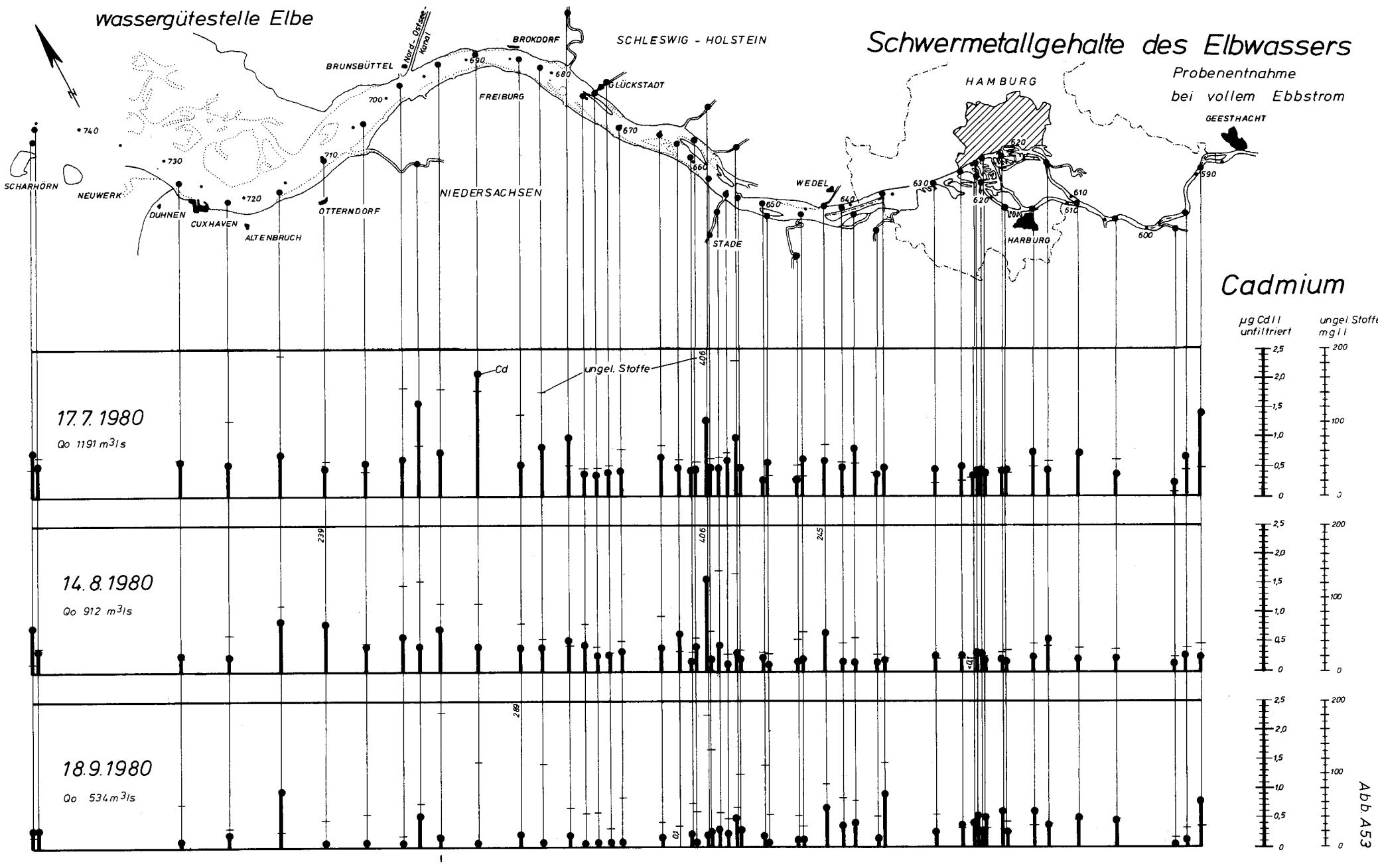

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
Cadmium
µg Cd/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
Cd
ungel. Stoffe
17.7.1980
Qo 1191 m³/s
14.8.1980
Qo 912 m³/s
18.9.1980
Qo 534 m³/s

Abb. A53

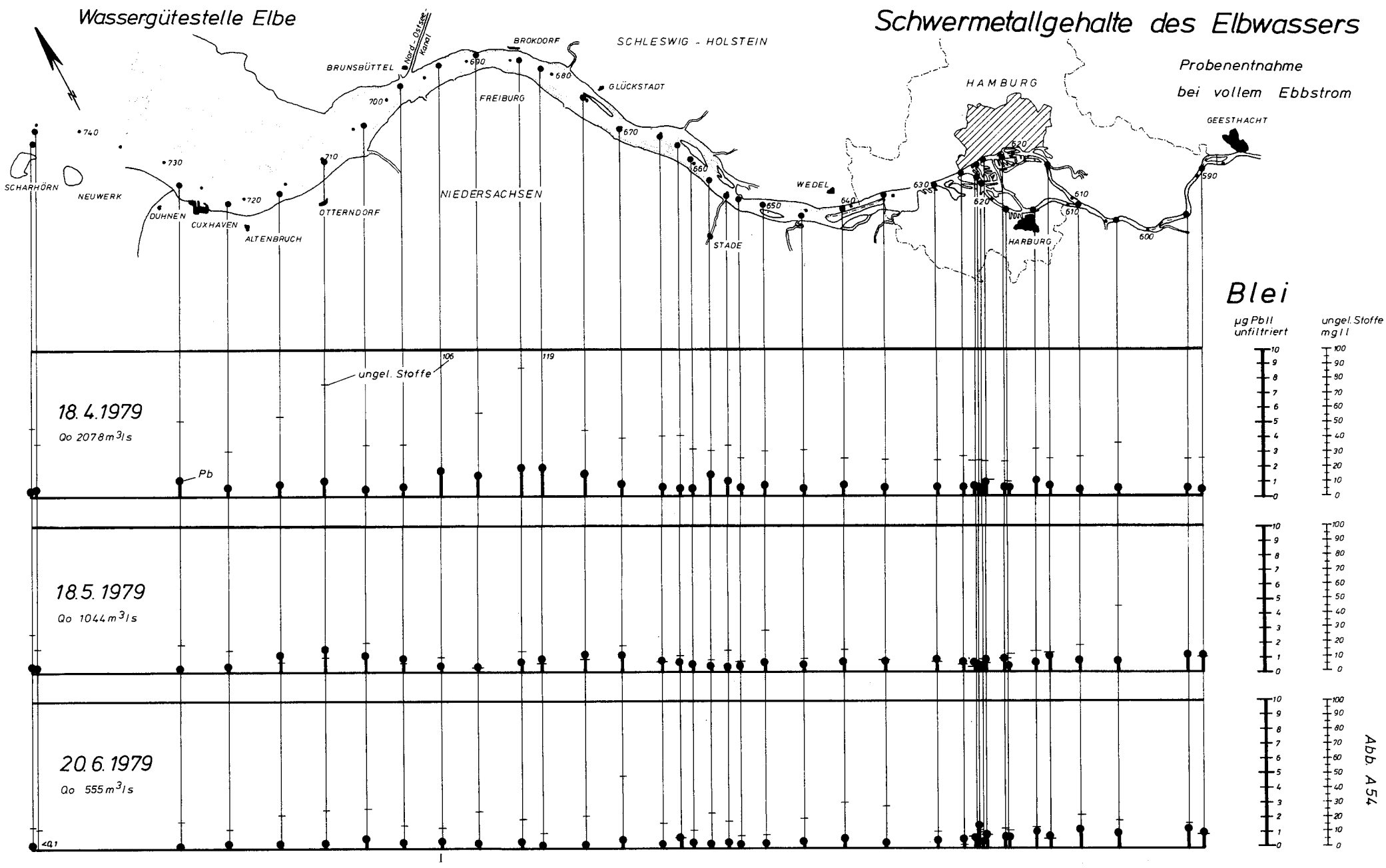
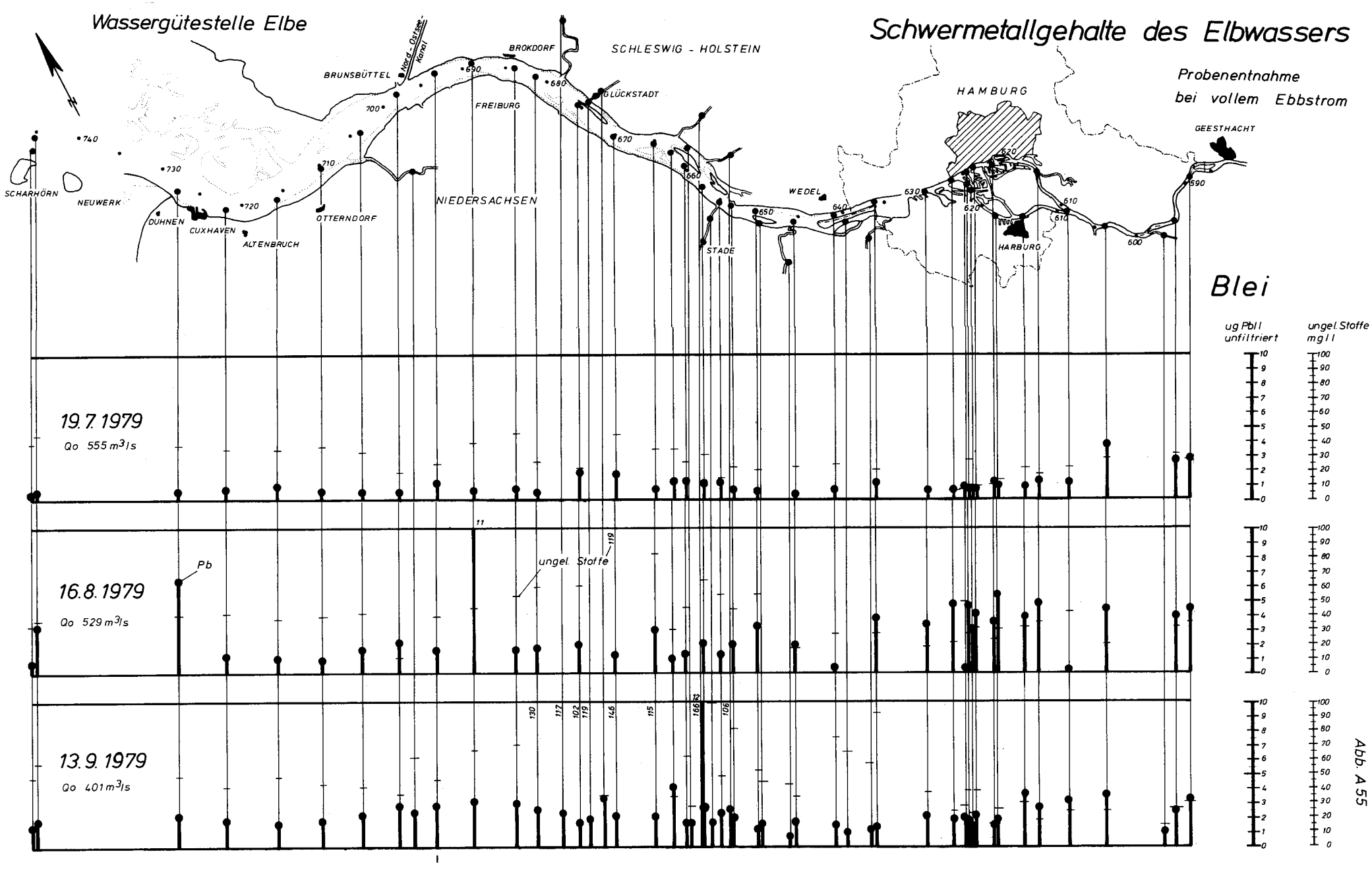
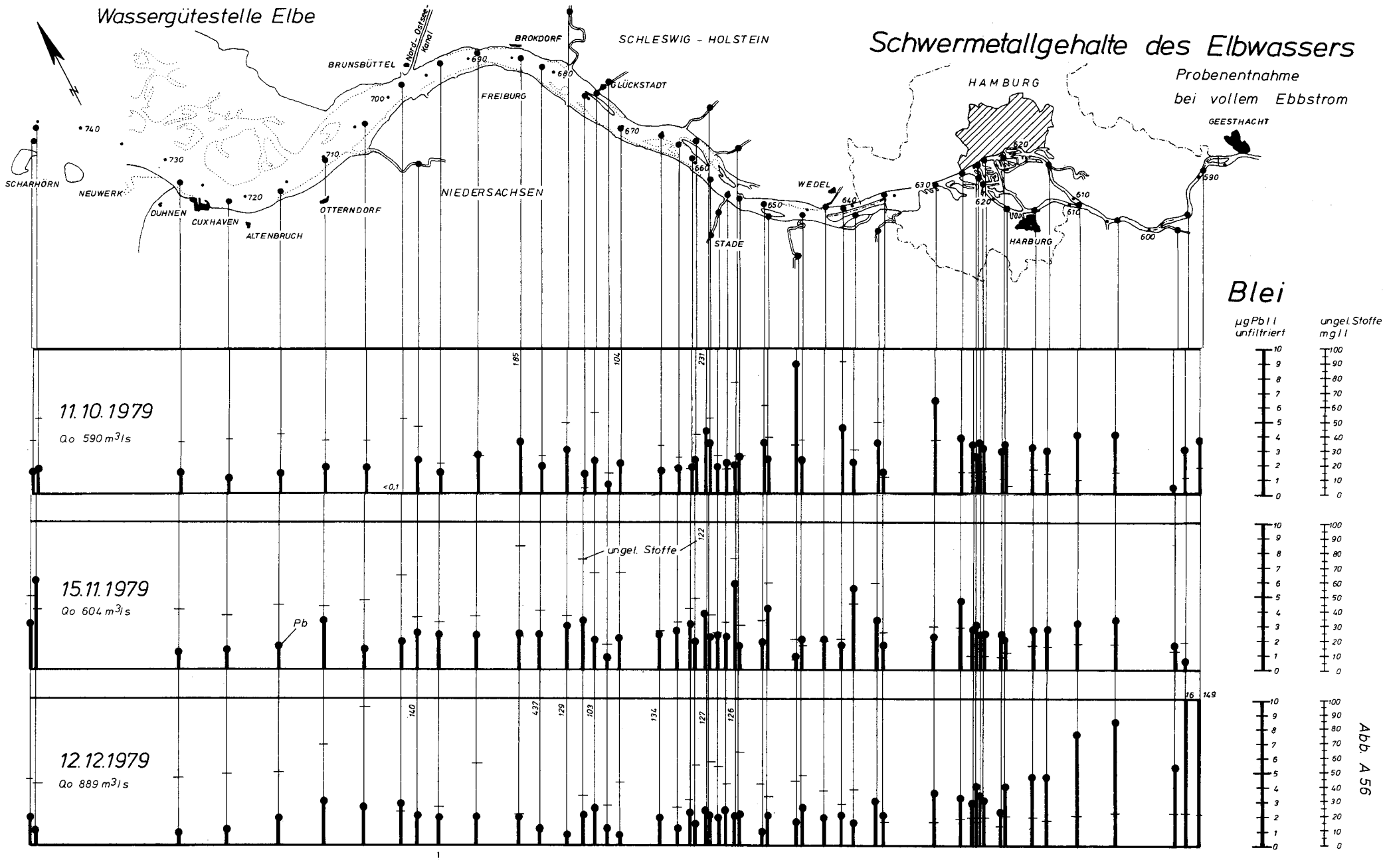
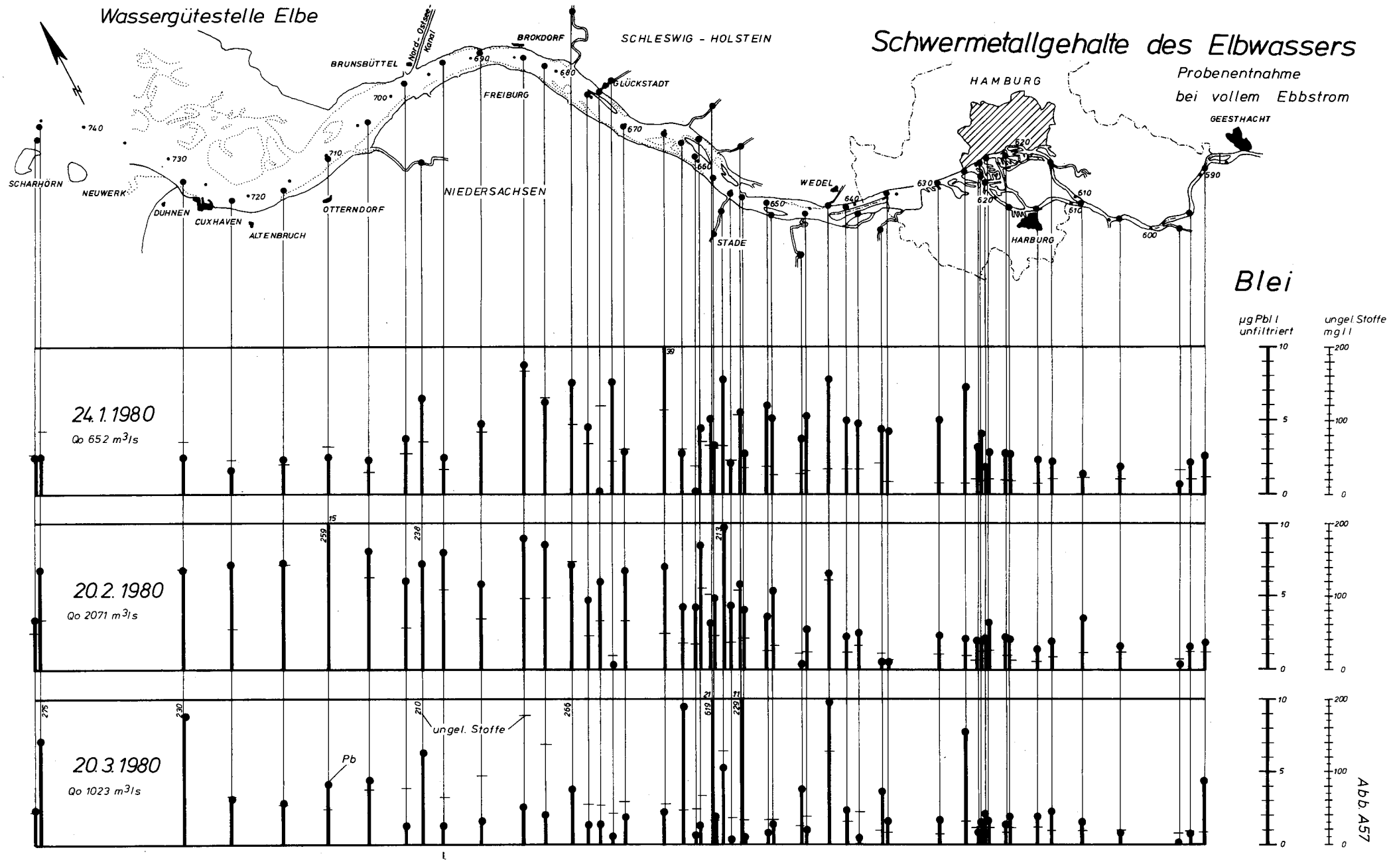

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
ungel. Stoffe
106
119
Pb
<0,1
18.4.1979
Qo 2078 m³/s
18.5.1979
Qo 1044 m³/s
20.6.1979
Qo 555 m³/s
Blei
µg Pb/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l

Abb. A 54


Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
BROKDORF
FREIBURG
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
Blei
ug Pb/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
19.7.1979
Qo 555 m³/s
16.8.1979
Qo 529 m³/s
13.9.1979
Qo 401 m³/s
Pb
ungel. Stoffe
Abb. A 55


Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
BROKDORF
FREIBURG
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
Blei
µg Pb l l unfiltriert
ungel. Stoffe mg l l
11.10.1979
Qo 590 m³/s
15.11.1979
Qo 604 m³/s
12.12.1979
Qo 889 m³/s
ungel. Stoffe
Pb
Abb. A 56


Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
Nord-Ostsee-Kanal
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
Blei
µg Pb/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
24.1.1980
Qo 652 m³/s
20.2.1980
Qo 2071 m³/s
20.3.1980
Qo 1023 m³/s
ungel. Stoffe
Pb
Abb. A57

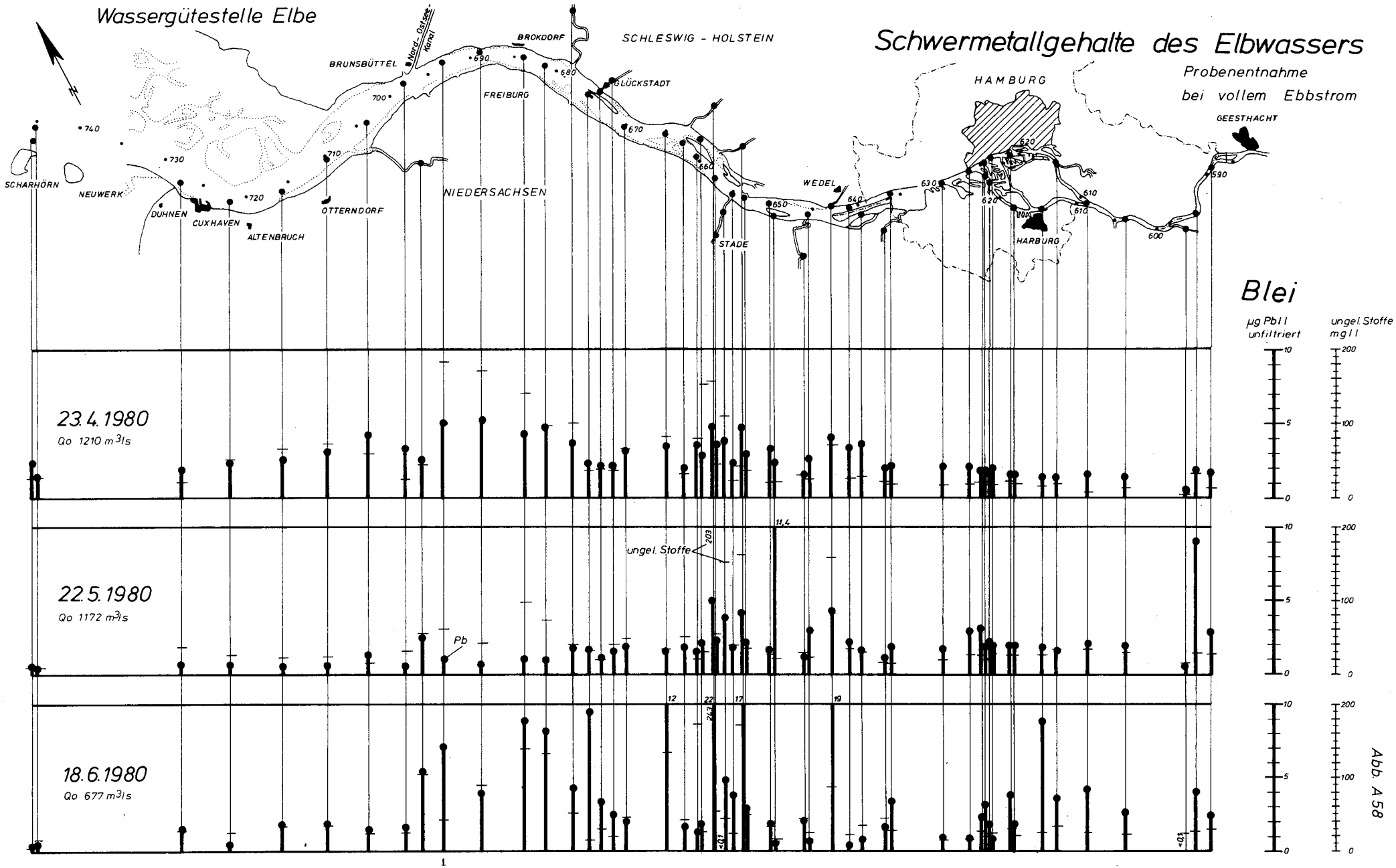

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
Blei
µg Pb/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
23.4.1980
Qo 1210 m³/s
22.5.1980
Qo 1172 m³/s
18.6.1980
Qo 677 m³/s
ungel. Stoffe
Pb
203
11,4
12
22
24,3
17
19
<0,1
10
5
0
200
100
0

Abb. A 58

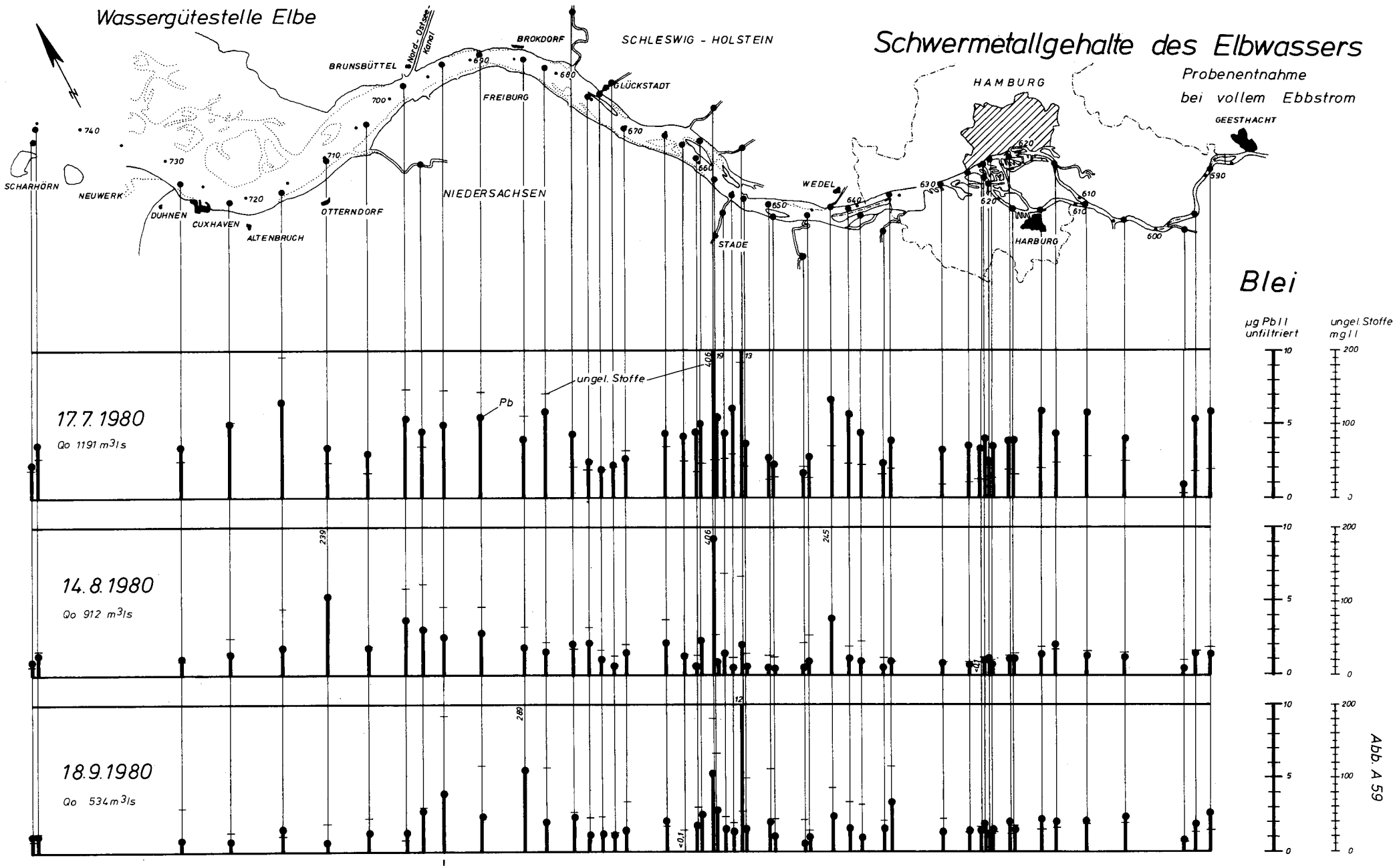
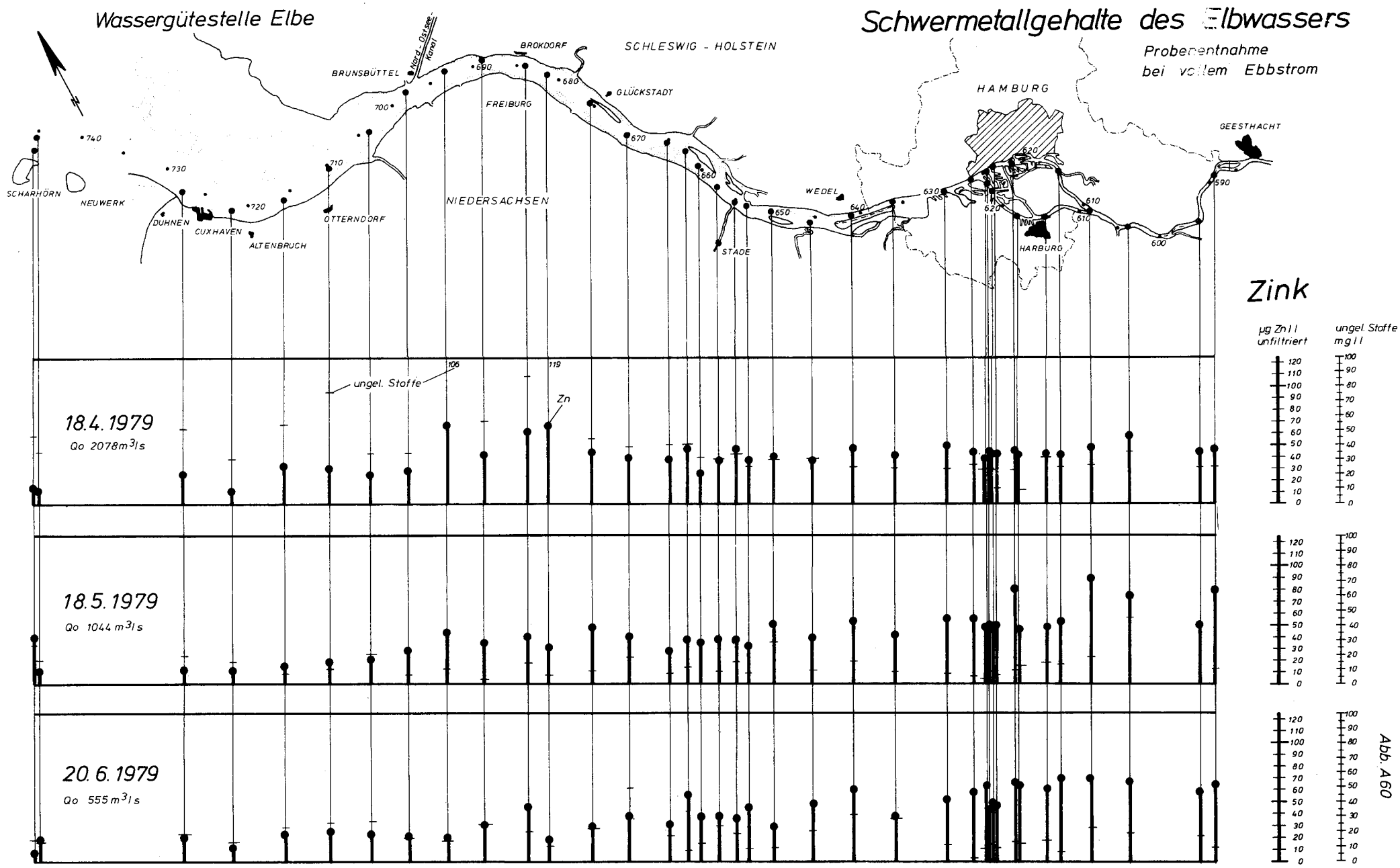

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
Blei
µg Pb l l unfiltriert
ungel. Stoffe mg l l
ungel. Stoffe
Pb
17.7.1980
Qo 1191 m³/s
14.8.1980
Qo 912 m³/s
18.9.1980
Qo 534 m³/s

Abb. A 59


Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
Nord-Ostsee-Kanal
BROKDORF
BRUNSBÜTTEL
GLÜCKSTADT
FREIBURG
GEESTHACHT
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
WEDEL
STADE
HARBURG
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
Zink
µg Zn l l unfiltriert
ungel. Stoffe mg l l
ungel. Stoffe
Zn
106
119
18.4.1979
Qo 2078 m³/s
18.5.1979
Qo 1044 m³/s
20.6.1979
Qo 555 m³/s
Abb. A60

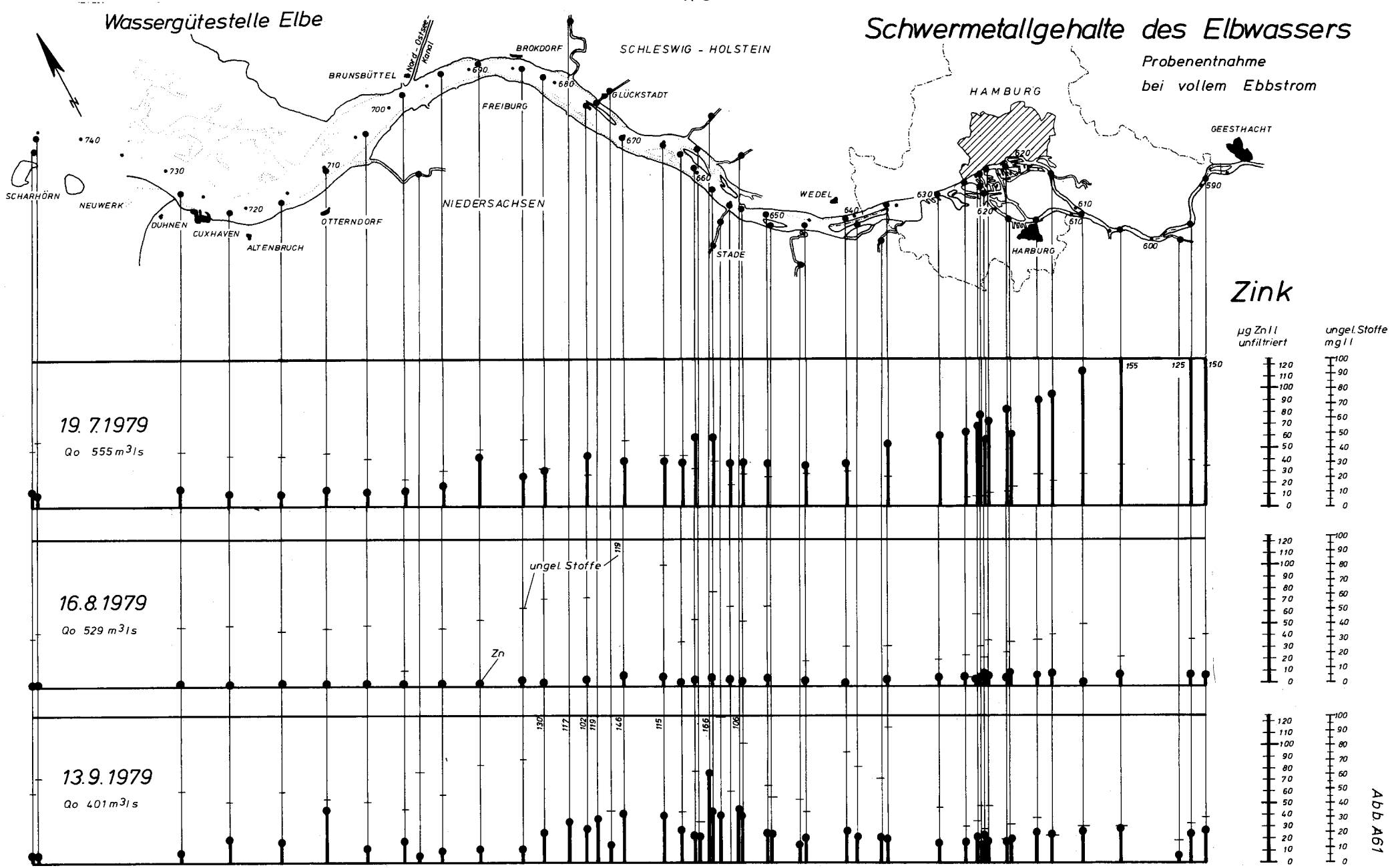

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
Nord-Ostsee-Kanal
BROKDORF
BRUNSBÜTTEL
FREIBURG
GLÜCKSTADT
GEESTHACHT
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
WEDEL
STADE
HARBURG
Zink
µg Zn/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
19. 7. 1979
Qo 555 m³/s
16.8.1979
Qo 529 m³/s
ungel. Stoffe
Zn
13.9.1979
Qo 401 m³/s

Abb. A61

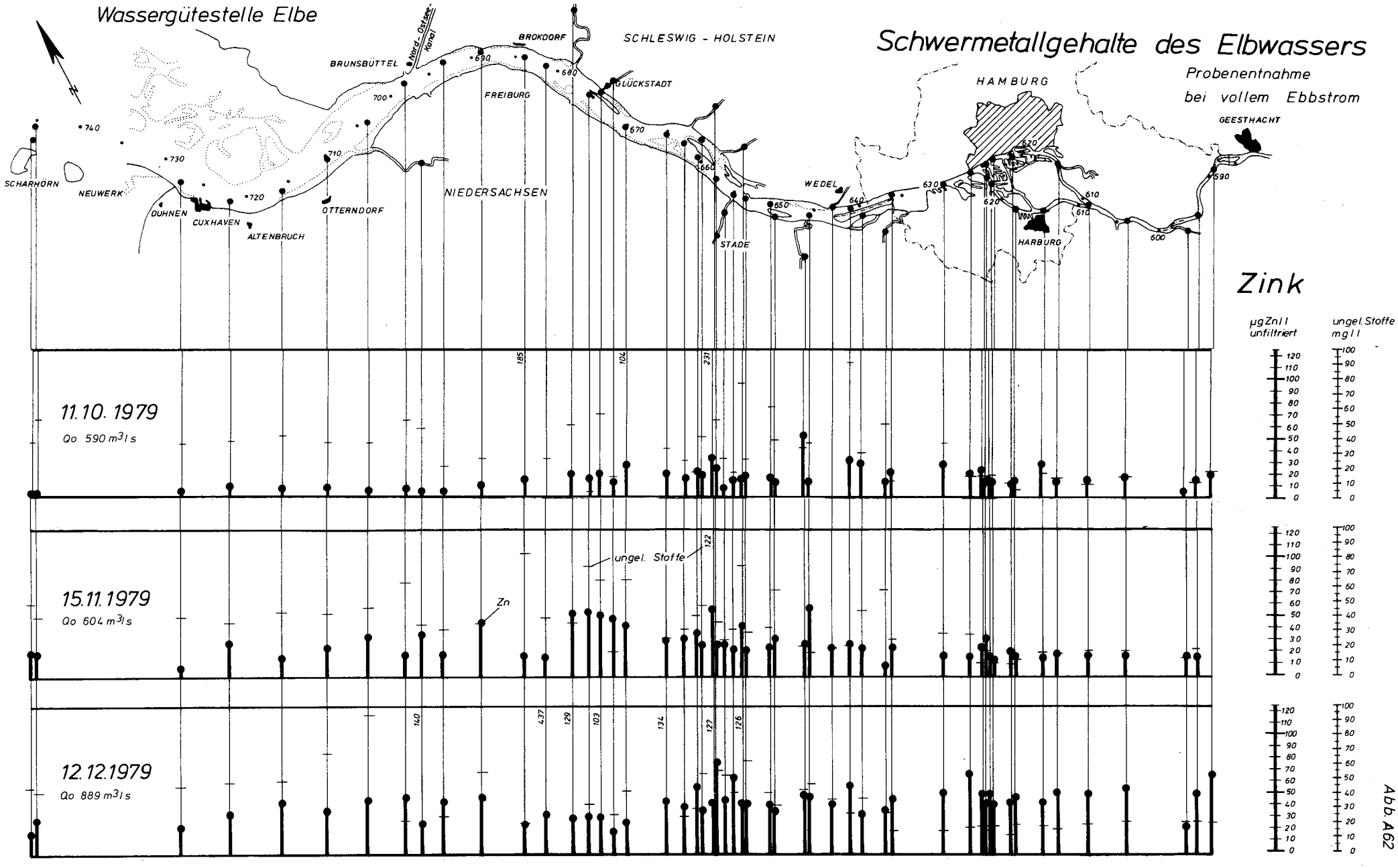

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
Zink
µg Zn/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
11.10.1979
Qo 590 m³/s
185
104
231
15.11.1979
Qo 604 m³/s
ungel. Stoffe
122
Zn
12.12.1979
Qo 889 m³/s
140
437
129
103
134
127
126
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

Abb. A62

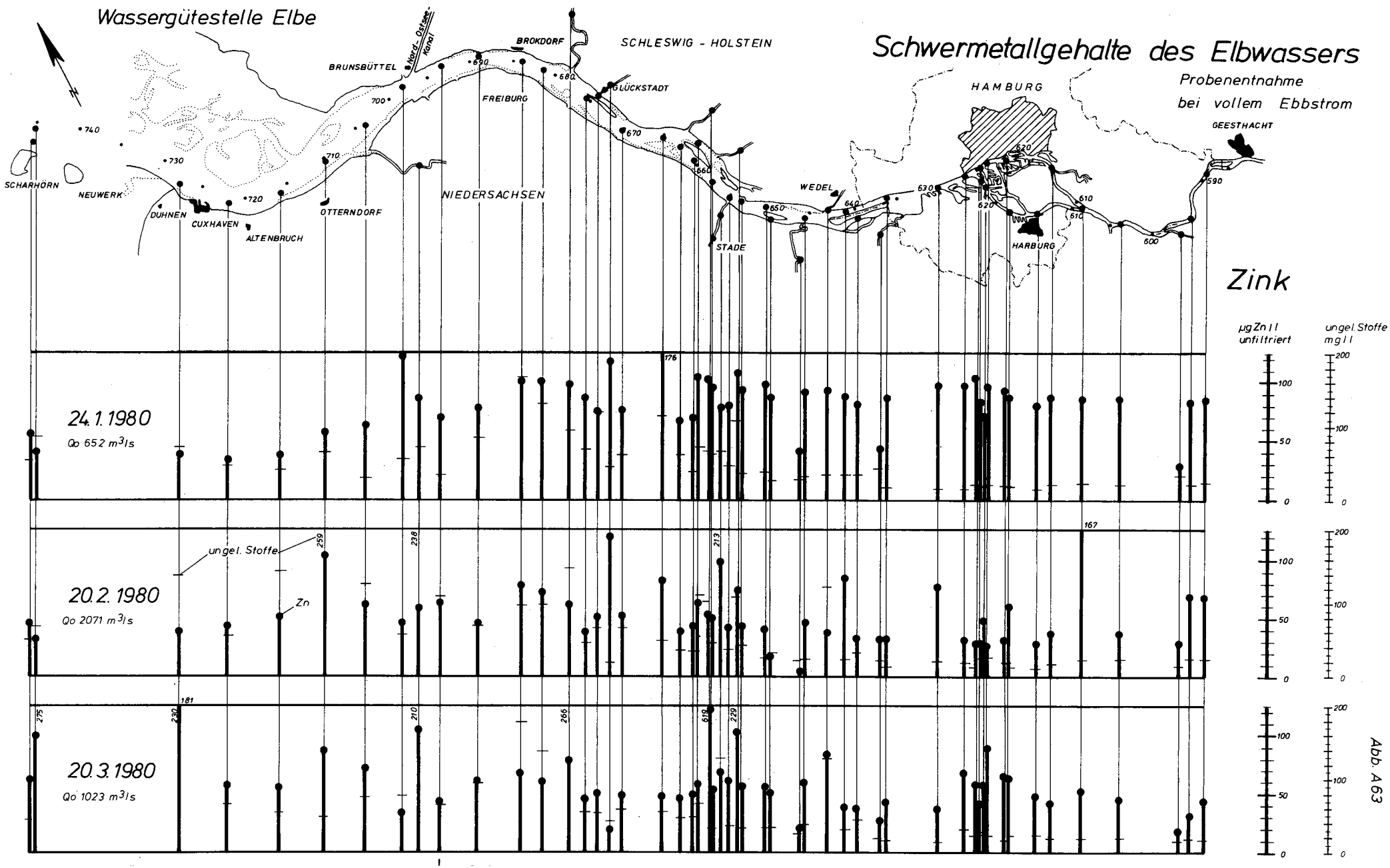

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
Zink
µg Zn / l unfiltriert
ungel. Stoffe mg / l
24.1.1980
Qo 652 m³/s
20.2.1980
Qo 2071 m³/s
ungel. Stoffe
Zn
20.3.1980
Qo 1023 m³/s

Abb. A63

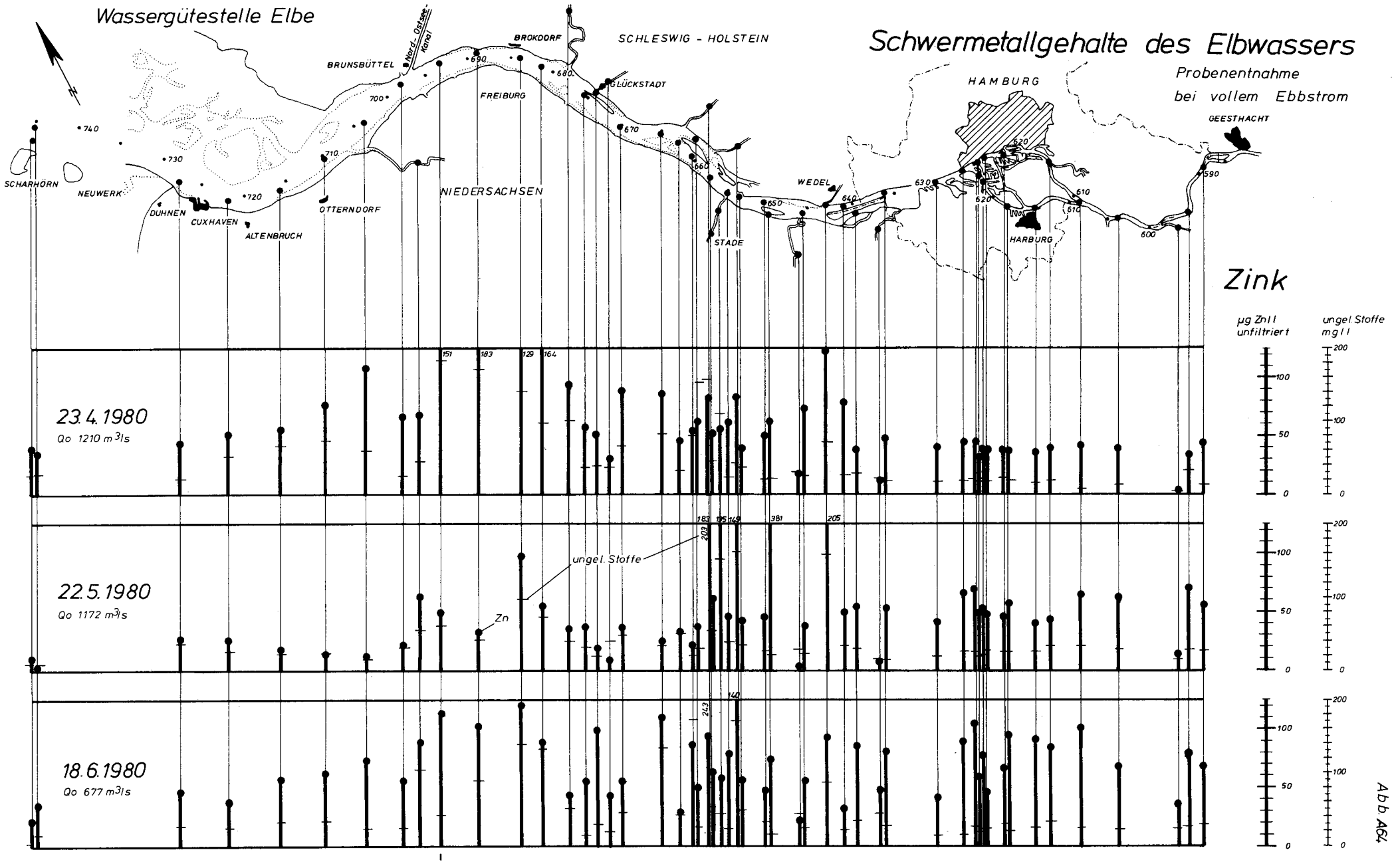

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
Nord-Ostsee-Kanal
BROKDORF
BRUNSBÜTTEL
GLÜCKSTADT
FREIBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
Zink
µg Zn/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
23.4.1980
Qo 1210 m³/s
22.5.1980
Qo 1172 m³/s
18.6.1980
Qo 677 m³/s
ungel. Stoffe
Zn
151
183
129
164
183
203
175
149
381
205
243
140
100
50
0
200
100
0

Abb. A64

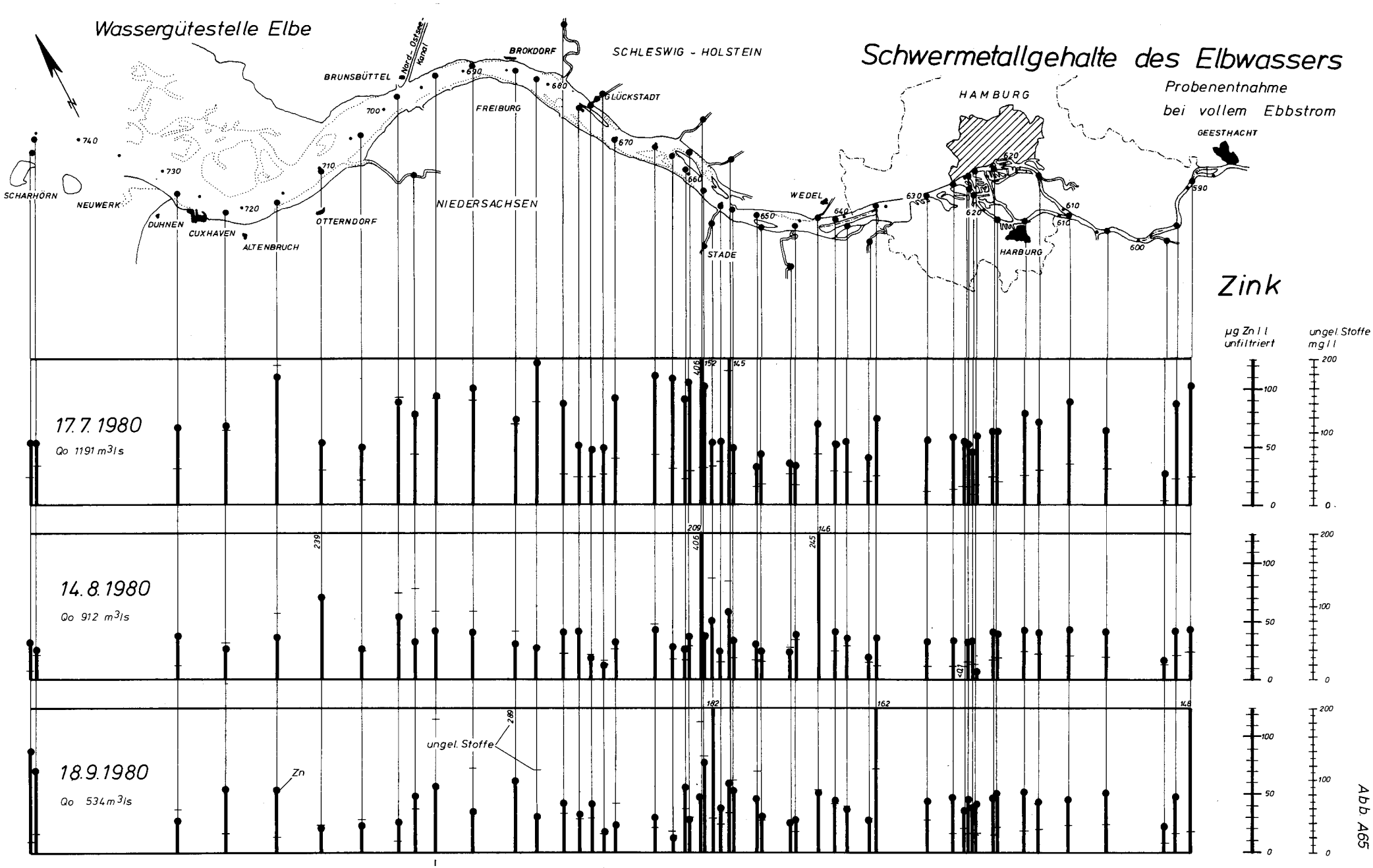

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
BROKDORF
FREIBURG
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
Zink
µg Zn / l
unfiltriert
ungel. Stoffe
mg / l
17.7.1980
Qo 1191 m³/s
14.8.1980
Qo 912 m³/s
18.9.1980
Qo 534 m³/s
ungel. Stoffe
Zn

Abb. A65

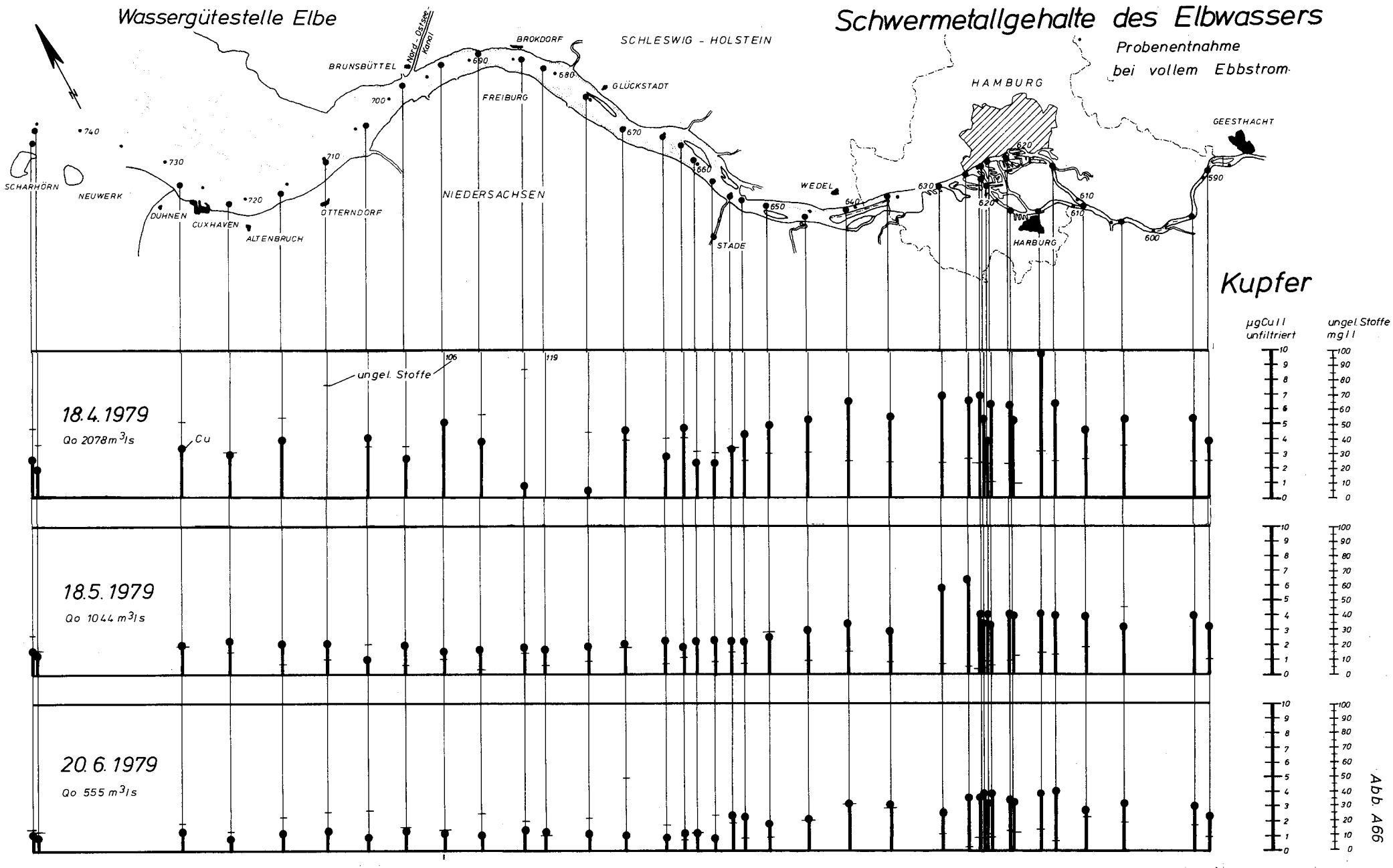

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
Kupfer
µgCu/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
ungel. Stoffe
106
119
Cu
18.4.1979
Qo 2078 m³/s
18.5.1979
Qo 1044 m³/s
20.6.1979
Qo 555 m³/s

Abb. A66

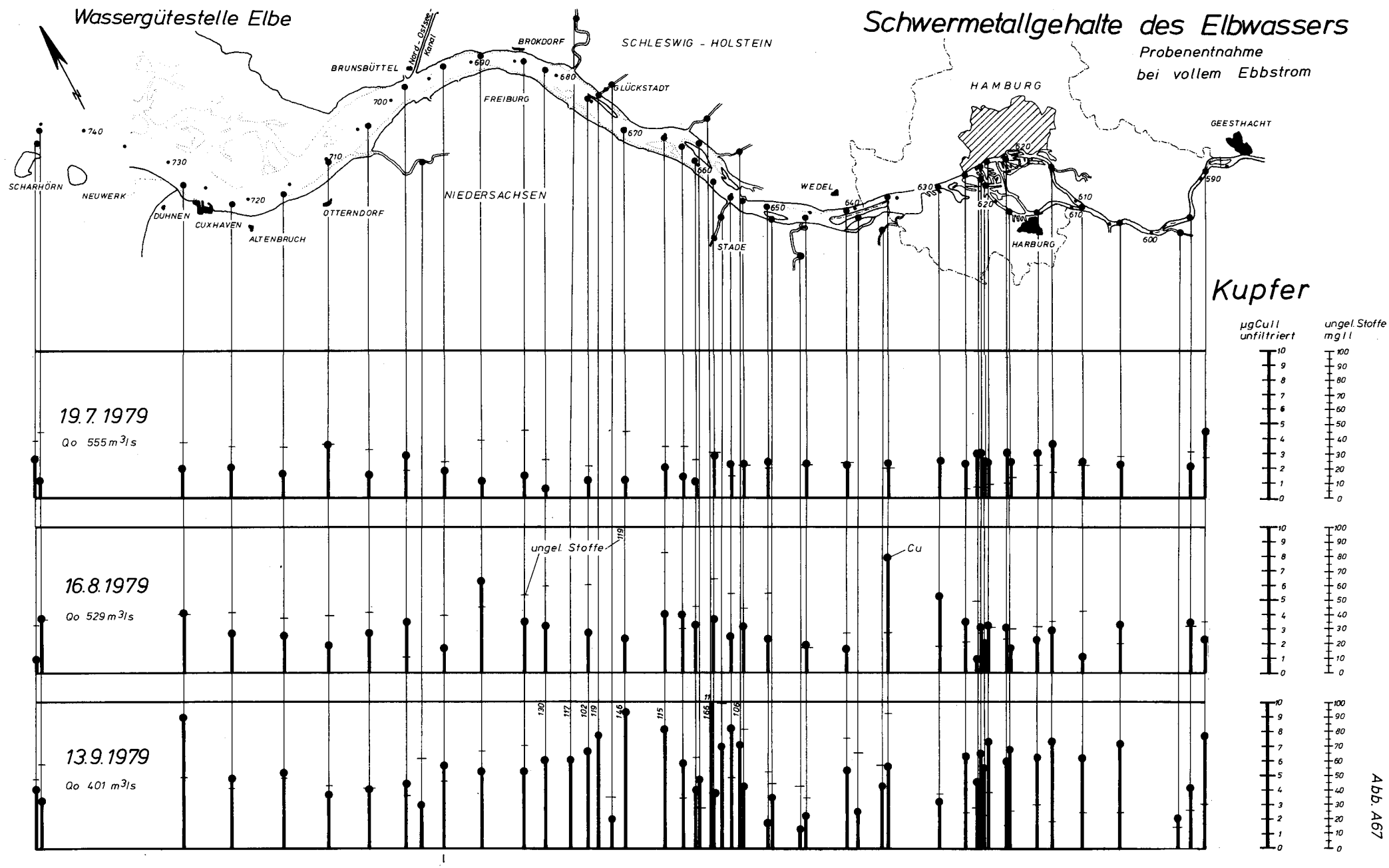

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
Nord-Ostsee-Kanal
BROKDORF
BRUNSBÜTTEL
FREIBURG
GLÜCKSTADT
GEESTHACHT
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
STADE
WEDEL
HARBURG
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
Kupfer
µgCu/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
19.7.1979
Qo 555 m³/s
16.8.1979
Qo 529 m³/s
ungel. Stoffe
Cu
13.9.1979
Qo 401 m³/s
130
112
102
119
146
115
166
106

Abb. A67

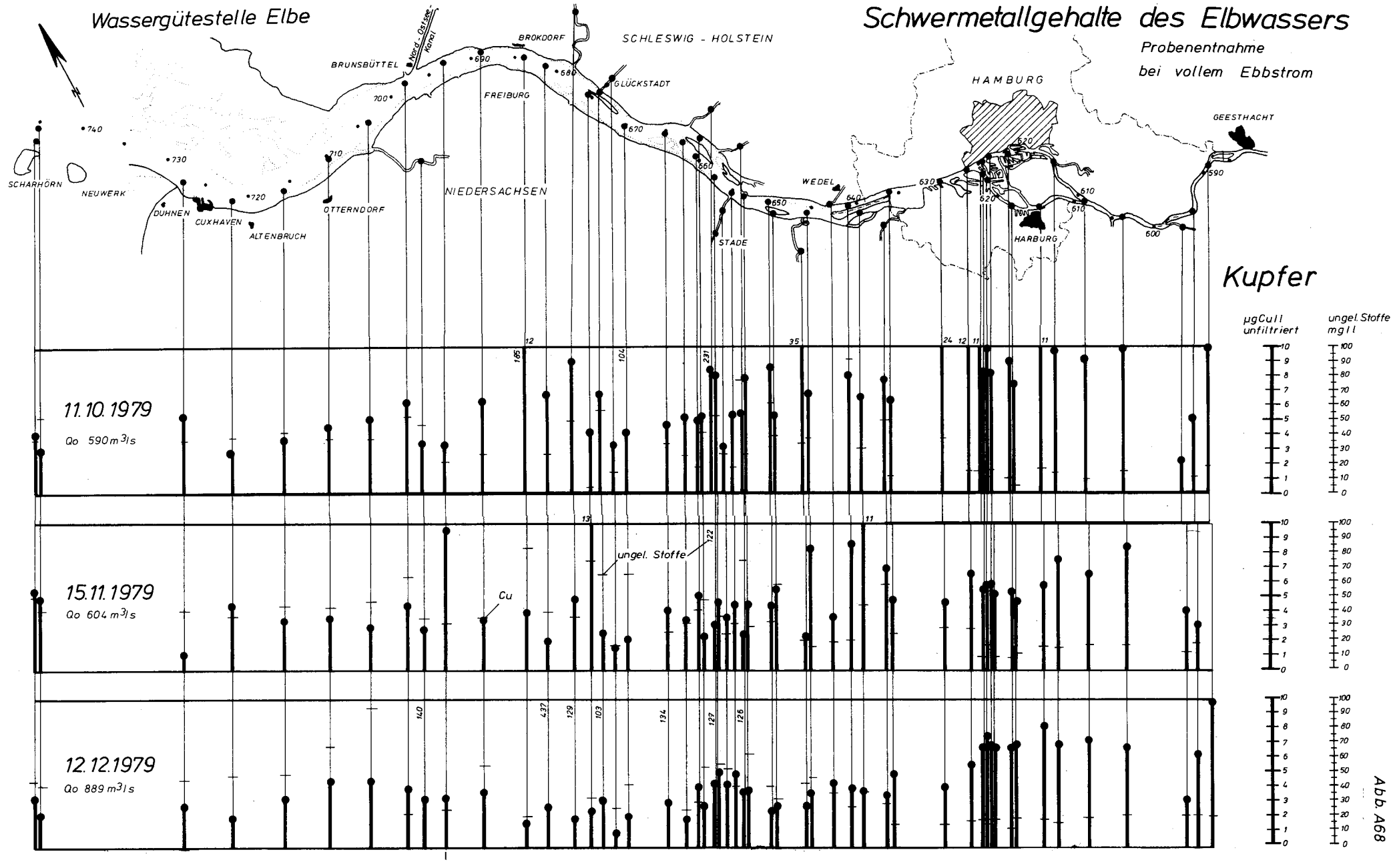
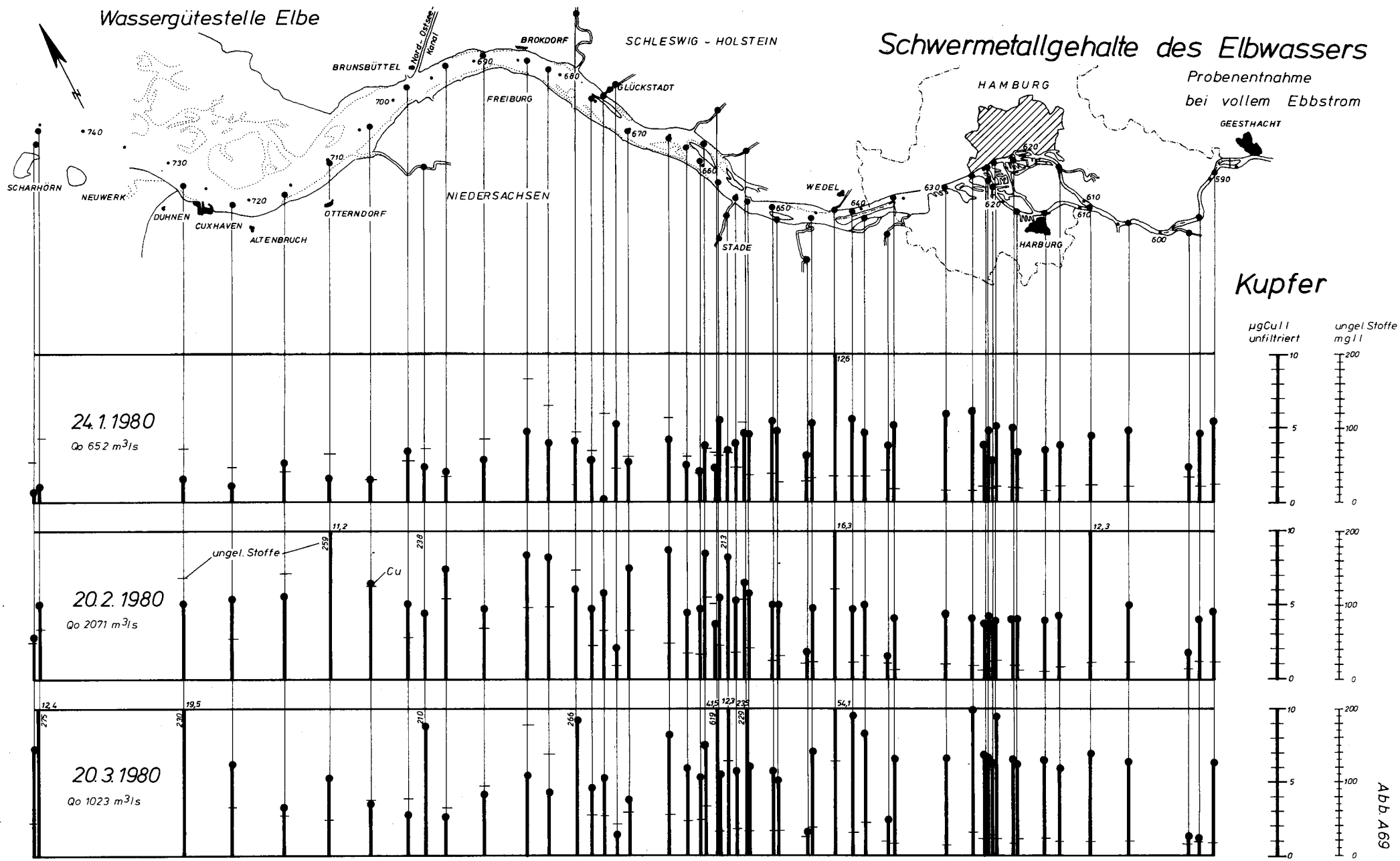

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
BROKDORF
FREIBURG
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
Kupfer
µgCu/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
11.10.1979
Qo 590 m³/s
15.11.1979
Qo 604 m³/s
12.12.1979
Qo 889 m³/s
ungel. Stoffe
Cu

Abb. A68


Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
BROKDORF
FREIBURG
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
Kupfer
µgCu/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
24.1.1980
Qo 652 m³/s
20.2.1980
Qo 2071 m³/s
20.3.1980
Qo 1023 m³/s
ungel. Stoffe
Cu
Abb. A69

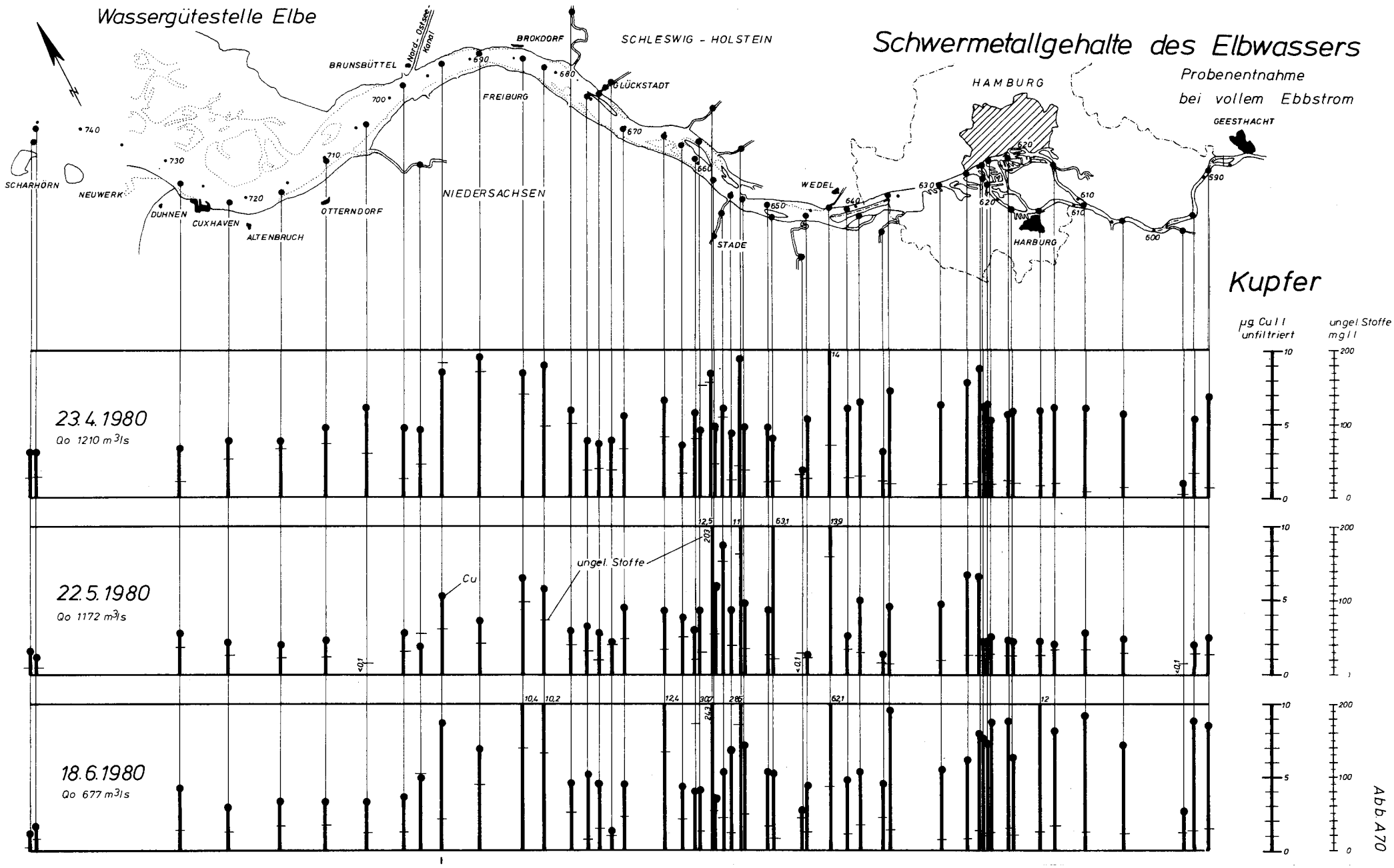

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme
bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DÜHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
740
730
720
710
700
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
Kupfer
µg Cu l l unfiltriert
ungel. Stoffe mg l l
23.4.1980
Qo 1210 m³/s
22.5.1980
Qo 1172 m³/s
18.6.1980
Qo 677 m³/s
Cu
ungel. Stoffe
14
12,5
11
63,1
139
203
<0,1
10,4
10,2
12,4
90,7
28,5
62,1
12
24,3
10
5
0
200
100
0

Abb. A 70

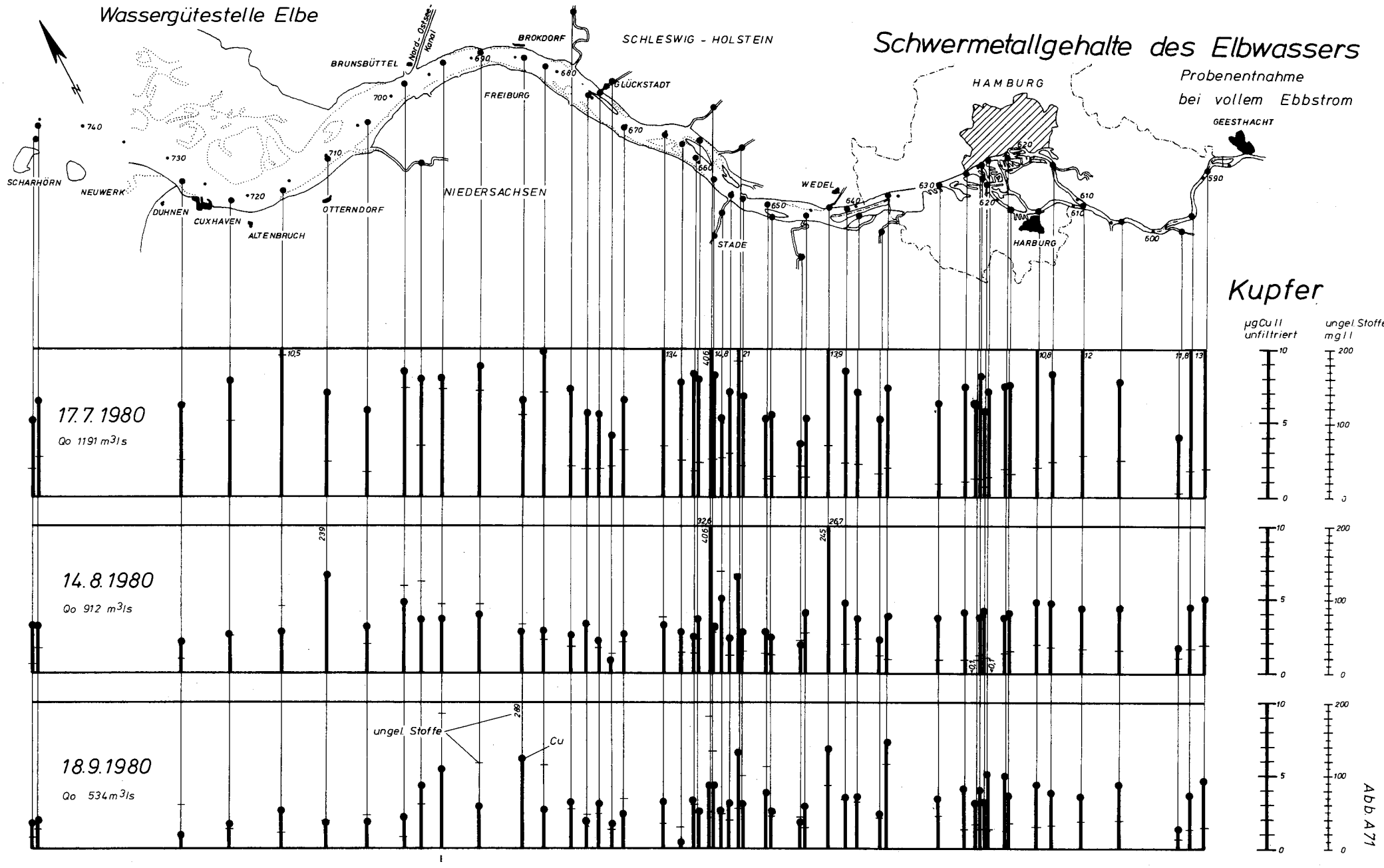

Wassergütestelle Elbe
Schwermetallgehalte des Elbwassers
Probenentnahme bei vollem Ebbstrom
SCHLESWIG - HOLSTEIN
NIEDERSACHSEN
HAMBURG
SCHARHÖRN
NEUWERK
DUHNEN
CUXHAVEN
ALTENBRUCH
OTTERNDORF
BRUNSBÜTTEL
Nord-Ostsee-Kanal
FREIBURG
BROKDORF
GLÜCKSTADT
STADE
WEDEL
HARBURG
GEESTHACHT
Kupfer
µg Cu/l unfiltriert
ungel. Stoffe mg/l
17.7.1980
Qo 1191 m³/s
14.8.1980
Qo 912 m³/s
18.9.1980
Qo 534 m³/s
ungel. Stoffe
Cu

Abb. A 71

Abb. A 72

Schwermetallgehalte des Elbwassers

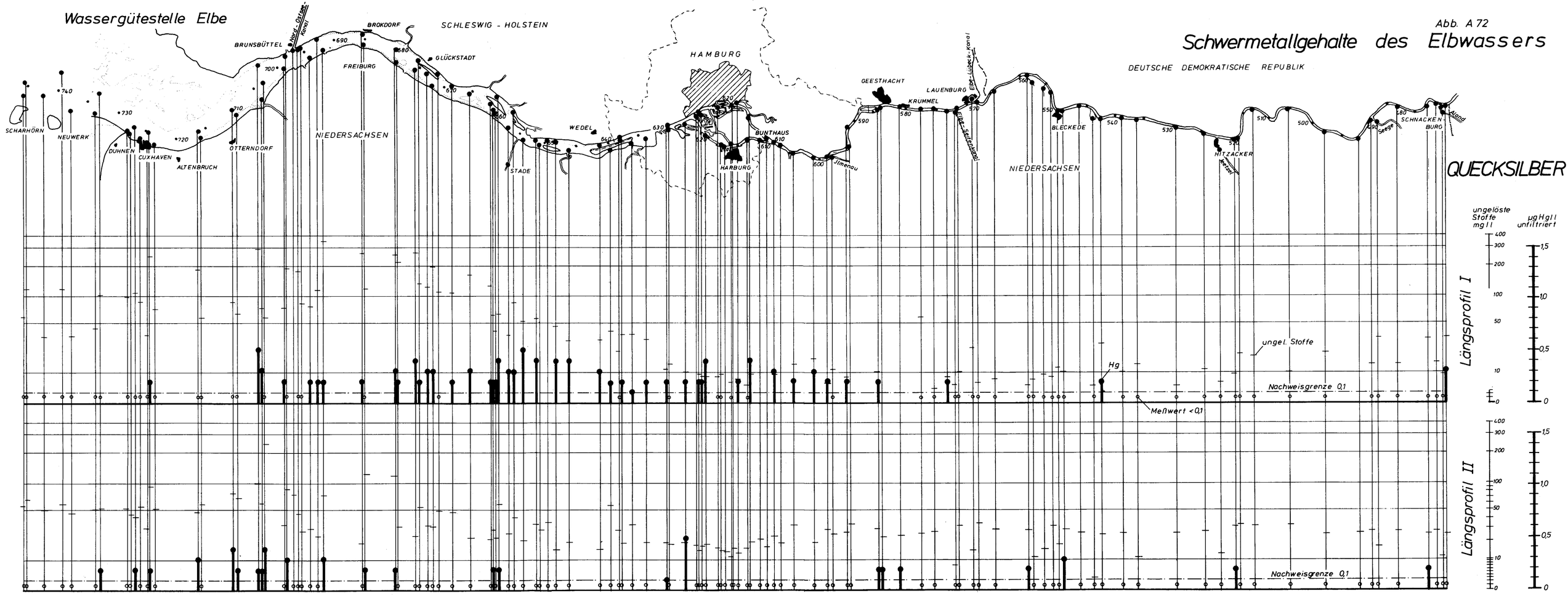


Abb. A 73

Schwermetallgehalte des Elbwassers

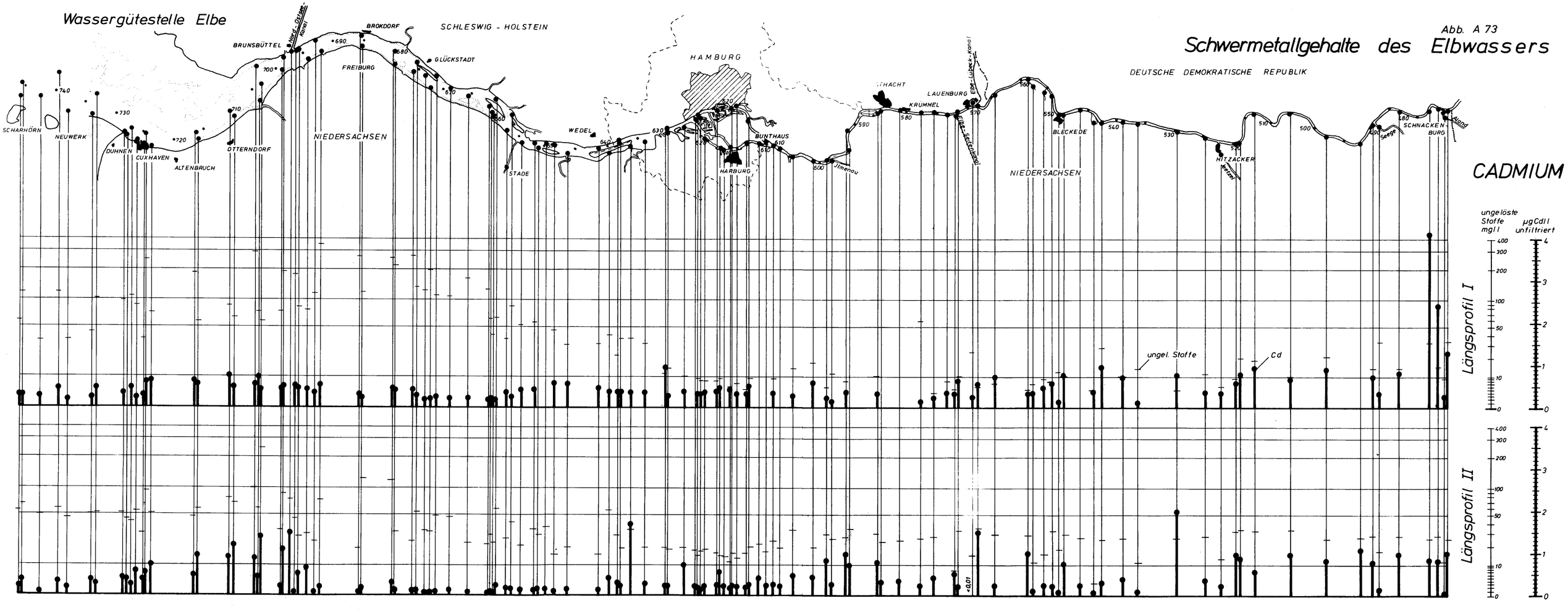
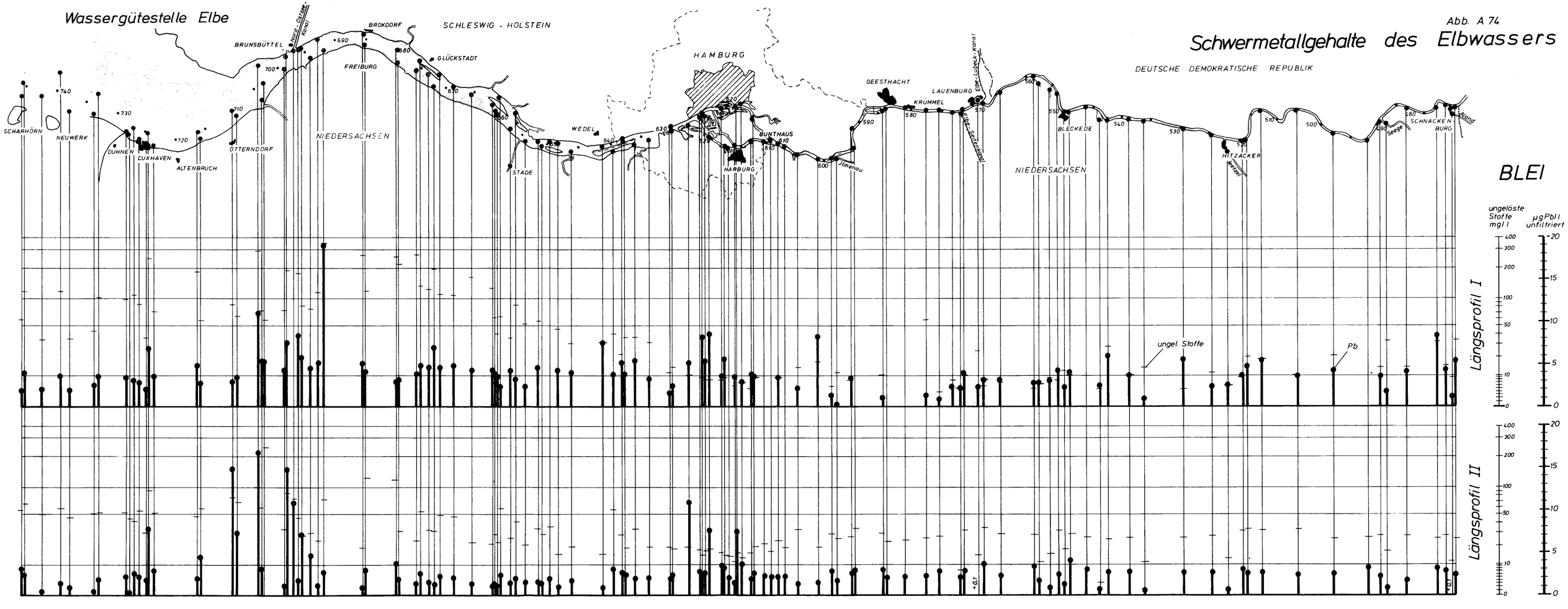


Abb. A 74

Schwermetallgehalte des Elbwassers



Wassergütestelle Elbe

Abb. A 75

Schwermetallgehalte des Elbwassers

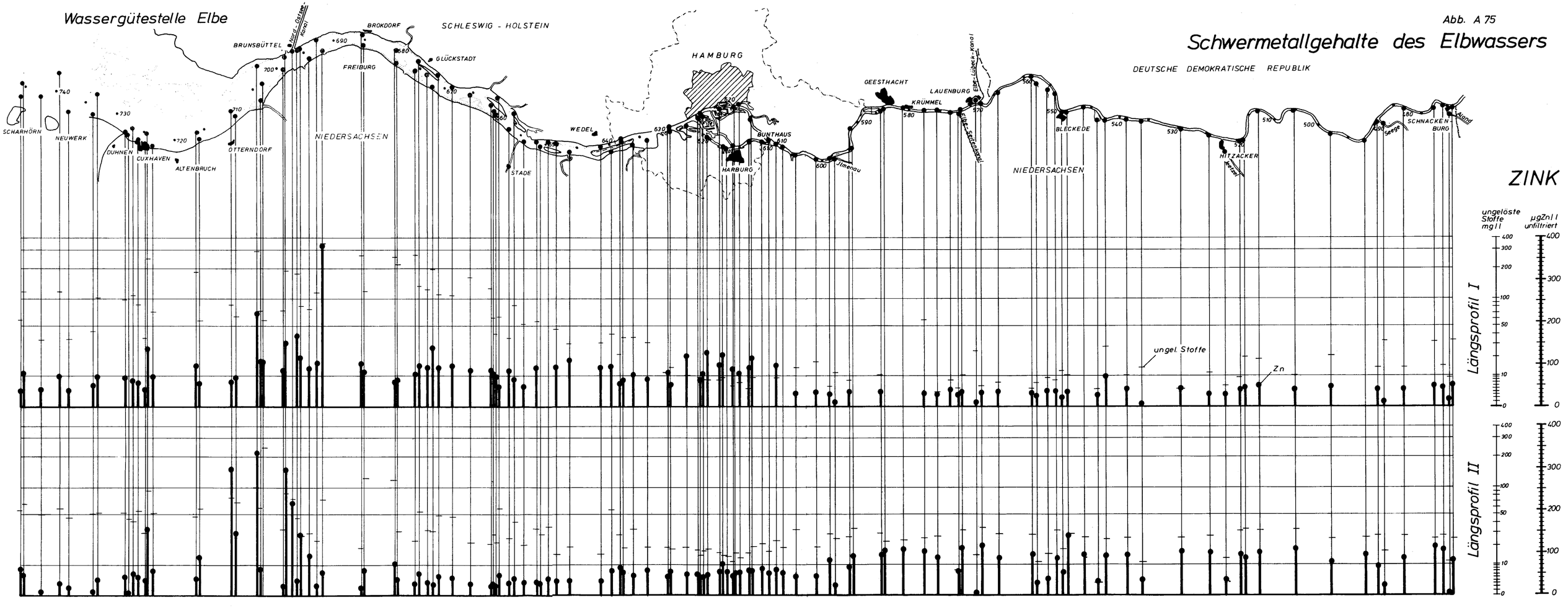


Abb. A 76

Schwermetallgehalte des Elbwassers

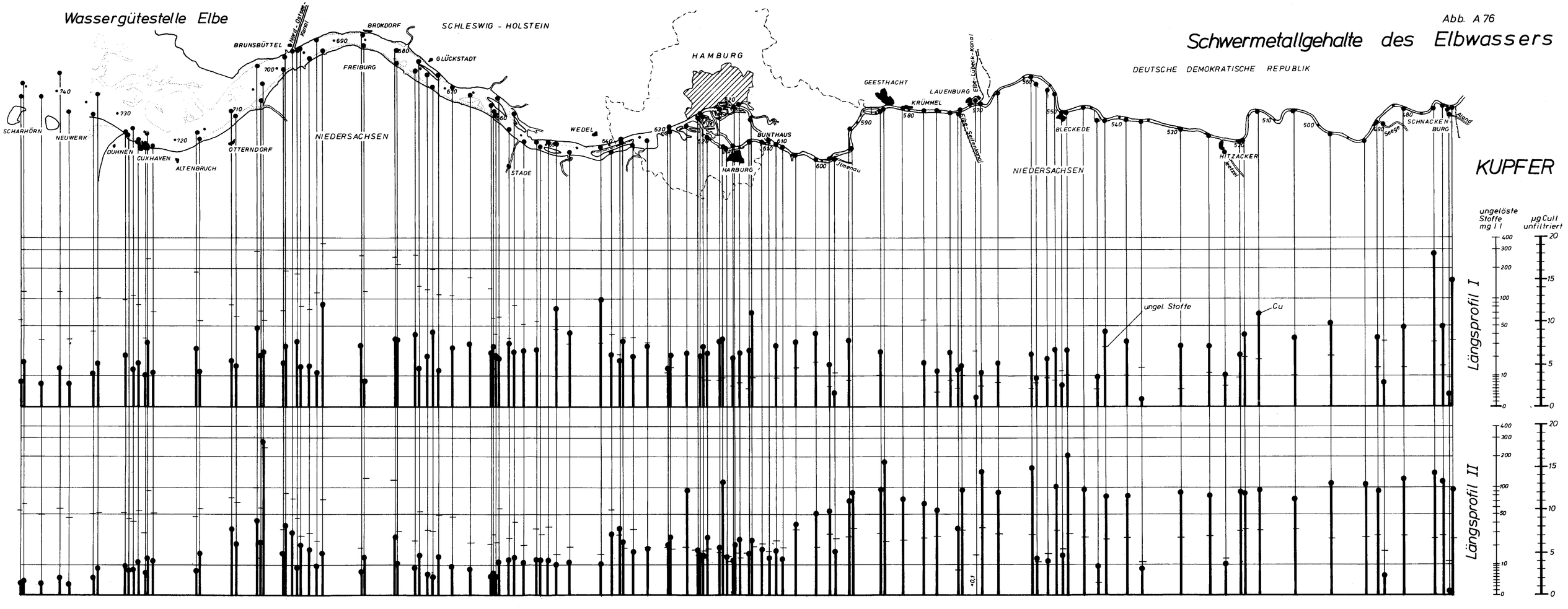


Abb. A 77

Schwermetallgehalte des Elbwassers

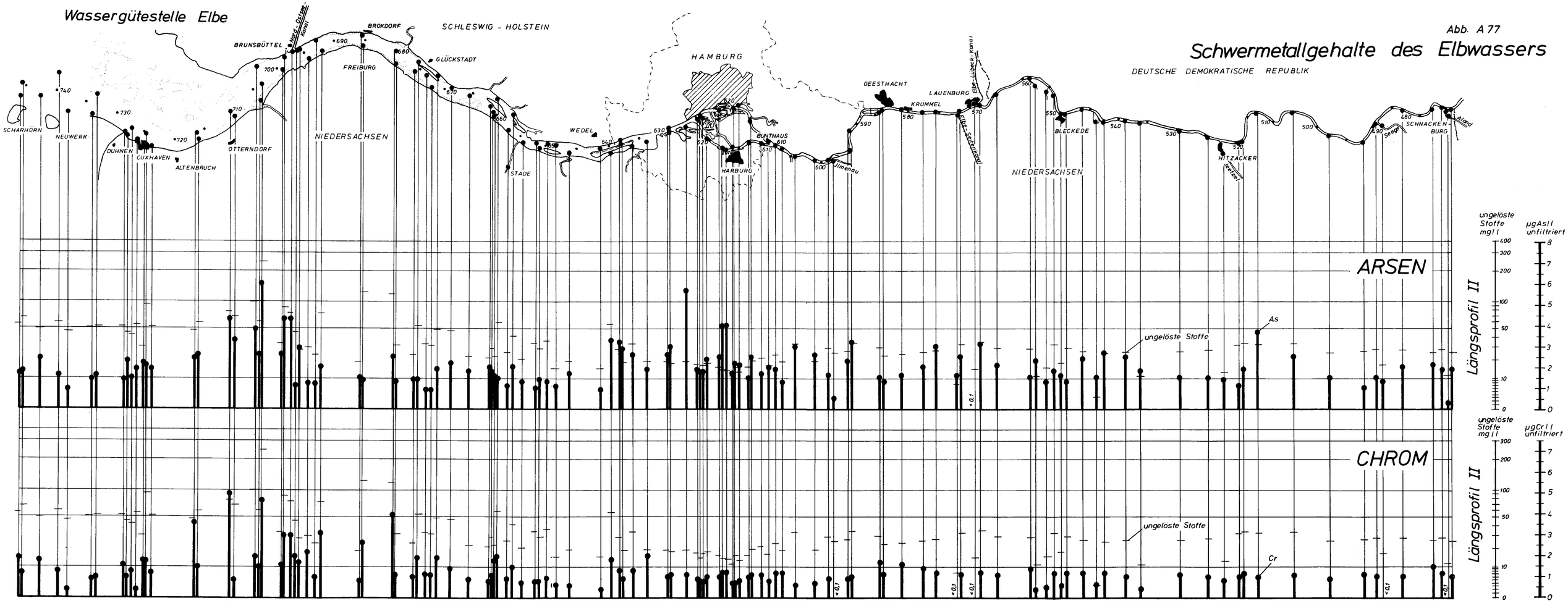


Abb. A 78

Schwermetallgehalte des Elbsedimentes

untersuchte Korngrößenfraktion < 63 µm

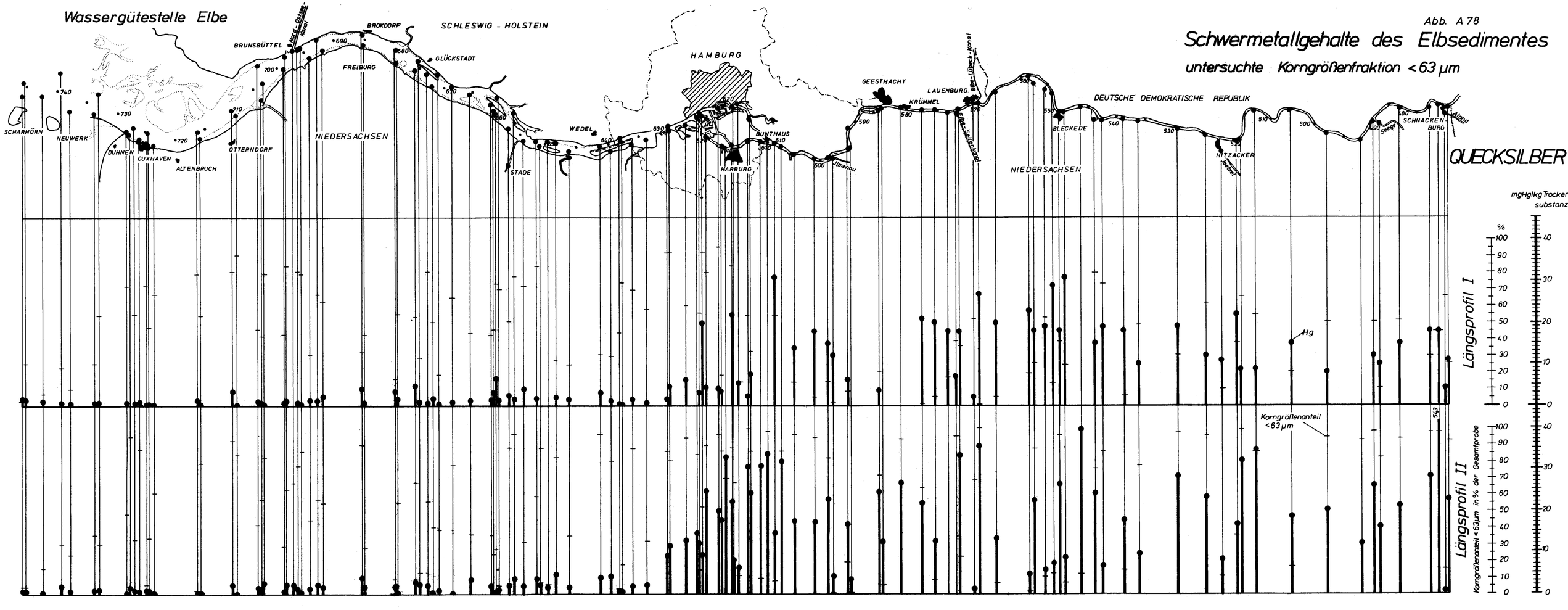


Abb. A 79

Schwermetallgehalte des Elbsedimentes

untersuchte Korngrößenfraktion < 63 µm

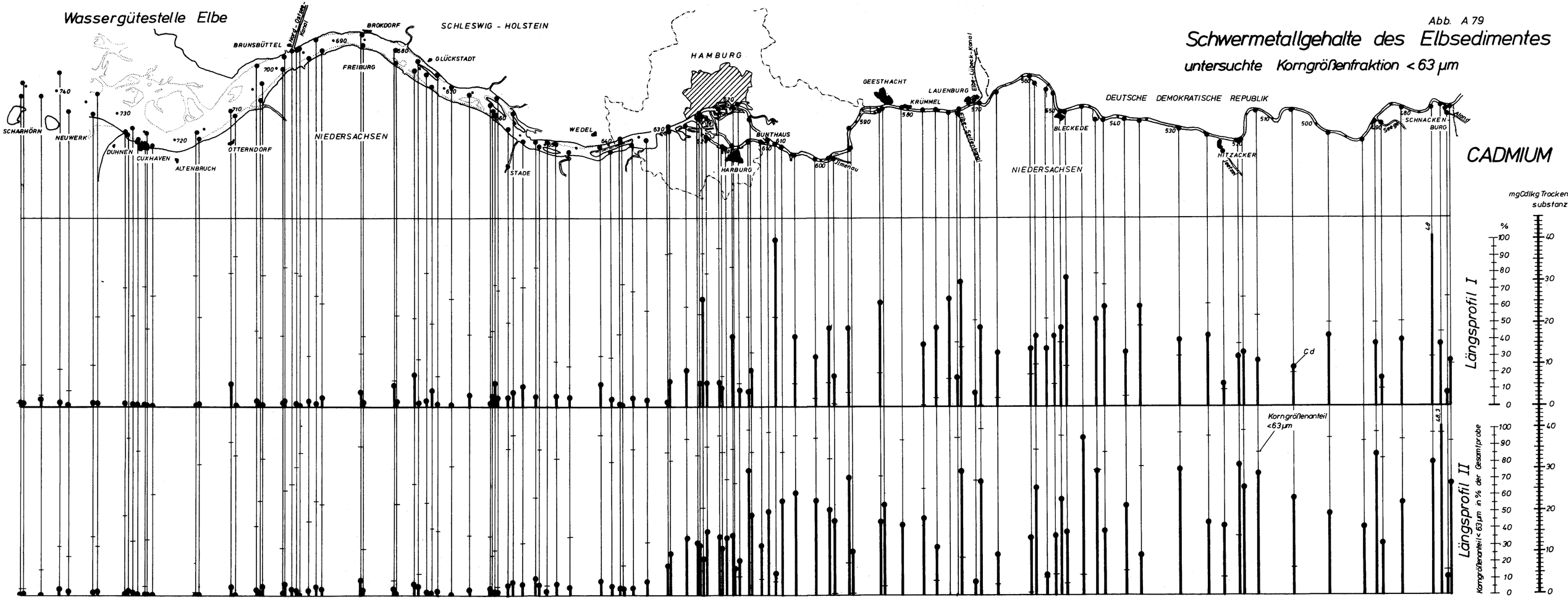


Abb. A 80

Schwermetallgehalte des Elbsedimentes

untersuchte Korngrößenfraktion < 63 µm

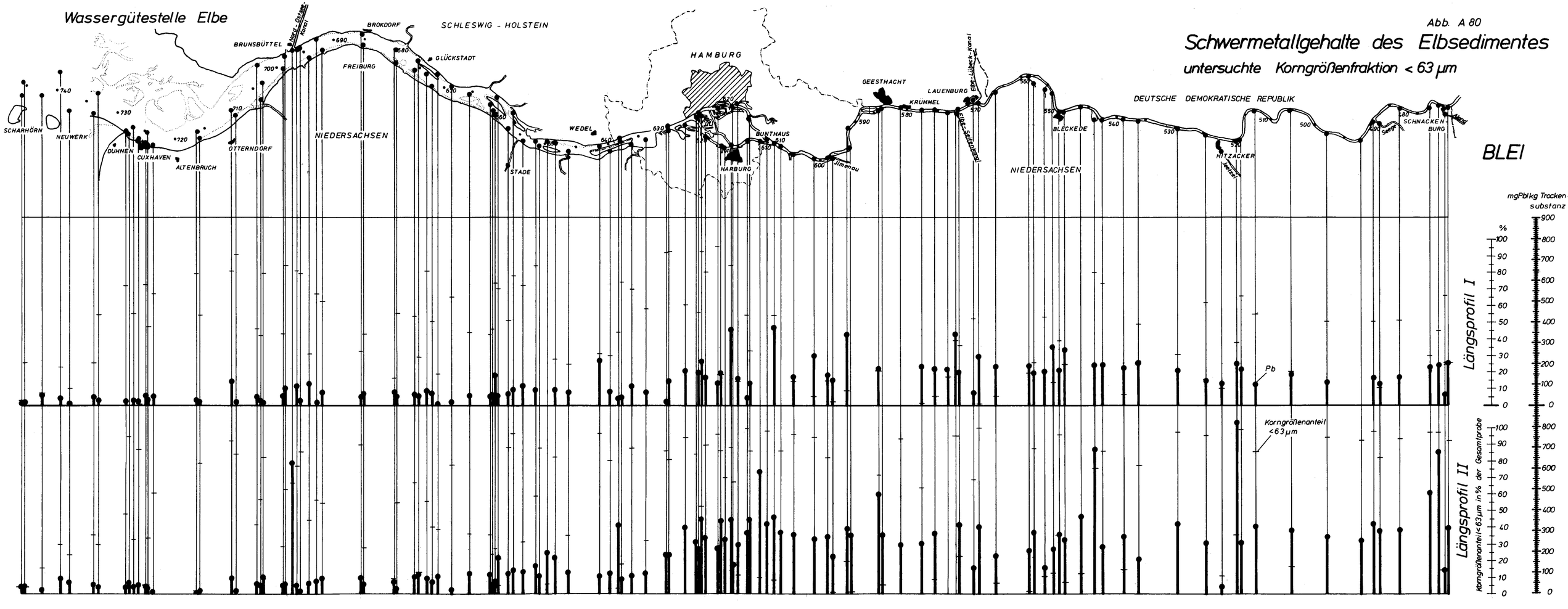


Abb. A 81

Schwermetallgehalte des Elbsedimentes

untersuchte Korngrößenfraktion < 63 µm

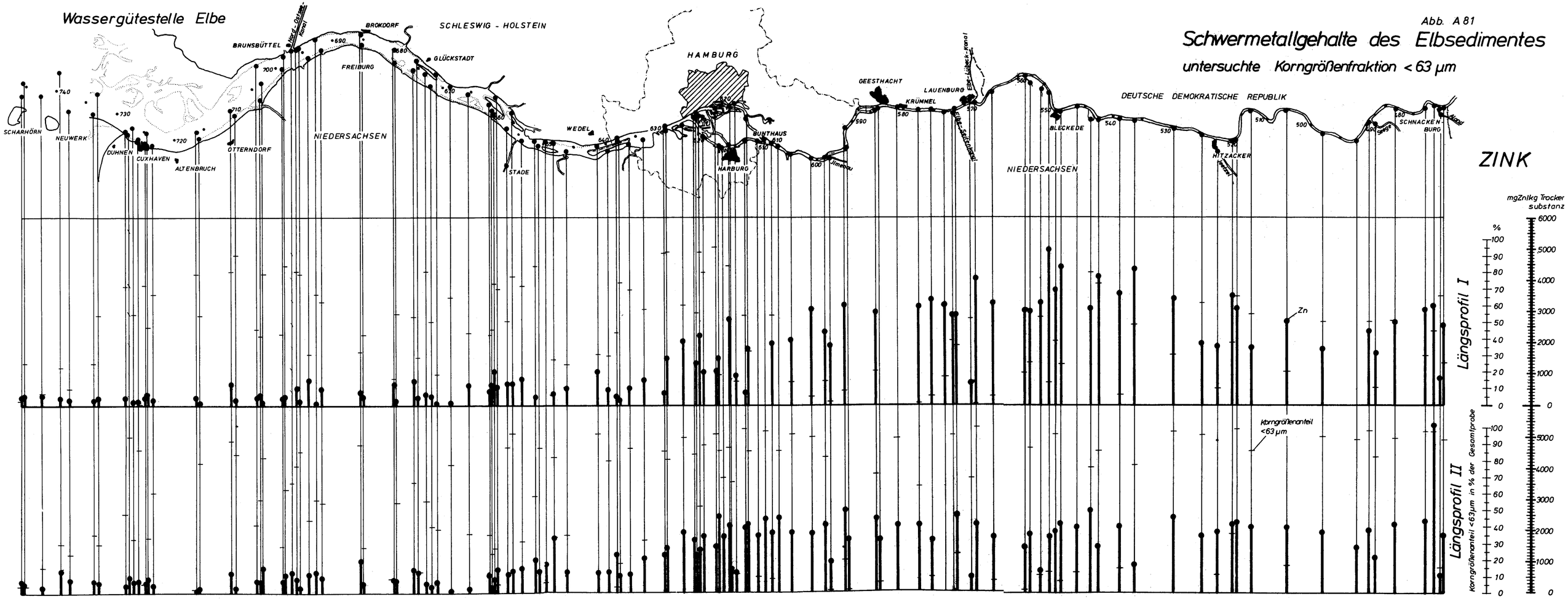


Abb. A 82

Schwermetallgehalte des Elbsedimentes

untersuchte Korngrößenfraktion < 63 µm

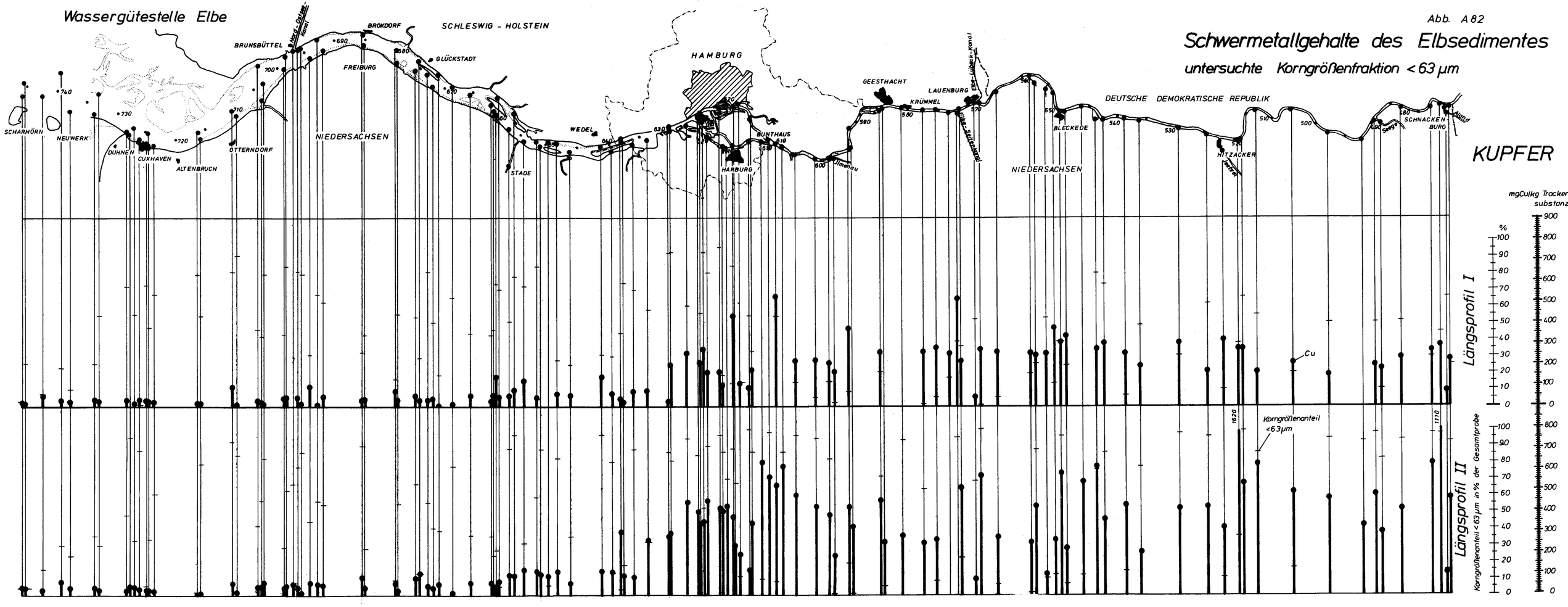
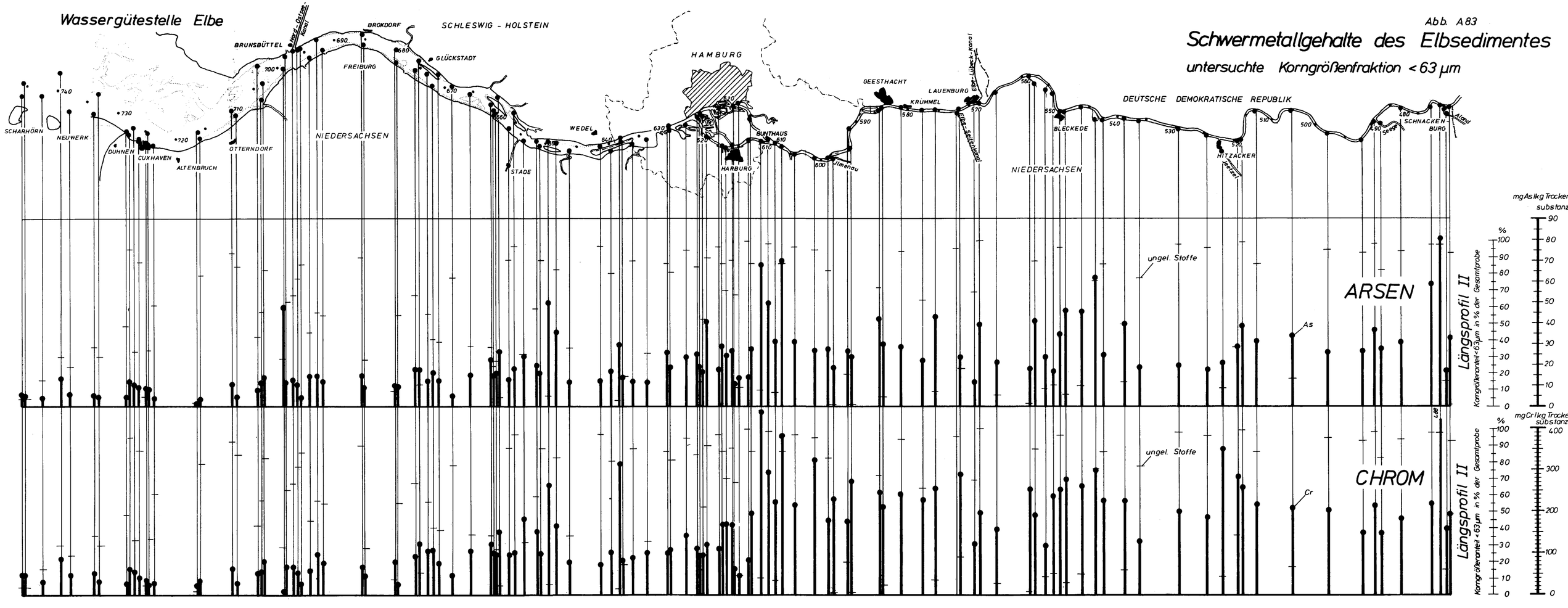


Abb. A 83

Schwermetallgehalte des Elbsedimentes

untersuchte Korngrößenfraktion < 63 µm