

Messung chalkophiler Elemente mit dem ICPMS an Proben der Subduktionszone von Kamchatka

Diplomarbeit
vorgelegt von
Alexander Heuser
aus
Wipperfürth

Angefertigt
im Institut für Geochemie
der Georg-August-Universität zu Göttingen
1998

Vorwort

Ich möchte mich bei all denen bedanken, die mir auf vielfältige Weise bei dieser Arbeit geholfen haben.

Mein Dank gilt vor allem Herrn Prof. Dr. Wörner, der mich bei dieser Arbeit betreut und mir das interessante Thema vergeben hat. Bedanken möchte ich mich auch bei Prof. Dr. Hoefs, der sich freundlicherweise als Korreferent zur Verfügung gestellt hat.

Bedanken möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Dr. Klaus Simon der mich in die ICPMS-Analytik eingewiesen hat und mir bei meinen Messungen und den Auswertungen der Messungen mit Rat und Tat zur Seite stand. Bedanken möchte ich mich auch bei Ulrich Bielert, der mir in zahllosen Diskussionen, viele Anregungen für ICPMS-Messungen geliefert hat. Auch bei Erwin Schiffczyk, der mir bei jeglichen Problemen im Labor und in allen Fragen zur Erstellung der Aufschlußlösungen geholfen hat, gebührt ein großes „Dankeschön“.

Frank Dorendorf, der mir neben den Proben auch seine Analysenergebnisse und sein Wissen über Kamchatka zur Verfügung stellte, sei an dieser Stelle gedankt.

Besonders bedanken möchte ich mich natürlich auch bei meiner Familie, die mir nicht nur durch ihre großzügige finanzielle Unterstützung während meiner gesamten Studienzeit als verlässlicher Partner zur Seite stand.

Natürlich möchte ich mich auch bei meinem Mitbewohner Stephan bedanken, der mich immer wieder mit Hopfenkaltschale versorgte und immer als Ansprechpartner zur Verfügung stand.

Alle, die mir bei dieser Arbeit geholfen haben, und die ich jetzt nicht namentlich erwähnt habe, bitte ich, mir dies nachzusehen. Ihnen sei hiermit auch gedankt.

Inhalt

1. EINLEITUNG	1
2. ZIELSETZUNG	3
3. ALLGEMEINES.....	4
3.1 KAMCHATKA.....	4
3.2 PROBEN.....	5
4. METHODIK.....	7
4.1 AUSWAHL DER ZU BESTIMMENDEN ISOTOPE.....	7
4.2 KURZE ÜBERSICHT DES ICPMS UND DESSEN FUNKTIONSWEISE.....	8
4.2.1 <i>Prinzip des ICPMS</i>	8
4.2.1.1 Ionenquelle	8
4.2.1.2 Quadrupole-Massenfilter	8
4.2.1.3 Channeltron-Mulplier	9
4.2.2 <i>Einstellungsmöglichkeiten des Gerätes</i>	10
4.2.3 <i>Ablauf einer Messung</i>	10
4.3 PROBLEME BEI MESSUNGEN MIT DEM ICPMS	12
4.3.1 <i>Stabilität der Messung</i>	12
4.3.2 <i>Interferenzen</i>	13
4.3.3 <i>Matrixeffekte</i>	14
4.3.4 <i>Probleme bei der Ionisation</i>	16
4.3.5 <i>Memoryeffekte</i>	17
4.3.6. <i>weitere Fehlerquellen</i>	17
4.4 DRUCKAUFKSCHLÜSSE	18
4.4.1 <i>HF/HClO₄-Aufschluß</i>	18
4.4.2 <i>HF/HNO₃-Aufschluß</i>	19
4.5 BEHANDLUNG DER LÖSUNGEN.....	19
4.5.1 <i>Stabilitäts- und empfindlichkeitsverbessernde Zusätze</i>	19
4.5.2 <i>Ultraschallbehandlung</i>	19
4.6 KALIBRATIONS LÖSUNGEN.....	20
4.7 AUSWERTUNG DER MEßERGEWINNISSE.....	21
4.7.1 <i>Konzentrationsberechnung</i>	21

4.7.2 Fehlerrechnung	24
4.7.3 Berechnung von Bestimmungs- und Nachweisgrenze	25
4.7.4 Bestimmung der Genauigkeit der Ergebnisse	26
4.7.5 Bestimmung der Reproduzierbarkeit.....	27
4.8. MODIFIKATIONEN DES STANDARD-AUSWERTESCHEMAS.....	27
4.8.1 Modifikationen bei Verlust des Eichpunktes C.....	27
4.8.2 Modifikationen bei der Normierung auf einen inneren Standard	29
5. ERGEBNISSE	30
5.1 ERGEBNISSE DER VORVERSUCHE	30
5.1.1 Versuch 1	30
5.1.2 Versuch 2	34
5.1.3 Versuch 3	34
5.1.4 Schlußfolgerungen aus den Vorversuchen	35
5.2 ERGEBNISSE DER MESSUNGEN AN PROBEN AUS KAMCHATKA	36
5.2.1 HF/HClO ₄ -Aufschluß	36
5.2.1.HF/HNO ₃ -Aufschluß.....	37
5.2.3 Endergebnis der Probenmessungen	39
6. DISKUSSION	43
6.1 GRUNDLAGEN UND UNTERSUCHUNGSANSATZ.....	43
6.2 FLUIDMOBILE CHALKOPHILE ELEMENTE	45
6.2.1 Antimon (Sb).....	45
6.2.2 Arsen (As)	53
6.3 WEITERE CHALKOPHILE ELEMENTE	57
6.3.1 Molybdän (Mo).....	57
6.3.2 Zinn (Sn)	58
6.4 BISMUT (Bi) UND CADMIUM (Cd)	59
7. ZUSAMMENFASSUNG	60
8. LITERATURVERZEICHNIS.....	62
ANHANG.....	65

1. Einleitung

Die Frage nach den Mechanismen der chemischen Differentiation der Erde spielt eine große Rolle in den Geowissenschaften. Wichtige Prozesse, die zu dieser Differentiation der Erde geführt haben sind die Neubildung von ozeanischer Kruste, die Bildung von kontinentaler Kruste und das Recycling von ozeanischer und kontinentaler Kruste durch Subduktion. Subduktion und der damit verbundene Vulkanismus ist ein wesentliches Merkmal der modernen Plattentektonik. Den Geowissenschaftler interessieren die mit der Subduktion verbundenen Prozesse und Ausbildung des Vulkanismus abhängig von der Subduktionsumgebung und den Subduktionsparametern. So spielt es keine unerhebliche Rolle, ob z.B. ozeanische Kruste unter ozeanische oder kontinentale Kruste subduziert wird, mit welcher Geschwindigkeit dies geschieht und in welchem Winkel die subduzierte Platte abtaucht. Will man die Auswirkungen solcher Unterschiede verstehen, muß man versuchen die Prozesse die bei der Subduktion ablaufen, zu erkennen und zu verstehen. Leider ist es aber nicht möglich die Prozesse in einer Subduktionszone direkt zu studieren und ist daher auf indirekte Methoden angewiesen. Zu diesen indirekten Methoden zählt auch die Untersuchung des subduktionsbedingten Vulkanismus hinsichtlich seiner Geochemie.

Neben der Hauptelementgeochemie spielt vor allem die Geochemie der Spuren- und Ultraspurenelemente eine gewichtige Rolle, da sie sehr sensitiv auf bestimmte Prozesse reagiert. Vor allem anhand der Spurenelemente möchte man klären, inwieweit es zur Aufschmelzung der subduzierten Platte kommt, wieviel Sediment subduziert wird, ob und wie es zur Anreicherung verschiedener mobiler Elemente durch Fluidtransport von der subduzierten Platte in den darüberliegenden Mantelkeil kommt. Zur Klärung dieser Fragen bediente man sich bisher meist der HFS-Elemente (inkompatible Elemente mit großem Ladungs-Ionenradius-Verhältnis), der LIL-Elemente (inkompatible, großionige lithophile Elemente), der Seltenerdelemente (SEE = La und Lanthanide) und der radioaktiven und radiogenen Isotopensysteme (z.B. Sm-Nd-System oder Pb-Pb-System). Die Untersuchungen dieser Elemente bzw. geochemischen Charakteristika gehören mittlerweile zu den Standardverfahren und haben Modelle der Prozesse bei der Subduktion stark erweitert und verfeinert. Eine vollständige und eindeutige Klärung der Subduktionsprozesse ist damit bisher jedoch nicht gelungen. Deshalb richtet man gerade in den letzten Jahren das Augenmerk vermehrt auf bisher wenig genutzte Elemente und Isotopensysteme. Möglich wurden solche Untersuchungen auch oftmals erst durch verfeinerte Analysemethoden und -möglichkeiten. Zu den in den letzten Jahren vermehrt untersuchten Elementen und Isotopensystemen zählen

die chalkophilen Elemente und das Be-Isotopensystem (z.B. Tera et al. 1986, Morris et al. 1990, Woodhead et al. 1985).

Da diese Elemente bisher sehr wenig und unzureichend untersucht wurden, fehlen oftmals wichtige Daten über diese Elemente, z.B. die Verteilungskoeffizienten eines Elementes zwischen Mineral und Schmelze bzw. Mineral und Fluid oder die Konzentrationen in verschiedenen Gesteinstypen, und eine geeignete Analytik. Besondere Bedeutung bekommen daher in diesen Bereichen die Arbeiten von Jochum et al. (1993, 1996, 1997), Noll et al. (1986) Ryan et al. (1995) und Leeman (1996). Diese Veröffentlichungen stellen eine wichtige Grundlage dieser Arbeit dar.

Jochum et al. (1997) stellten Untersuchungen über das Verhalten von Sb bei der Differentiation der frühen Erde an und lieferten Daten zur relativen Inkompatibilität dieses Elementes. Dazu bestimmten sie die Konzentration von Sb, Pb und verschiedenen SEE mittels SSMS (spark source mass spectrometry) in MORB, OIB, Xenolithen, kohlgren Chondriten und anderen sowohl präkambrischen als auch rezenten magmatischen Gesteinen. Sie konnten zeigen, daß das Sb im untersuchten System eine dem Pr ähnliche Inkompatibilität besitzt, und daß das Sb bei der Differentiation der Erde aufgrund seiner chemischen und geochemischen Eigenschaften stark fraktioniert wurde. In einer anderen Arbeit (1993) wurden ähnliche Untersuchungen zu Sn angestellt. Das Sn besitzt nach dieser Arbeit eine mit dem Sm vergleichbare Inkompatibilität. In einer weiteren Arbeit (1996) untersuchten Jochum et al. alterierten MOR-Basalt hinsichtlich der Konzentration verschiedener chalkophiler Elemente. Es wurden sehr starke Anreicherungen verschiedener Elemente gegenüber frischem MOR-Basalt festgestellt. Die größte Anreicherung weist Sb auf, das um einen Faktor ~2.000 im alterierten MORB gegenüber frischen MORB-Gestein angereichert ist. Noll et al. (1986) präsentierte in ihrer Arbeit erstmals einen größeren Datensatz zu Gehalten chalkophiler Elemente in verschiedenen Subduktionsmagmatiten verschiedener Lokalitäten. Die Bestimmungen der Elemente wurden dabei größtenteils mittels ICPMS durchgeführt. Ryan et al. (1995) konnten geochemische Variationen in Gehalten verschiedener Elemente in Traversen der Kurilen als Funktion der Tiefe der subduzierten Platte zeigen. Leeman (1996) zeigte, daß für die Stärke der Anreicherung von fluidmobilen Elementen abhängig von der Menge subduzierten hydratisierten Materials ist, und daß ein Zusammenhang der Effizienz der Anreicherung von den physikalischen Subduktionsparametern gesteuert wird.

2. Zielsetzung

Die Ziele dieser Arbeit sind vielfältiger Natur. Im Vordergrund steht die Optimierung der ICPMS-Methode zur Bestimmung der chalkophilen Elemente Cd, As, Sb, Bi, Pb, Mo und Sn, der HFS-Elemente Nb, Ta, W und Hf sowie der lithophilen Elemente U und Th. Viele der chalkophilen Elemente wurden bisher nicht mittels ICPMS bestimmt, sondern über ein kombiniertes Verfahren von Verdampfungsanalyse und flammenloser AAS (Heinrichs 1979, Heinrichs et al 1980, Heinrichs et al 1982). Andere Elemente, v.a. die HFS-Elemente, bereiteten größere Probleme bei der Messung. Dabei sollte geklärt werden, ob es überhaupt möglich ist, mittels dem ICPMS die Gehalte dieser Elemente mit ausreichender Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu bestimmen. Da es sich bei allen Elementen um Spurenelemente z.T. sehr geringer Konzentration handelt, ist man auf die Bestimmung mit dem nachweisstarken ICPMS angewiesen.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist die Anwendung der verbesserten bzw. neu etablierten Analytik auf ausgesuchte Proben einer Subduktionszone. Aus mehreren Gründen bot sich hier die Untersuchung von Proben aus Kamchatka an. Zum einen wird dieser Inselbogen im Rahmen der Dissertation von Frank Dorendorf sehr genau hinsichtlich Hauptelement- und Spurenelementchemie sowie Isotopengeochemie untersucht. Des Weiteren liegt bei der Subduktion in Kamchatka ein sehr interessantes geotektonisches Environment vor. Auffällige Merkmale der Subduktion hier sind: hohe Subduktionsgeschwindigkeit (~9cm/a) der pazifischen Platte, Subduktion der Emporer-Seamount-Kette und sehr aktiver, subduktionsbedingter Vulkanismus mit Ausbildung und Eruption unterschiedlicher magmatischer Gesteine und Vulkantypen. Holozäne Vulkane können noch bis in >300km Entfernung zum Trench angetroffen werden. Daher ist es möglich eine sehr lange Traverse des Inselbogens zu untersuchen. Ziel ist es dabei, festzustellen, ob es eine Korrelation von Spurenelementgeochemie und Subduktionsparametern gibt und wie und ob sich die chalkophilen Elemente für die Identifikation wichtiger magmatischer Prozesse an Subduktionszonen eignen. Dazu sollen die an den Proben bestimmten Elemente unter Einbeziehung der ‚üblichen‘ Spurenelemente in ein petrogenetisches Modell einfließen.

3. Allgemeines

3.1 Kamchatka

Kamchatka ist eine zu Rußland gehörende Halbinsel im Osten des Landes. Kamtschatka liegt zwischen dem Bering- und dem Ochotskischen Meer um 160° östliche Länge. Die Halbinsel hat eine Ausdehnung von 1200 km Länge und 450 km an der breitesten Stelle. Das Kamchatka-Gebiet mit dem Korjakischen Autonomen Gebiet zusammen ist 472.300 km^2 groß, wobei die Halbinsel selbst eine Fläche von rund 270.000 km^2 hat. Das Relief von Kamchatka ist gebirgig und geprägt von über 160 Vulkanen, von denen heute noch 26 aktiv sind.

In Kamchatka wird die pazifische Platte unter die ochotskische Platte subduziert. Auf der subduzierten Platte befindet sich die Emporer-Seamount-Kette, die durch den Hawaii-Hotspot vor rund 78 Ma (Cox et al. 1986) gebildet worden ist. Kamchatka lässt sich tektonisch in mehrere Einheiten untergliedern. Die wichtigsten sind: East Kamchatka Range, Central Kamchatka Depression, Sredinny Range und Petropavlosk Fault Zone.

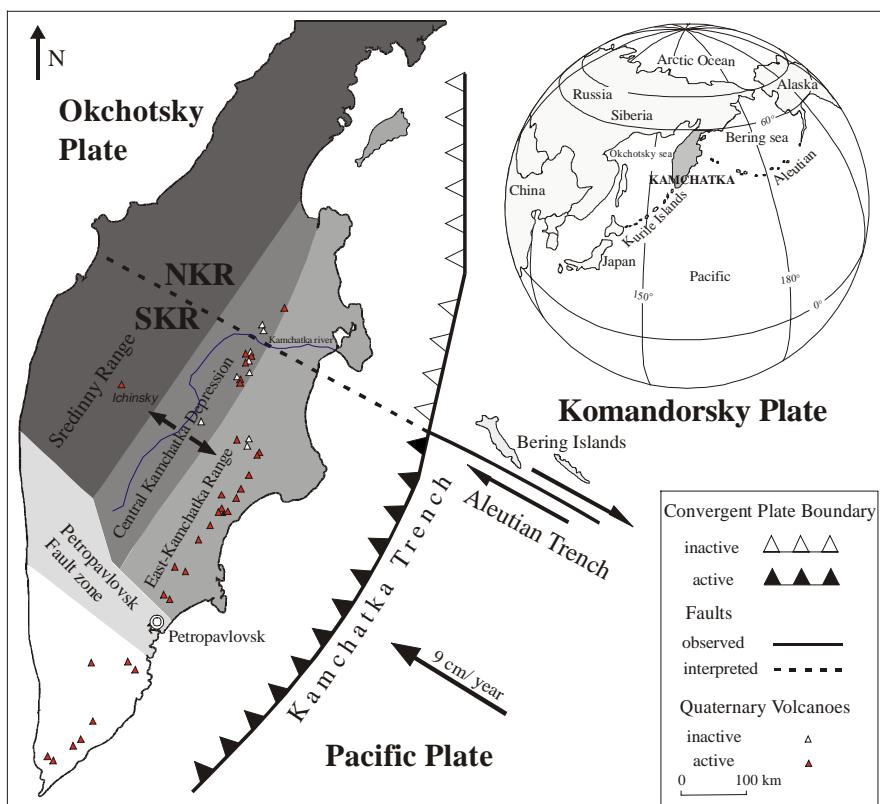


Abb. 3.1: Überblick über die wichtigsten tektonischen Einheiten Kamchatkas (Dorendorf et al. 1997)

Aufgrund der besonderen Symmetrie des Aleutian Trenchs kommt es vor Kamchatka nicht mehr zu einer Subduktion am Aleutian Trench (s. Abb. 3.2)

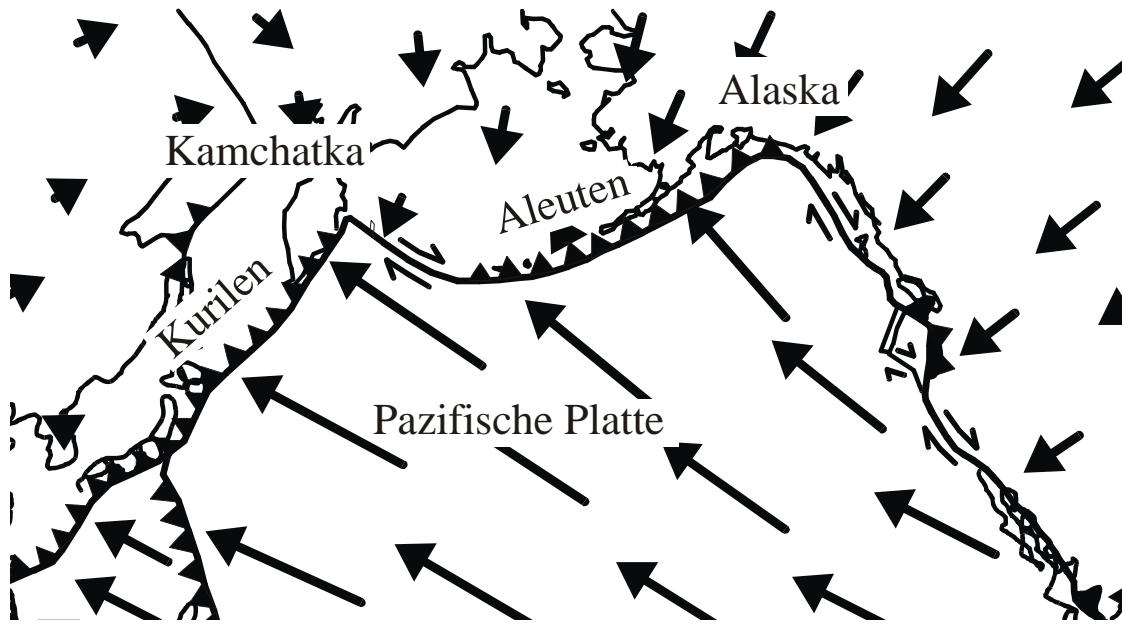


Abb. 3.2: Plattentektonischer Überblick des nordpazifischen Raums. Aufgrund der besonderen Symmetrie des Aleutian Trenchs kommt es vor Kamchatka nicht mehr zur Subduktion der pazifischen Platte am Aleutian Trench. Die Pfeile geben die Richtungen der absoluten Plattenbewegungen an, die Länge der Pfeile die Plattengeschwindigkeit. (nach Cox et al. 1991)

3.2 Proben

Es wurden insgesamt dreißig Proben von Kamchatka untersucht. Die Proben wurden im Rahmen eines DFG-Projektes während der Geländekampagnen 1995 und 1996 gewonnen. Es werden mehrere z.T. aktive Vulkane und monogenetische Vulkanzentren beprobt. Die Anordnung der Proben liegen auf einer Inselbogentraverse von der Active Volcanic Front (AVF) über die Central Kamchatka Depression (CKD) bis zum Back-Arc (BA). Bei den Gesteinen handelt es sich um Basalte, basaltische Andesite und Andesit. Die SiO₂-Konzentrationen reichen von 47,8-61,5 Gew.-%, wobei im Mittel zwischen 50 und 55 Gew.-% SiO₂ im Gestein enthalten sind. Eine genaue Aufstellung der Proben und deren lithologische und mineralogischen Merkmalen sowie deren Fundort und Alter sind dem Anhang zu entnehmen

Die Proben stammen von elf z.T. aktiven Vulkanen und monogenetischen Vulkanzentren: Schmidt (SCH), Gamchen (GAM), Komarova (KOM), Kizimen (KIZ), Tolbachik (TOL), Kamen (2310), Kluchevskaya (KLU), Bakening (BAK), ACHTANG (ACH), Esso (ESO), und Ichinsky (ICH). Die Entfernung der einzelnen Vulkane vom Kamchatka Trench beträgt: Schmidt 105 km, Gamchen 106 km, Komarova 107 km, Kizimen 135 km, Tolbachik 175 km, Kamen und Kluchevskaya 176 km, Bakening 180 km, Achtang 240 km, Esso 275 km und Ichinsky 305 km. Anhand der Entfernung der Vulkane zum Trench können diese in drei Gruppen eingeordnet werden: (1) Active Volcanic Front (AVF): Vulkane in 105 bis 135 km Entfernung zum Trench, (2) Central Kamchatka Depression (CKD): Vulkane in 175 bis 180 km Entfernung zum Trench und (3) Back-Arc (BA): Vulkane in 240 bis 305 km Entfernung zum Trench.

Diese Gruppierung ist mit den drei tektonischen Einheiten East Kamchatka Range (entsprechend AVF), Central Kamchatka Depression (=CKD), Sredinny Range (entsprechend BA) konform.

4. Methodik

4.1 Auswahl der zu bestimmenden Isotope

Für die Auswahl der zu bestimmenden Isotope wurde die Isotopenhäufigkeit als Hauptkriterium herangezogen. Es sollten nach Möglichkeit nur die häufigsten Isotope eines Elementes bestimmt werden. Bei bekannten Interferenzen für ein Isotop ist, falls möglich, ein anderes Isotop des Elementes zu verwenden. Es empfiehlt sich, mehrere Isotope eines Elementes zu bestimmen, da dadurch mögliche Störungen für ein Isotop erkannt werden können. Ausgehend von diesen Kriterien wurden die folgenden Isotope bestimmt, wobei verschiedene Isotope erst im Verlauf der Messungen bestimmt wurden (z.B. ^{98}Mo , ^{112}Cd , ^{117}Sn , ^{178}Hf , ^{183}W , ^{206}Pb , ^{207}Pb ,..).

Tab. 4.1: Massen und Häufigkeit der bestimmten Isotope, mit * gekennzeichnete Isotope wurden aus meßtechnischen Gründen mitbestimmt, um Masseninterferenzen berücksichtigen zu können. Die Isotope ^{115}In und ^{185}Re wurden bei allen Messungen als innerer Standard mitbestimmt.

Isoton	Ordnungszahl	Masse [amu]	Isotopenhäufigkeit
As 75	33	74.921596	100%
Se 77*	34	76.919908	7.50%
Se 82*		81.916709	8.84%
Kr 83*	36	82.914134	11.55%
Zr 90	40	89.904708	51.46%
Zr 91		90.905644	11.23%
Nb 93	41	92.906378	100%
Mo 95	42	94.905838	14.78%
Mo 98		97.905405	24.00%
Cd 111		110.904182	12.86%
Cd 112	48	111.904401	23.79%
Cd 114		113.903361	28.81%
In 115	49	114.903875	95.84%
Sn 117		116.902954	7.57%
Sn 118	50	117.901607	24.01%
Sn 120		119.902199	32.97%
Sb 121	51	120.903824	57.25%
Sb 123		122.904222	42.75%
Hf 177	72	176.943233	18.55%
Hf 178		177.943710	27.23%
Ta 181	73	180.948014	99.9877%
W 182	74	181.948225	26.31%
W 183		182.950245	14.28%
Re 185	75	184.952977	37.07%
Pb 206		205.974455	25.15%
Pb 207	82	206.975885	21.11%
Pb 208		207.976641	52.38%
Bi 209	83	208.980388	100%
Th 232	90	232.038054	100%
U 238	92	238.050786	99.28%

4.2 Kurze Übersicht des ICPMS und dessen Funktionsweise

4.2.1 Prinzip des ICPMS

Das ICPMS ist ein Massenspektrometer (MS) zur quasiparallelen Multielementanalyse im sub-ppm-Bereich. Bei einem Massenspektrometer werden die Gehalte eines Elementes in einer Substanz (Feststoff, Gas oder Lösung) durch die Aufzeichnung eines mehr oder weniger großen Spektrums unterschiedlicher Atom- und Molekülmassen ermittelt. Im Massenspektrometer werden aus der zu untersuchenden Substanz freie Ionen erzeugt, diese aufgrund unterschiedlicher Masse und Ladung getrennt und die Anzahl der getrennten Ionen erfaßt. Das hier verwendete Massenspektrometer, ein Fisons PQ2+, arbeitet mit einer Plasma-Ionenquelle, einem Quadrupole-Massenfilter und Channeltron-Multiplier als Ionennachweissystem.

4.2.1.1 Ionenquelle

Die Ionenquelle bei einem ICPMS ist ein induktiv gekoppeltes Plasma (engl.: *inductively coupled plasma*). Als Plasma bezeichnet man Materie, die in fast vollständig ionisierten Zustand vorliegt. Das gezündete Plasma, hier ist es ein Ar-Plasma, entwickelt Temperaturen von bis zu 8000 K. Das Plasma befindet sich in der Fackel (Torch), die das Herzstück der Ionenquelle ist. Die Torch ist aus drei konzentrischen Quarzglaszylinern aufgebaut. Durch diese Zylinder strömt das Argon. Man unterscheidet dabei drei Gasströme: Kühl- (cool), Hilfs- (auxiliary) und Nebelkammergasfluß (nebulizer). Um die Torch herum befindet sich eine Hochfrequenzspule (20Mhz), die das Plasma durch Induktion mit Energie versorgt. Die zu messende Lösung wird über eine peristaltische Pumpe in sehr geringen Mengen vom Vorratsbehälter im Autosampler zur Nebelkammer geführt. Beim Eintritt in die Nebelkammer wird die Lösung zerstäubt. Das entstandene Aerosol in der Nebelkammer wird über den Nebelkammergasfluß in das Plasma eingebracht.

4.2.1.2 Quadrupole-Massenfilter

Das Quadrupole-Massenfilter besteht aus vier Metallstäben die in gleichen Abständen parallel angeordnet sind. An diesen Stäben wird eine Wechselspannung, wechselseitig diagonal geschaltet wird, angelegt und mit einer statischen Gleichspannung überlagert. Durch die

genaue Abstimmung der Spannungen bleiben nur Ionen mit einem bestimmten Massen-Ladungs-Quotienten vom elektrischen Feld unbeeinflußt und können passieren. Alle anderen Ionen werden auf diese Weise herausgefiltert. Durch Verändern der Amplitude wird das elektrische Feld innerhalb sehr kurzer Zeit so geändert, daß Ionen mit jeweils anderen Massen-Ladungs-Quotienten passieren können. Vor dem Quadrupole Massenfilter befindet sich die Ionenoptik. Die vom Plasma kommenden Ionen gelangen durch zwei spezielle Blenden (skimmer-cone und sampling-cone) in die hochevakuierte Trennkammer. Damit nur die Ionen im Multiplier erfaßt werden, wird die Anzahl der vom Plasma freigesetzten Photonen ($h \cdot v$) mittels eines Photonenstops verringert ($\sim 10^{-6}$). Das elektrooptisches Linsensystem bewirkt eine Fokussierung des Ionenstrahls und verhindert, daß die Ionen auf den Photonenstop treffen.

4.2.1.3 Channeltron-Multiplier

Das Ionennachweissystem des ICPMS ist ein sogenannter Channeltron-Multiplier, der im Prinzip ein Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) ist. In dem posthornartig geformten und speziell beschichteten Channeltron-Multiplier wird durch ein ankommendes Ion eine Elektronenkaskade ausgelöst. Über eine spezielle Schaltung können dann die so entstandenen Elektronen als Stromimpuls registriert werden. Bei einem Channeltron-Multiplier kommt es aufgrund der speziellen Form nicht zu Reflexionen von Ionen, die die Messung stören könnten. Es kann im Prinzip jedes einzelne ankommende Ion erfaßt werden. Dadurch ist der Channeltron-Multiplier sehr nachweisstark und empfindlich.

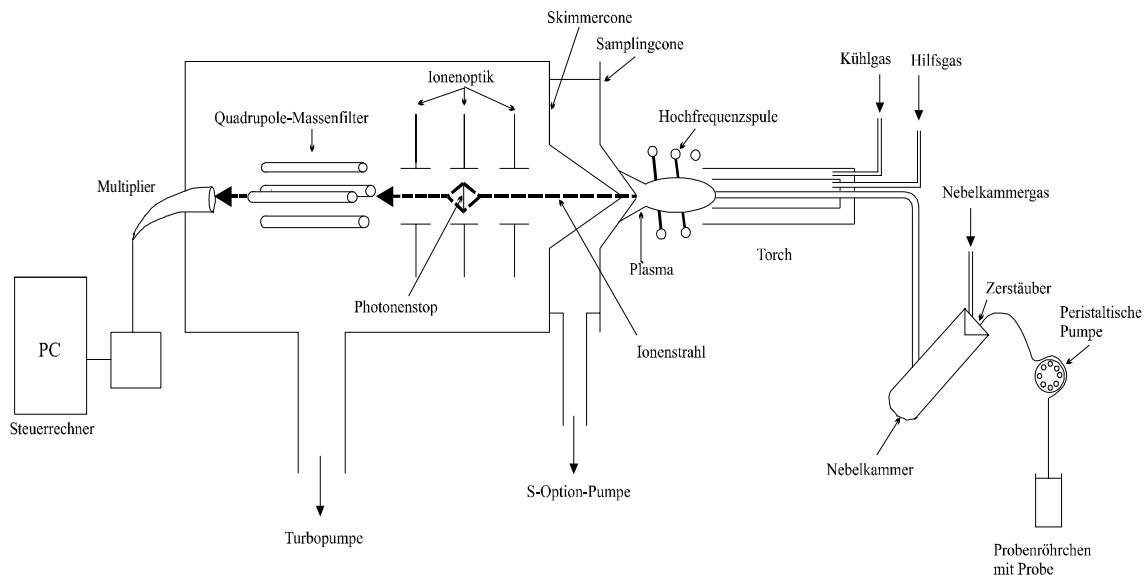


Abb. 4.1: Schematischer Aufbau des ICPMS.

4.2.2 Einstellungsmöglichkeiten des Gerätes

An dem ICPMS gibt es viele Einstellungsmöglichkeiten von denen die wichtigsten hier beschrieben werden sollen. Ziel der Einstellungen ist immer ein Optimum aus Zählrate, Stabilität der Zählrate und Minimierung der Oxidbildungsraten.

- a) ICP-Generator: Die Leistung des ICP-Generators kann eingestellt werden, sie beträgt typischerweise 1350 W, maximal sind 2000 W (Ar/Ar-Plasma) möglich.
- b) Gasflüsse: Die Gasflüsse (cool, aux und nebulizer) sind regulierbar.
- c) Position der Torch: Die Position der Torch kann mechanisch in drei Richtungen relativ zum skimmer-cone verändert werden.
- d) Elektrooptische Linsen: Die Linsen können so eingestellt werden, daß ein optimal fokussierter Ionenstrahl zum Channeltron-Multiplier gelangen kann.
- e) Channeltron-Multiplier: Die Multiplier-Spannung kann variiert werden.
- f) Weitere Einstellungsmöglichkeiten, auf die hier nicht weiter eingegangen wird, bietet das Steuerungsprogramm.

4.2.3 Ablauf einer Messung

Vor Beginn der eigentlichen Messung werden die Geräteeinstellungen mit Hilfe einer Tuning-Lösung optimiert. Ziel dieser Optimierung ist ein möglichst hohe und stabile Zählrate und niedrige Oxidbildungsraten. Die Meßreihe selber weist im Normalfall folgenden Aufbau auf (nächste Seite)

Tab. 4.2: Prinzipieller Aufbau einer Meßreihe (Bestückung des Autosamplers). Am Anfang der Messung stehen die Kalibrationslösungen gefolgt von Blöcken bestehend aus Proben-, Standard-, Blind- und Quality-Control-Lösungen (Block 1: # 7-16).

#	indication	x	y	rack	Beschreibung
1	blank 1	1	1	2	Eichlösung A
2	A	1	2	2	
3	B	1	3	2	
4	C (=QC 0 !)	1	4	2	
5	D	1	5	2	
6	blank 2	1	6	2	
7	Blind 1	1	7	2	Blindlösung
8	Sample 1	1	8	2	Probenlösungen
9	Sample 2	1	9	2	
10	Sample 3	1	10	2	
11	Standard 1	1	11	2	
12	Sample 4	2	1	2	Probenlösungen
13	Sample 5	2	2	2	
14	Sample 6	2	3	2	
15	Blind 2	2	4	2	
16	QC1	2	5	2	Eichlösung C
17	Blind 3	2	6	2	Blindlösung
18	Sample 7	2	7	2	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	QC				Eichlösung C

Am Anfang wird immer eine Blanklösung gemessen, um den Untergrund zu bestimmen. Eine Blanklösung ist: $\text{H}_2\text{O}^{***} + 20 \text{ ng/g In, Re} + 2 \text{ Vol.-% HNO}_3$. Es folgen die Eichlösungen mit aufsteigender Konzentration. Dann folgt wieder eine Blanklösung, um mögliche Memoryeffekte für die unbekannten Proben und die Blindwertmessung zu vermeiden. Es folgt ein Block bestehend aus 1 Blindlösung, 3 Probenlösungen, 1 Standardlösung, 3 Probenlösungen und einer Blindlösung. Nach einem solchen Block wird eine QC-Lösung, der zweithöchste Eichpunkt, gemessen, damit man die Gerätedrift korrigieren kann. Danach folgt ein weiterer Block, QC-Lösung, usw. .

Blindlösungen werden zusammen mit den Probenlösungen hergestellt (s. Kap. 4.3). Bei Blindlösungen wird kein Probenmaterial eingewogen, die ganze Behandlung (Säurezugabe, Kochen usw.) wird aber durchgeführt. Ziel ist es, mögliche Kontaminationen während des Probenaufschlusses erkennbar zu machen.

Die Messung einer Probenlösung setzt sich aus drei Abschnitten zusammen:

- (1): „Uptake“: Die Probelösung wird angesaugt, zerstäubt und ins Plasma eingebracht, aber nicht vom gemessen. Dieser Schritt dient als Konditionierung der Schläuche und des Zerstäubers. Der Uptake dauert meist 90 Sekunden.
- (2): Messung: Die Lösung wird angesaugt, zerstäubt und ins Plasma eingebracht. Über eine bestimmte Zeit (meist 40-60 Sekunden) wird immer wieder auf den zuvor programmierten Massen abwechselnd für 10,24 ms (sogenannte dwell-time) gemessen. Die Impulse für jede Masse werden aufaddiert und später als counts per second (CPS) vom Gerät ausgegeben. Ein solcher 40-60 sekündiger Meßblock wird als run bezeichnet. Meist werden drei runs hintereinander durchgeführt.
- (3): Spülung: nach der Messung werden Schlauchsystem, Zerstäuber und Nebelkammer mit Spülösung (H_2O^{***} + 2 Vol.-% HNO_3^{***}) zur Reinigung durchgespült. Je nach zu bestimmenden Isotopen kann die Spülzeit variieren, um Memoryeffekte zu minimieren.

4.3 Probleme bei Messungen mit dem ICPMS

4.3.1 Stabilität der Messung

Bei der Messung mit dem ICPMS gibt es immer wieder Probleme mit der Stabilität des Gerätes. Probleme kann es aufgrund der Länge einer Meßserie, mehrere Stunden sind keine Ausnahme, geben. Diese Langzeitstabilitätsprobleme, die sich in Schwankungen der CPS (counts per second) widerspiegeln versucht man durch Durchführen einer Quality Control (QC), also einer Drift-Korrektur, zu korrigieren. Die Ergebnisse der Drift-Korrektur sind in aller Regel zufriedenstellend. Problematischer sind Geräteschwankungen innerhalb der drei nacheinander durchgeführten runs. Negativen Einfluß auf die Stabilität des Gerätes haben Niederschläge und Ablagerungen in den Konen, und Verstopfung der Torch durch zu hohe Substanzgehalte in der Lösung. Die dadurch bedingten Schwankungen der Zählrate der Ionen kann man nicht korrigieren und schlagen sich im relativen Fehler (Standardabweichung der Mittelung der normierten Counts dividiert durch den Mittelwert) der gemittelten CPS nieder. Verallgemeinernd kann hier gesagt werden, daß eine größere Schwankung innerhalb der runs sich in einem größeren internen Fehler niederschlägt. Probleme dieser Art traten vermehrt bei den letzten Messungen auf, und sind eher auf das Gerät als auf die Geräteeinstellungen zurückzuführen.

4.3.2 Interferenzen

Bei jedem spektrometrischen Verfahren kann es zu Interferenzen kommen. Diese sind je nach Verfahren verschiedener Natur. So sind bei der Atom-Emissions-Spektroskopie (AES) optische Interferenzen, d.h. Aussendung von Licht gleicher bzw. ähnlicher Wellenlänge, möglich. Bei massenspektrometrischen Verfahren kommt es zu Interferenzen durch Ionen oder Verbindungen gleicher bzw. ähnlicher Masse. Bei dem ICPMS gibt es mehrere Möglichkeiten der Masseninterferenz.

Zum einen kann eine Interferenz durch Isobare, also Elemente mit gleicher Masse aber unterschiedlicher Ordnungszahl (z.B. ^{123}Sb und ^{123}Sn) hervorgerufen werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, daß durch die Ionisierung im Plasma mehrfach geladene Ionen gebildet werden. Da für das Trennen der Ionen der Massen-Ladungs-Quotient von entscheidender Bedeutung ist, ein zweifach geladenes Ion wird genauso abgelenkt wie ein einfacher geladenes Ion mit halb so großer Masse, so ist für das Trennsystem ein $^{75}\text{As}^+$ -Ion nicht von einem $^{150}\text{Sm}^{2+}$ -Ion zu unterscheiden. Solche Interferenzen sind aber aufgrund der höheren Ionisationsenergien mehrfach geladener Ionen recht selten und meist zu vernachlässigen. Interferieren können auch im Plasma neugebildete und ionisierte Verbindungen. Dabei unterscheidet man zwischen Verbindungen, die allein aus Elementen der Lösung gebildet werden und Verbindungen, die mit Elementen des Plasmas, der umgebenden Atmosphäre und der Lösung gebildet werden. Hier ist zwar fast jede Kombination denkbar, aber vom Einfluß gering und daher oftmals unbedeutend. So gibt es z.B. auf der Masse 75 folgende Interferenzen: $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$ und $^{59}\text{Co}^{16}\text{O}^+$. Die CoO-Interferenz ist aber zu vernachlässigen, da die Bildungsrate von CoO : Co 10^{-5} beträgt (Berechnung anhand von Bildungsenthalpien). Man kann einen Großteil von Interferenzen bei der Auswertung der Messung korrigieren, sofern man deren Existenz kennt (s. Abschnitt zur Auswertung von Messungen). Andere Trennsysteme als die hier verwendete Quadrupole-Massenfilter können, aufgrund einer höheren Auflösung, viele Interferenzen durch die bessere Trennung vermeiden.

Tab. 4.3: Wichtige mögliche Interferenzen für die benutzten Isotope. Viele der Isotope, v.a. die schweren Isotope, sind interferenzfrei

Isotop	mögliche Interferenz
As 75	$^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$, $^{59}\text{Co}^{16}\text{O}^+$
Se 77	$^{40}\text{Ar}^{37}\text{Cl}^+$
Se 82	$^{82}\text{Kr}^+$, $^{34}\text{S}^{16}\text{O}_3^+$
Kr 83	
Zr 90	
Zr 91	
Nb 93	$^{53}\text{Cr}^{40}\text{Ar}^+$
Mo 95	
Mo 98	
Cd 111	
Cd 112	
Cd 114	$^{114}\text{Sn}^+$, $^{98}\text{Mo}^{16}\text{O}^+$
Sn 117	
Sn 118	
Sn 120	$^{120}\text{Te}^+$
Sb 121	
Sb 123	$^{123}\text{Te}^+$
Hf 177	
Hf 178	
Ta 181	
W 182	
W 183	
Pb 206	
Pb 207	
Pb 208	
Bi 209	
Th 232	
U 238	

4.3.3 Matrixeffekte

Die Vorgänge, die im Plasma stattfinden, sind weitestgehend unbekannt und entziehen sich einer direkten Beobachtung. Im Plasma werden die Elemente ionisiert. Dabei spielt sowohl die Temperatur im Plasma eine Rolle, die eine thermische Ionisierung bewirkt, als auch die Stoßionisation durch schon angeregte (beschleunigte) Atome. Diese Stoßionisation ist der

hauptsächliche Grund für Matrixeffekte. Ein Matrixeffekt ist dann zu vermuten, wenn die chemische Zusammensetzung der Gesteinshauptelemente verschiedener Lösungen variiert. In erster Linie sind hier die Alkalien und Erdalkalien wie Ca, K und Na zu berücksichtigen. Durch mehr oder weniger gelöste Substanz ist das Ausmaß der Stoßionisation unterschiedlich. Daher sollten Eichlösungen und aufgeschlossene Proben eine ähnliche chemische Zusammensetzung aufweisen. Dies war aber bei den hier durchgeföhrten Messungen nicht möglich, um verschiedene Interferenzen, v.a. $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$, vermeiden zu können. Daher wurden in Eichlösungen zur As-Bestimmung alle Elemente weggelassen, die in den Standardeichlösungen vom Hersteller mit HCl stabilisiert sind (s. Tab. 4.5). Ein Matrixeffekt war bei den As-Bestimmungen zu beobachten. Bei den anderen Messungen wurden trotz der fehlenden Matrix keine gravierenden Matrixeffekte beobachtet.

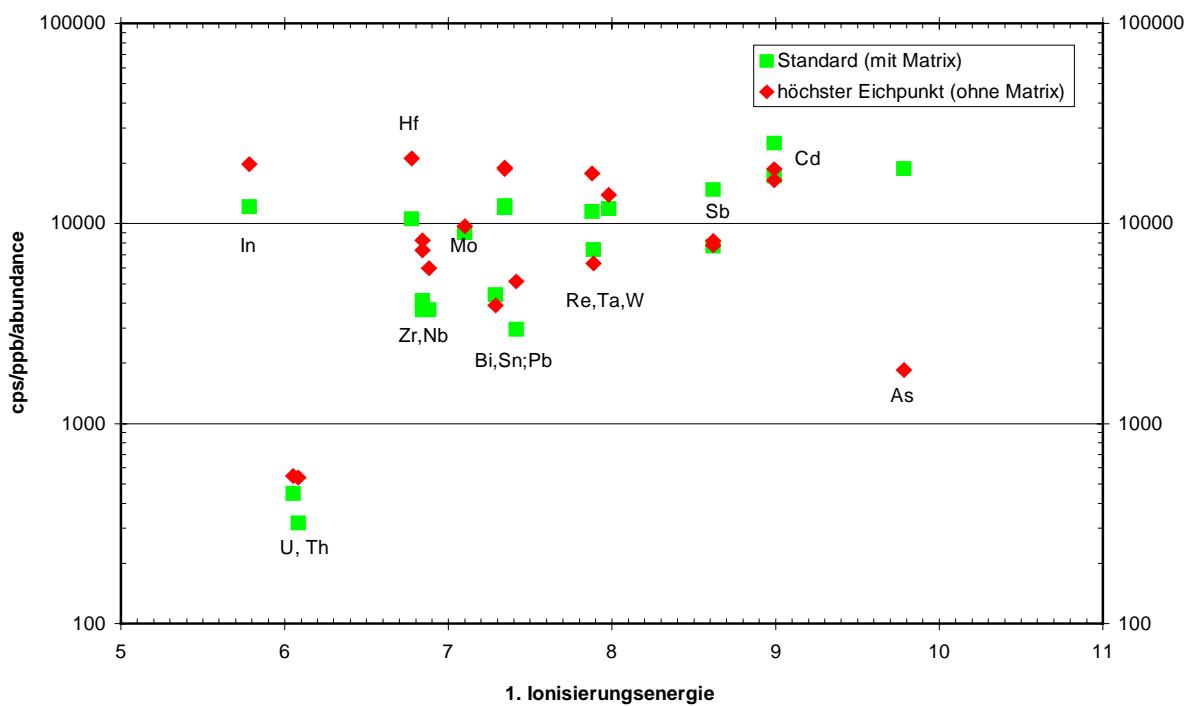


Abb. 4.2: Auftragung der "Response" (s. Kap. 4.3.4) gegen die 1. Ionisierungsenergie des Isotopes für eine matrixhaltige Probe (Standard) und eine matrixfreie Eichlösung. Bei den meisten Elementen zeigen sich nur geringe Unterschiede in der Response in Abhängigkeit einer Matrix, beim As ist aber eine deutlich bessere Response beim matrixhaltigen Standard zu erkennen. Dies führt zu einer As-Überbestimmung in den matrixhaltigen Proben, die nicht korrigiert werden kann.

4.3.4 Probleme bei der Ionisation

Die Effizienz der ersten Ionisierung eines Elementes hängt von dessen erster Ionisationsenergie ab. Alle Elemente, deren Ionisationsenergien kleiner als die des Ar sind, sollten im Plasma ionisiert werden. Je kleiner die erste Ionisierungsenergie ist, desto leichter kann die Ionisierung erfolgen. Elemente mit großem Ionisationspotential sind aber nur unzureichend oder gar nicht im Plasma ionisierbar. Gerade bei den Elementen mit großem Ionisationspotential spielen Matrixeffekte eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Als problematisch für die ICPMS-Analyse sind Elemente mit Ionisationsenergien von mehr als 8 eV anzusehen.

Tab. 4.4: 1. Ionisationsenergie [eV] der gemessenen Elemente

Element	1. Ionisationsenergie [eV]
Kr	13,9996
Se	9,7524
As	9.783904234
Cd	8.993107737
Sb	8.618956314
W	7.980515106
Ta	7.887236358
Re	7.876872053
Pb	7.415660465
Sn	7.344146759
Bi	7.28921594
Mo	7.099549153
Nb	6.881898741
Zr	6.840441519
Hf	6.778255687
Th	6.08384723
U	6.052754314
In	5.783282375

Ionisationsprobleme sind nicht zuverlässig korrigierbar. Aufschluß über mögliche Ionisationsprobleme und auch Matrixeffekte kann die sog. "Response" geben. Zur Bestimmung der "Response" normiert man gemessene CPS eines Isotops auf die Soll-Konzentration und die Häufigkeit des Isotops. Im Idealfall ergibt sich bei einer Auftragung der Response gegen die Masse eine Kurve. Ionisierungsprobleme liegen dann vor, wenn die Response für einzelne Isotope von der normalen geräteeigenen Responsekurve abweichend ist.

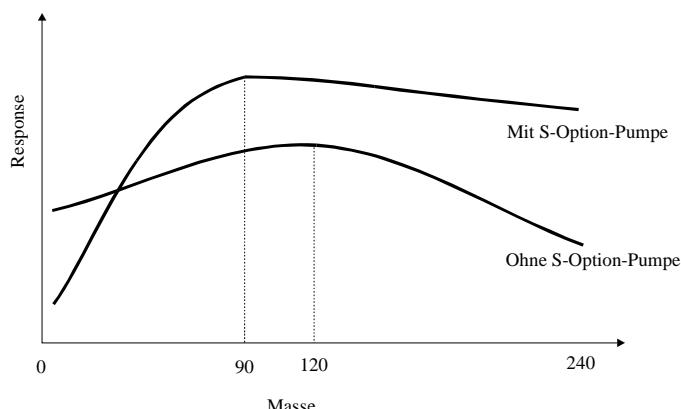


Abb. 4.3: Normaler Verlauf der Responsekurven der ICPMS für Lösungsbestimmungen mit und ohne S-Option-Pumpe. Deutlich ist der Einfluß der S-Option-Pumpe zu erkennen. Mit S-Option-Pumpe ist die Response für Isotope mit einer Masse >90 besser als ohne S-Option-Pumpe. Für die leichten und ganz leichten Isotope geht die Response mit S-Option-Pumpe im Gegensatz zur Response ohne S-Option-Pumpe gegen Null (nach K. Simon)

4.3.5 Memoryeffekte

Um Memoryeffekte zu vermeiden, die vor allem durch Lösungsrückstände in der Nebelkammer und durch Ablagerungen auf den Konen entstehen, wurde eine relativ lange Spülzeit bei den Messungen eingestellt, damit das Signal der alten Probe weitestgehend abklingen konnte. Memoryeffekte sind nicht zu korrigieren, da sie nicht quantitativ erfassbar sind.

4.3.6 weitere Fehlerquellen

Bei einer Messung (CPS28081997) traten Schwierigkeiten auf, die auf eine andere weitere Fehlerquelle deuten. So ergab die Auswertung für das schwerste Isotop (^{238}U) ungewohnt hohe Abweichung der Geostandards zu seiner Soll-Konzentration. Auch die hohe Bestimmungsgrenze, bedingt durch hohe Blindwerte, war im Vergleich zu den vorangegangen Messungen ungewöhnlich. Genauere Untersuchungen des Meßgerätes förderten das Problem zu Tage: Durch die offene Abdeckhaube des ICPMS war es wohl zu

einer Rückkoppelung der Hochfrequenzinduktionsspule mit dem Multiplier gekommen. Dies wurde in vorherigen Versuchen nicht beobachtet. Wie diese Rückkopplung genau zustande kam, ließ sich im Nachhinein nicht mehr genau feststellen. Als Konsequenz dieses Sachverhaltes wurde bei folgenden Messungen immer erst überprüft, ob die Tuning-Lösung mit offener oder geschlossener Klappe ein besseres, unverfälschtes Signal lieferte. Durch die Abzugsvorrichtung an der ICPMS kann es bei geschlossener Klappe zu Problemen durch zu starkes Absaugen von Abluft kommen.

Der Einsatz der S-Option-Pumpe kann ebenfalls zu einer fehlerhaften Konzentrationsbestimmung führen. Der Grund ist darin zu sehen, daß durch die Pumpe die leichten Elemente sozusagen abgesogen werden. Dies gilt für Isotope mit einer Masse <90 amu. Dabei gilt, je leichter ein Isotop ist, desto leichter kann es von der S-Option-Pumpe abgesogen werden. Der Effekt der S-Option-Pumpe auf die Response der leichten Massen ist in Abb. 4.3 schematisch dargestellt. Die S-Option-Pumpe sollte daher nur dann zum Einsatz kommen, wenn die Konzentrationen der mittleren und schweren Isotope sehr gering sind. Die S-Option-Pumpe bewirkt in diesem Fall höhere Zählraten (bessere Response) bei nur gering steigendem Untergrund.

4.4 Druckaufschlüsse

4.4.1 HF/HClO₄-Aufschluß

Für den HF/HClO₄-Aufschluß werden 100 mg Probenpulver eingewogen und in einen Teflontiegel gegeben. Anschließend werden je 3 ml HF (Ultrapur) und HClO₄ *** zugegeben. Die mit einem Teflondeckel verschlossenen und gesicherten Tiegel werden dann in einen Heizofen bei 180-200°C mehrere Stunden (10-12 Std.) gekocht. Nach dem Abkühlen der Tiegel werden diese auf Heizbänke gebracht und die Säuren im Abzug abgerauscht. Der trockene Rückstand wird nun mit 2ml HNO₃ ***, etwas H₂O *** und 200 µl des inneren Standards (Lösung mit je 10 mg/g In und Re) versetzt. In einem Quarzglaskolben erfolgt die Verdünnung dieser Lösung auf ein Volumen von 100 ml. Die so erhaltenen Lösungen werden zur Aufbewahrung in zuvor mit HNO₃ *** konditionierten HDPE-Flaschen abgefüllt und diese dann beschriftet.

4.4.2 HF/HNO₃-Aufschluß

Der HF/HNO₃-Aufschluß wird ähnlich dem HF/HClO₄-Aufschluß angefertigt. Den 100 mg Probenpulver wird im Teflontiegel jeweils 3 ml HF und HNO₃ *** zugegeben. Nach dem Kochen im Heizofen (ebenfalls 10-12 Std. bei 180-200°C) werden die Säuren auf der Heizbank im Abzug abgeraucht. Der Rückstand wird nach der Zugabe von 2 ml HNO₃ *** erneut bis zum kompletten Abrauchen der Säure auf der Heizbank behandelt. Nach dem zweiten Abrauchen verläuft die Prozedur genau wie beim HF/HClO₄-Aufschluß.

4.5 Behandlung der Lösungen

4.5.1 Stabilitäts- und empfindlichkeitsverbessernde Zusätze

Zu Anfang der eigentlichen Probenmessungen standen Versuche hinsichtlich stabilitäts- und empfindlichkeitsverbessernder Zusätze. Solche Zusätze können möglicherweise die Stabilität der Lösung verbessern oder die Response (also die Empfindlichkeit) des Gerätes ähnlich den Matrixmodifien bei der AAS/AES für ein Isotop verbessern. Um solche möglichen positiven Wirkungen verschiedener Zusätze herauszufinden, wurden Lösungen aufgeschlossener internationaler Standards verschiedene Substanzen zugesetzt. Diese Zusätze waren: TMAH (Tetramethylammoniumhydroxid), 6N HCl*** und gesättigte H₃BO₄. Die Ergebnisse dieser Versuche sind im Kapitel 5.1 zusammengefaßt.

4.5.2 Ultraschallbehandlung

Bei dem HF/HNO₃-Aufschluß kam es zur Bildung eines sichtbaren, weißen, flockigen Niederschlages. Vermutlich handelt es sich hierbei um Al-Fluoride. Dieser Niederschlag wurde durch eine ca. 20minütige Behandlung der Lösungen im Ultraschallbad dauerhaft gelöst. Dazu wurde die Lösung im Tiegel mit allem Niederschlag in den Quarzkolben überführt und auf 100ml verdünnt. Anschließend wurde der Quarzkolben für eine Minute im Ultraschallbad behandelt. Es bildete sich ein homogene Suspension. Diese Suspension wurde als nächstes in die HDPE-Flaschen abgefüllt. Nachdem alle Lösungen überführt waren, wurden diese für weitere 20 Minuten im Ultraschallbad behandelt.

4.6 Kalibrationslösungen

Es wurden zwei unterschiedliche Zwischenverdünnungen (ZV) aus Standardeichlösungen (1000ppm) hergestellt

Tab. 4.5: Konzentrationen der Elemente in den Zwischenverdünnungen ZV N und ZV HFS

	ZV N	ZV HFS
As	1000 ng/g	Nb 2000 ng/g
Mo	1000 ng/g	Zr 10000 ng/g
Cd	200 ng/g	Sn 1000 ng/g
Pb	2000 ng/g	Sb 200 ng/g
Bi	200 ng/g	Hf 2000 ng/g
Th	1000 ng/g	Ta 200 ng/g
U	1000 ng/g	W 2000 ng/g
		+ 10 Vol.-% 6N HCl

Die Unterteilung in zwei Zwischenverdünnungen ist nötig, da bei vielen Standardlösungen die Elemente in der Lösung mit Hilfe von HCl stabilisiert sind, oder das Element selbst als Cl-Verbindung vorliegt.

Tab. 4.6: Übersicht, in welcher Form und welcher stabilisierenden Säure die Elemente in den Standardeichlösungen vorliegen.

Element	als	in
As	As ₂ O ₃	HNO ₃ 0,5 mol/l
Bi	Bi	HNO ₃ 1 mol/l
Cd	Cd	HNO ₃ 0,5 mol/l
Hf	HfOCl ₂	HCl 1 mol/l
Mo	Mo	HNO ₃ 1 mol/l
Nb	NbCl ₆	HF 1 mol/l
Pb	Pb	HNO ₃ 0,5 mol/l
Sb	Sb ₂ O ₃	HCl 5 mol/l
Sn	Sn	HCl 5 mol/l
Ta	TaCl ₅	HF 2 mol/l
Th	Th(NO ₃) ₄	HNO ₃ 0,5 mol/l
U	UO ₂ (NO ₃) ₂	HNO ₃ 0,5 mol/l
W	WO ₃	HNO ₃ 1 mol/l + HF 0,3 mol/l
Zr	Zr	HCl 5%

Für die Messung des As ist unbedingt darauf zu achten, daß möglichst Cl-frei gearbeitet wird, also Proben- und Eichlösungen kein Cl enthalten. Die Eichlösungen wurden je nach Versuch und Ziel der Einzelmessung entweder aus einer Zwischenverdünnung (ZV N) oder aus beiden Zwischenverdünnungen hergestellt.

Lösung Element \ Lösung	A	B	C	D
As	0,5	1	2,5	5
Mo	0,5	1	2,5	5
Cd	0,1	0,2	0,5	1
Pb	1	2	5	10
Bi	0,1	0,2	0,5	1
Th	0,5	1	2,5	5
U	0,5	1	2,5	5
Nb	1	2	5	10
Zr	5	10	25	50
Sn	0,5	1	2,5	5
Sb	0,1	0,2	0,5	1
Hf	1	2	5	10
Ta	0,1	0,2	0,5	1
W	0,5	1	2,5	5

Tab. 4.7. Konzentration [ng/g] der Elemente in den Kalibrationslösungen A, B, C und D

Alle Lösungen + 2 Vol.-% HNO_3 und 20 ng/g In, Re

4.7 Auswertung der Meßergebnisse

4.7.1 Konzentrationsberechnung

Für die Auswertung der Messergebnisse wurde ein einheitliches Schema entwickelt und bei allen Messungen angewendet.

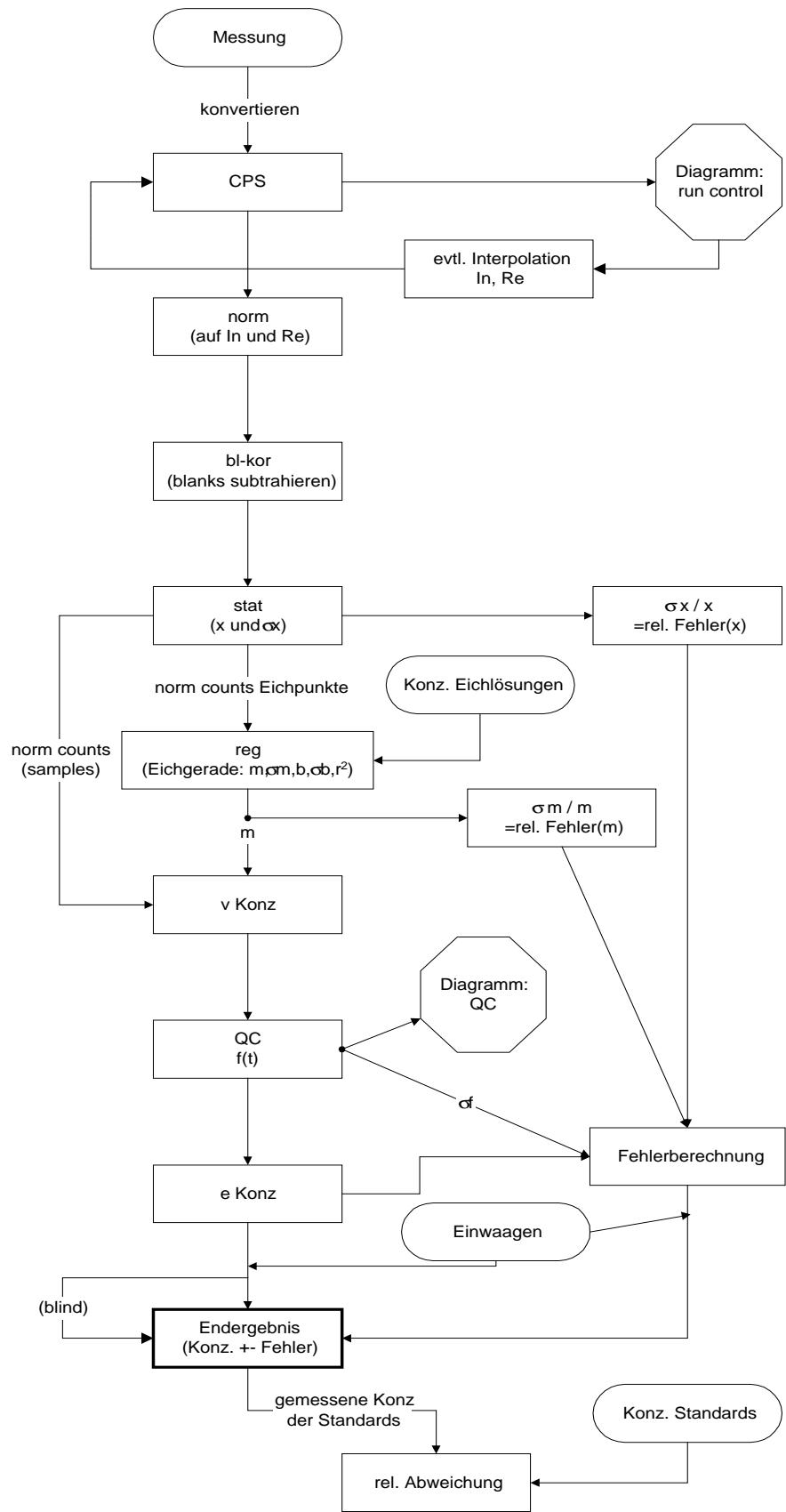
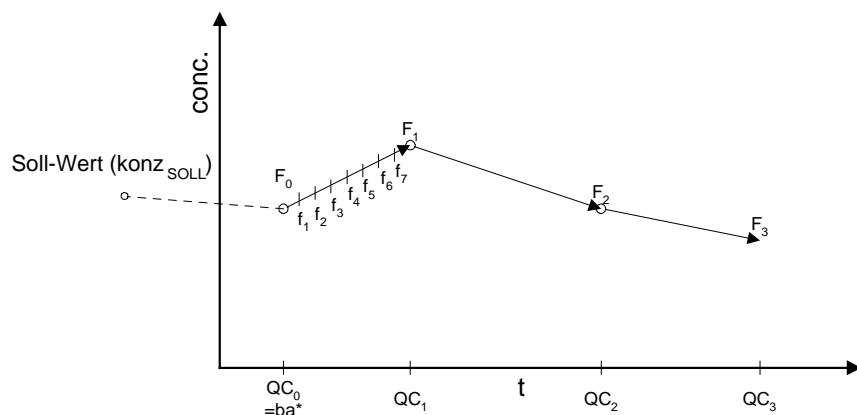


Abb. 4.4: Schema zur Auswertung der ICPMS-Messungen

Kurze Erläuterung der einzelnen Schritte:

- norm: Normierung der CPS auf die CPS des inneren Standards (^{115}In und ^{185}Re), dabei wurden die Isotope ^{75}As bis ^{123}Sb auf ^{115}In , die schwereren Isotope ^{177}Hf bis ^{238}U auf ^{185}Re normiert.
- bl-kor: Die normierten Blank-CPS des ersten Blanks wurden als angenommener minimaler Untergrund (sogenannte base line) von allen CPS subtrahiert
- stat: die normierten counts der drei runs werden gemittelt, die Standardabweichung und der relative Fehler (Standardabweichung : Mittelwert) werden berechnet.
- reg: durch die normierten Counts und die zugehörige Konzentration der Kallibrationslösung wird mittels linearer Regression die Steigung der Eichgeraden (m) berechnet. Ebenfalls werden berechnet: Standardabweichung der Steigung (σ_m), Achsenabschnitt (b), Standardabweichung des Achsenabschnitts (σ_b) sowie der Korrelationskoeffizient (R^2)
- v konz: die vorläufige Konzentration des Isotops wird durch Multiplizieren der Eichgeradensteigung mit den normierten Counts berechnet
- QC: zur Korrektur der Gerätedrift werden wie folgt QC-Faktoren berechnet



* ba = zweitöchtester Eichpunkt

Abb. 4.5: Schema zur Herleitung der Element-Quality-Control-Faktoren

1. Schritt: Berechnung von F_0, F_1, \dots, F_n

$$F_x = \frac{\text{konz}_{\text{SOLL}}}{\text{konz}_{\text{QC}_x}} \quad (4.1)$$

2. Schritt: Berechnung der QC-Faktoren f_1, f_2, \dots, f_m

$$f_x = f_{x-1} - \left(\frac{F_y - F_z}{n} \right) \quad (4.2)$$

mit: n = Anzahl der Meßpunkte zwischen zwei QC-Messungen

F_y = QC-Faktor ‚links‘ von f_x

F_z = QC-Faktor ‚rechts‘ von f_x

$F_0 = f_0 !!$

Wichtige Voraussetzung für diese Korrektur ist der angenommene lineare Verlauf zwischen zwei QC-Messungen.

- e konz: durch Multiplizieren der vorläufigen Konzentration mit dem entsprechenden QC-Faktor erhält man die drift-korrigierte Konzentration des Isotops in der Lösung
- Einwaage: die Einwaage wird berücksichtigt (Verdünnungsfaktor), das Ergebnis ist die Konzentration des Isotops im Gestein
- rel. Abweichung: die relative Abweichung der gemessenen Konzentration zur Soll-Konzentration der Geostandards wird bestimmt:

$$\text{rel. Abweichung} = \frac{\text{Ist Konzentration} - \text{Soll Konzentration}}{\text{Soll Konzentration}} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

- blind: bei Bedarf ist eine Blindwertkorrektur durchzuführen

4.7.2 Fehlerrechnung

Wie dem Auswerteschema zu entnehmen ist, ist auch der Fehler für jeden Meßwert nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz bestimmt worden. Für die Berechnung der Konzentration eines Isotopes z in der Probe i gilt:

$$e\text{konz}_z = x_z \cdot m_z \cdot f_z \quad (4.4)$$

Nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz berechnet sich der Fehler $\sigma_{e\text{konz}_z}$ nach:

$$\sigma_{e\text{konz}_z} = \sqrt{\left(\frac{\partial e\text{konz}_z}{\partial x_z} \cdot \sigma_{x_z} \right)^2 + \left(\frac{\partial e\text{konz}_z}{\partial m_z} \cdot \sigma_{m_z} \right)^2 + \left(\frac{\partial e\text{konz}_z}{\partial f_z} \cdot \sigma_{f_z} \right)^2} \quad (4.5)$$

Daraus ergibt sich:

$$\sigma_{\text{ekonz}_z} = \sqrt{(m_z \cdot f_z \cdot \sigma_{x_z})^2 + (x_z \cdot f_z \cdot \sigma_{m_z})^2 + \left(m_z \cdot x_z \cdot \left[\sigma f_{z_{i-1}} - \left(\frac{\sigma F_0 - \sigma F_1}{N} \right) \right] \right)^2} \quad (4.6)$$

mit:	m_z	= Steigung der zu Isotop z gehörenden Eichgerade	Probe i
	x_z	= gemittelte counts der runs für Isotop z	
	f_z	= Element-QC-Faktor Element z Probe y	
	onz_z	= berechnete und korrigierte Konzentration Isotop z [$\mu\text{g/g}$]	
	σm_z	= Standardabweichung der Steigung der Eichgeraden	
	σx_z	= Standardabweichung der gemittelten runs Isotop z	
	σF_0	= Standardabweichung des QC-Faktors F_0	
	σF_1	= Standardabweichung des QC-Faktors F_1	
	$\sigma f_{z(i-1)}$	= Standardabweichung des Isotop-QC-Faktors des Isotop z für Probe i-1	

Der Fehler der Einwaage (angenommen: $\pm 0,2 \text{ mg} \equiv \pm 0,2\%$) ist im Vergleich zu den anderen Fehlerquellen vernachlässigbar klein und wurde daher nicht berücksichtigt. Der Fehler der Element-QC-Faktoren ist nur dann berechenbar, wenn mehrere Lösungen hintereinander als QC-Lösung gemessen wurden.

4.7.3 Berechnung von Bestimmungs- und Nachweisgrenzen

Ein wichtiges Ergebnis einer Messung ist die Nachweisgrenze LLD (engl.: Lower Limit of Detection) und die Bestimmungsgrenzen LOD (engl.: Limit Of Determination).und LOQ (Limit Of Quantitation). Die Nachweisgrenze gibt die minimale Konzentration eines Isotops in einer Lösung an, die benötigt wird, damit sich das Signal gerade noch vom Untergrund abhebt. Die Nachweisgrenze wurde folgendermaßen berechnet (nach Potts 1992):

$$\text{LLD} = \left(\overline{\text{norm CPS}_{\text{Blank-Lösungen}}} + 3 \cdot \sigma \text{ norm CPS}_{\text{Blank-Lösungen}} \right) \cdot m_{\text{Regressionsgerade}} \quad (4.7)$$

Die Bestimmungsgrenze ist die minimale Konzentration eines Isotops in der Lösung die benötigt wird, um sichere Angaben über die Konzentration des Isotops in der Lösung machen zu können. Die Berechnung der Bestimmungsgrenzen wurde mittels der Formeln

$$\text{LOD} = \left(\overline{\text{norm CPS}_{\text{Blank-Lösungen}}} + 6 \cdot \sigma \text{ norm CPS}_{\text{Blank-Lösungen}} \right) \cdot m_{\text{Regressionsgerade}} \quad (4.8)$$

$$\text{LOQ} = \left(\text{norm CPS}_{\text{Blank-Lösungen}} + 10 \cdot \sigma_{\text{norm CPS}_{\text{Blank-Lösungen}}} \right) \cdot m_{\text{Regressionsgerade}} \quad (4.9)$$

durchgeführt. Der Unterschied zwischen LOD und LOQ ist der, daß die statistische Vertrauengrenze (Sicherheit) für das LOQ höher als für das LOD ist.

Bestimmungs- und Nachweigrenzen sind hinsichtlich möglicher Verschleppungen (z.B. Messung eines Blanks nach einer hochkonzentrierten Lösung) besonders sensitiv. Dadurch kann es zu relativ hohen LLD, LOD und LOQ kommen.

4.7.4 Bestimmung der Genauigkeit der Ergebnisse

Die Genauigkeit der ermittelten Konzentrationen kann mittels Vergleich der Soll-Konzentration und der ermittelten Konzentration eines internationalen Geostandards eruiert werden. Man behandelt dafür einen internationalen Geostandard von der Einwaage über den Aufschluß bis hin zur Messung, genau wie eine normale Probe. Die gewählten Standards sollten dabei den unbekannten Proben möglichst ähnlich sein. Hier wurden bei jeder Messung zwei japanische Geostandards, JA-2 und JB-3, mitbestimmt. Daneben besteht auch die Möglichkeit, hausinterne Standards zu verwenden, jedoch schied dies hier, aufgrund der fehlenden Bestimmung für verschiedene Elemente, aus.

Allerdings ist diese Methode der Genauigkeitsbestimmung mit Problemen behaftet. Der Grund hierfür ist darin zu sehen, daß gerade einige der in dieser Arbeit gemessenen Elemente in den Geostandards nicht zuverlässig bestimmt sind. Meist wird nur eine empfohlene Konzentration angegeben, deren Nachvollziehbarkeit aufgrund der Betrachtung der Einzelwerte oft nicht gegeben ist.

Tab. 4.8: As-Konzentrationsbestimmungen des japanischen Geostandards JA-2 mit unterschiedlichen Analysetechniken (AA = Atom Absorptions-Spektroskopie (allg.), INAA = instrumentelle Neutronen-Aktivierungs-Analyse, XRF = Röntgenfluoreszenz). Die Einzelmessungen sind sehr unterschiedlich, der empfohlene Wert von $0,85 \mu\text{g/g}$ für As ist nicht das arithmetische, geometrische oder harmonische Mittel. Quelle: http://www.aist.go.jp/RIODB/RIO1/cgi-bin/db012/db012_05?JA-2+As

Konzentration [$\mu\text{g/g}$]	Analyse-Technik	Jahr
0,77	AA	1986
0,77	AA	1987
0,9	INAA	1996
0,95	ICPMS	1997
1	XRF	1986
2,21	ICPMS	1995
4	INAA	1988
<13	XRF	1995

Für Elemente, die schlecht bestimmt sind, wäre die Angabe eines Konzentrationsbereichs , in dem die tatsächliche Konzentration des Standards aller Wahrscheinlichkeit nach liegt, sinnvoll. Aus diesem Grunde soll hier der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse größere Aufmerksamkeit geschenkt werden als der Genauigkeit.

4.7.5 Bestimmung der Reproduzierbarkeit

Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wurde durch Vergleich aller Einzelmessungen einer Probe ermittelt. Die Reproduzierbarkeit ist ein Maß für die analytische Wiederholbarkeit von Ergebnissen, das heißt, daß sich bei wiederholten Messungen das gleiche Ergebnis (mit leichten Abweichungen) einstellt. Die Reproduzierbarkeit wird meist als einfache Standardabweichung eines Datensatzes angesehen.

4.8 Modifikationen des Standard-Auswerteschemas

4.8.1 Modifikationen bei Verlust des Eichpunktes C

Bei der letzten Messung der Probenlösungen (CPS25021998) ergaben sich für die Isotope ^{93}Nb , ^{181}Ta , ^{182}W und ^{183}W sehr schlechte Eichkurven, was anhand der Korrelationskoeffizienten erkennbar ist. Die Ursache hierfür ist der Verlust der Elemente Nb, Ta und W aus der Eichlösung C. Daher wurde die Eichkurven für die Isotope ^{93}Nb , ^{181}Ta , ^{182}W und ^{183}W ohne die Eichlösung C berechnet. In Abbildung 4.6 (a)-(d) sind die Eichkurven mit und ohne Eichlösung C aufgetragen.

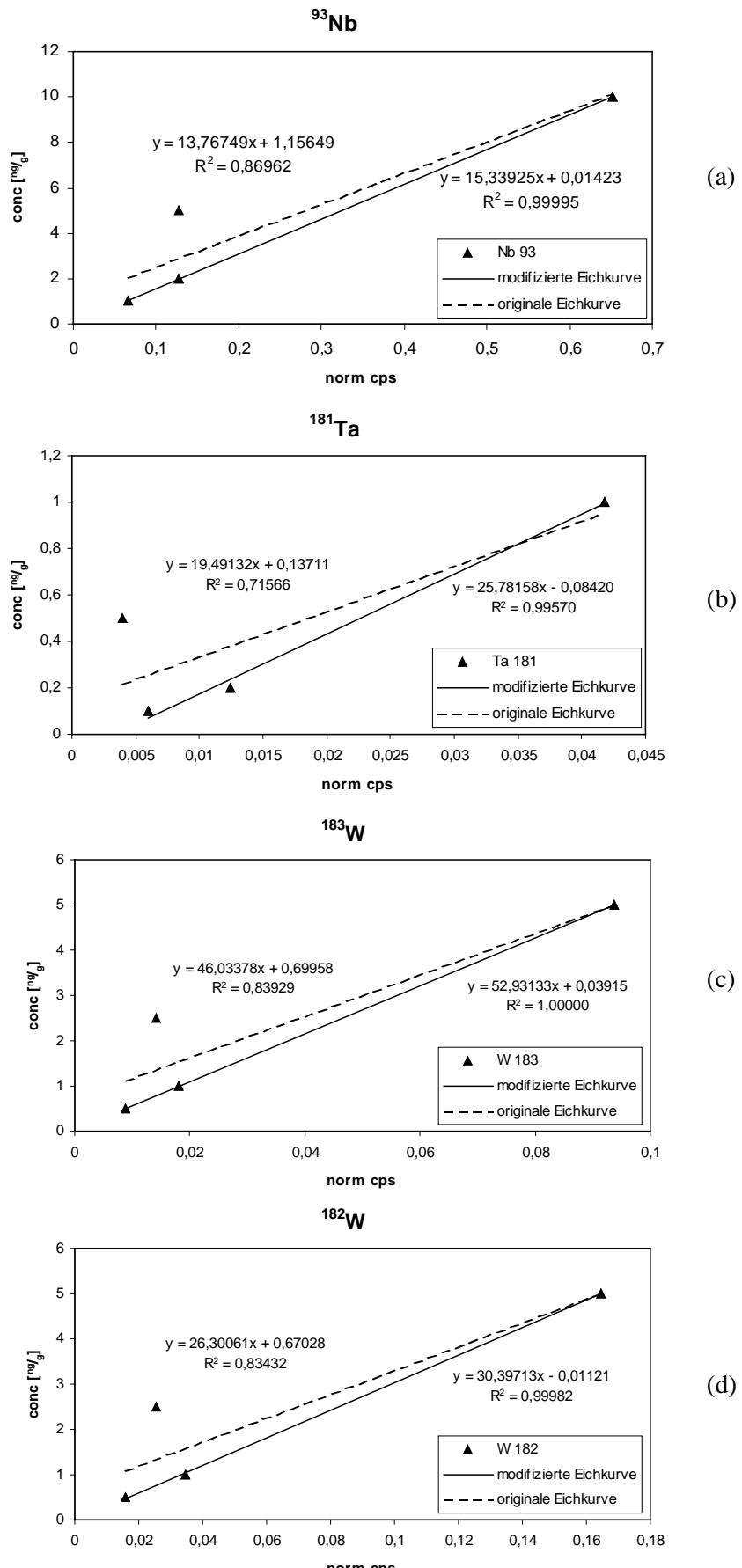


Abb. 4.6: Vergleich der Eichkurven unter Einbeziehung der Eichlösung C und ohne Einbeziehung der Eichlösung C: (a) ^{93}Nb , (b) ^{181}Ta , (c) ^{182}W und (d) ^{183}W . Es ist bei allen Eichkurven ohne die Eichlösung C ein deutliche Verbesserung des Korrelationskoeffizienten zu sehen.

Da die Eichlösung C auch zur Driftkorrektur herangezogen wird, wurde für diese Messung auch das Verfahren zur Driftkorrektur modifiziert. Die Faktoren F_0, F_1, \dots, F_6 wurden dabei ähnlich wie Kapitel 4.7.1 beschrieben, berechnet:

$$F_x = \frac{\text{konz}_{\text{QC}_0}}{\text{konz}_{\text{QC}_x}} \quad (4.10)$$

Durch diese Modifikationen konnte die Genauigkeit der Konzentrationsbestimmung für die Isotope ^{93}Nb , ^{181}Ta , ^{182}W und ^{183}W so stark verbessert werden, daß die Ergebnisse der Konzentrationsbestimmung diese Isotope doch noch in das Gesamtergebnis aller Probenmessungen miteinfließen konnten.

4.8.2 Modifikationen bei der Normierung auf einen inneren Standard

Im Normalfall wurde die Normierung der Messungen für die Isotope mit einer Masse $\leq 123\text{amu}$ auf ^{115}In und für die Isotope mit einer Masse $\geq 177\text{amu}$ auf ^{185}Re vorgenommen. Abweichend davon konnte es sich als positiv erweisen, wenn alle Isotope auf einen inneren Standard normiert wurden. Dies war dann der Fall, wenn die Messung eines inneren Standards starke Schwankungen aufweist oder eine Abhängigkeit von matrixhaltigen und matrixfreien Lösungen zeigt (Abb. 5.6).

5. Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Vorversuche

Es wurden mehrere Versuche mit Lösungszusätzen, die die Stabilität der Lösung und/oder die Geräteempfindlichkeit für bestimmte Isotope positiv beeinflussen, durchgeführt. Aufgrund der durchgeführten Versuche (Kap. 5.1.1ff) lässt sich eine Verbesserung der Ergebnisse in Abhängigkeit der Zusätze nicht feststellen. Eine positive Wirkung der Zusätze lässt sich aber nicht gänzlich ausschließen, da nur die Konzentrationsabhängigkeit eines Zusatzes, der erst im Quarzglaskolben der auf Raumtemperatur abgekühlten Lösung zugesetzt wurde, für einige Isotope untersucht wurde. Eine Empfindlichkeitsverbesserung für die Lösungen wird durch Zusätze aber deutlich weniger ausgeprägt sein, als eine Empfindlichkeitsverbesserung durch Tuning des Gerätes wie z.B. direktes Einbringen von Stickstoff ins Plasma (Ar/N₂-Plasma), das eine bessere thermische Kopplung von cool- und auxiliary-Gasstrom auf den ‚kalten nassen‘ nebulizer-Gasstrom leistet. Eine Stabilitätsverbesserung der Lösungen konnte ebenso wenig festgestellt werden wie eine Stabilitätsverschlechterung. Da die Standardeichlösungen der Elemente für die Kalibrationslösungen meist in HCl oder HNO₃ stabilisiert sind bzw. in Lösung gehalten werden, ist auch ein Ansetzen der Kalibrationslösungen und Herstellen der Lösungen mit HCl oder HNO₃ als Zusatz zu empfehlen. Die Konzentration des HCl sollte sich dabei in einer ähnlichen Größenordnung wie in den Standardeichlösungen bewegen. HNO₃ muss nicht extra zugegeben werden, da eine Konzentration von 2 Vol.-%, die jeder Lösung sowieso zugegeben wird (Kap. 4.3), ausreichend stabilisierend ist.

Im folgenden sind die einzelnen Versuche und dazugehörigen Messungen kurz erläutert und Ergebnisse der Messungen präsentiert. Die Meßprotokolle der Messungen (Reihenfolge der Lösungen im Autosampler) sowie die berechneten Konzentrationen und Eichgeraden sind dem Anhang zu entnehmen.

5.1.1 Versuch 1

Es wurde ein HF/HClO₄-Druckaufschluß von jeweils zwölf Einwaagen zweier internationalen Geostandards (JA-2 und JB-3) angefertigt. Durch den nächtlichen Ausfall des Heizofens ist leider keine genaue Angabe der Temperatur und Zeit möglich (? Std. bei 180°C, danach 10

Std. bei 200°C). Beim Herstellen der Lösung (s. Kap. 4.4) wurden je 3 Aufschlüsse eines Standards mit a) keinem Zusatz, b) Zusatz von 1 Vol.-% TMAH, c) Zusatz von 2 Vol.-% 6N HCl*** und d) Zusatz von 1 Vol.-% gesättigter H₃BO₄ versetzt. Die Kalibrationslösungen (Konzentrationen s. Kap. 4.5) wurden mit den gleichen Zusätzen in gleicher Konzentration angesetzt.

Bei der ersten Messung (CPS09051997) wurden nur die Kalibrationslösungen gemessen, um festzustellen, welchen Einfluß die Zusätze auf die Eichgerade (Steigung, Standardabweichung der Steigung, Achsenabschnitt, Standardabweichung des Achsenabschnittes und Korrelationskoeffizient) haben.

Nur beim Korrelationskoeffizienten wurden signifikante systematische Änderungen festgestellt.

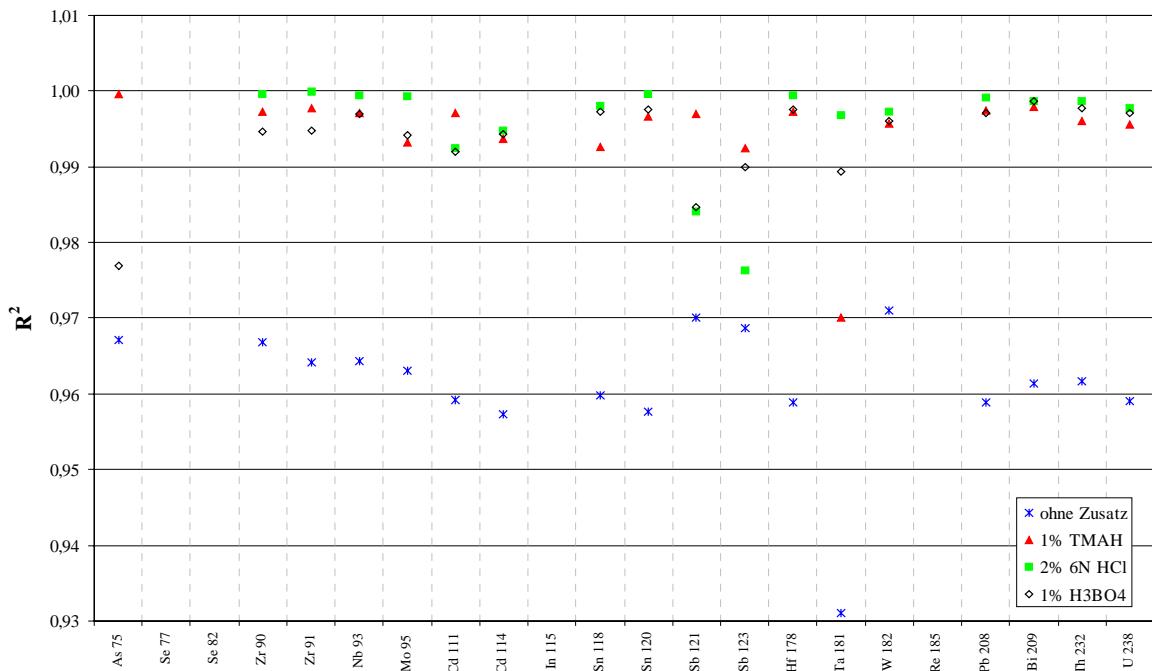


Abb. 5.1: Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Eichgeraden der 1. Messung

Es zeigte sich auch, daß durch den HCl-Zusatz die Bestimmung des Arsens aufgrund der Interferenz mit ⁴⁰Ar³⁵Cl⁺ nicht durchführbar ist.

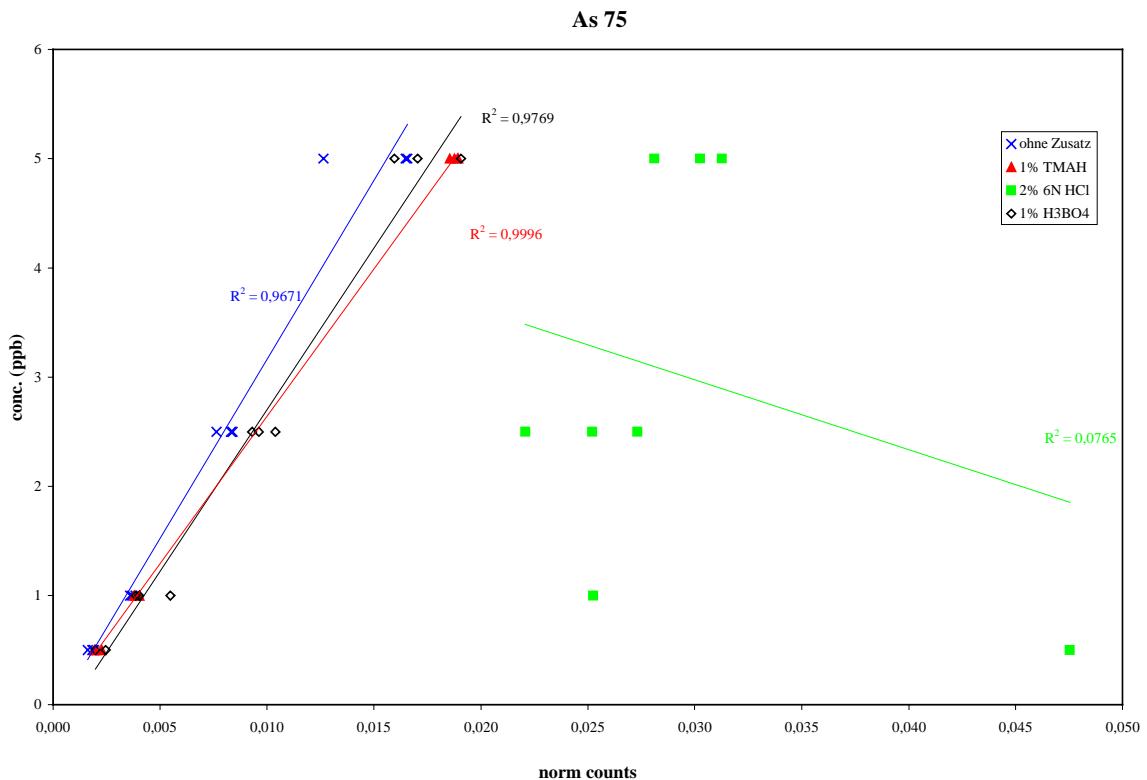


Abb. 5.2: Eichgeraden As (Masse 75 amu) von Lösungen mit unterschiedlichen Zusätzen. Die Unterschiede zwischen den Steigungen der Geraden sind für die Zusätze TMAH und H₃BO₄ und die Lösung ohne Zusatz nur gering. Die Steigung der Eichgeraden für die Lösung mit HCl als Zusatz ist negativ, was auf eine Interferenz oder eine untergrundnahe Konzentration zurück geführt werden kann.

Durch Probleme bei der Ansteuerung des Autosamplers vom Steuerrechner aus fehlen die Ergebnisse für insgesamt neun Lösungen (KAH2, KAH3, KAB1, KBT3, KBH1, KBH2, KCT1, KCT2, KCT3). Gerade das Fehlen der HCl-Lösungen (KAH, KBH) kann die negative Steigung der Eichgeraden hervorgerufen haben. Bei den weiteren Messungen ist eine Eichgerade mit negativer Steigung nicht festgestellt worden.

Bei weiteren Messungen (CPS13051997, CPS28051997, CPS04061997 und CPS05061997) sollte festgestellt werden, wie und ob sich die Ergebnisse der aufgeschlossenen Standards durch die Zusätze veränderten. Zum einen wurden dafür alle Standards unabhängig vom Zusatz mit den zusatzfreien Kallibrationslösungen gemessen, zum andern wurden die Lösungen abhängig vom Zusatz mit den dazugehörigen Eichlösungen gemessen und ausgewertet. Für die Messungen wurden dabei die Massen 77, 82 und auch 83 (ab CPS28051997) mitgemessen, um die Möglichkeit der Interferenzkorrektur auf Masse 75 auszuloten. Diese Interferenzkorrektur bedient sich der Tatsache, daß sich die Isotopenverhältnisse schwerer Elementes im Rahmen der Meßgenauigkeit nicht ändern, also bei der gesamten Prozedur nicht voneinander fraktioniert werden.

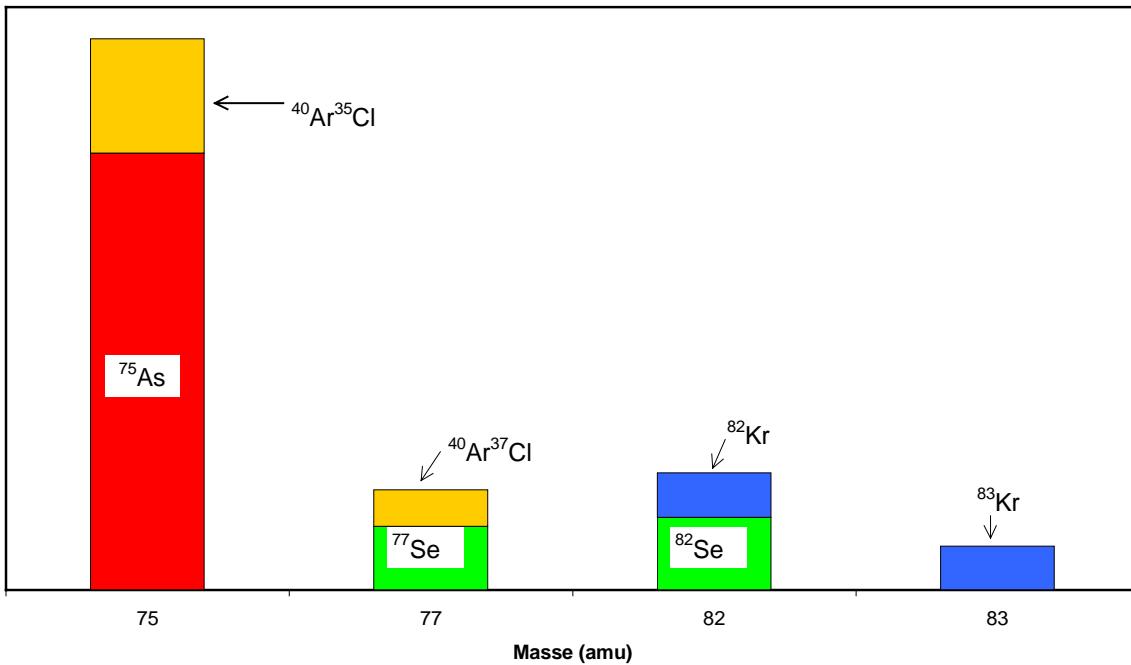


Abb. 5.3: Theoretische Interferenzkorrektur für Masse 75. Ausgehend von Masse 83 kann über die bekannten Isotopenverhältnisse $^{83}\text{Kr}/^{82}\text{Kr}$, $^{77}\text{Se}/^{82}\text{Se}$ und $^{35}\text{Cl}/^{37}\text{Cl}$ der Anteil von $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}$ auf Masse 75 rausgerechnet werden.

Es lässt sich folgender Term entwickeln:

$$\text{cps } ^{75}\text{As} = \text{cps } 75\text{amu} - \left\{ \left\langle \frac{^{35}\text{Cl}}{^{37}\text{Cl}} \right\rangle \cdot \left[\text{cps } 77\text{amu} - \left\langle \frac{^{77}\text{Se}}{^{82}\text{Se}} \right\rangle \cdot \left(\text{cps } 82\text{amu} - \left\langle \frac{^{82}\text{Kr}}{^{83}\text{Kr}} \right\rangle \cdot \text{cps } 83\text{amu} \right) \right] \right\} \quad (5.1)$$

Dieses Verfahren hat nicht funktioniert, da meistens auf der Masse 83 amu mehr cps als auf Masse 77 amu gemessen wurden und aufgrund des Verhältnisses von $^{82}\text{Kr}:^{83}\text{Kr}$ von 1:1 die weitere Rechnung physikalisch unsinnige Werte (negative CPS) ergeben würde. Die niedrigen Konzentrationen des aus dem Plasmagas stammenden Kr liegen wahrscheinlich im Untergrund und sind deshalb vom Gerät nicht korrekt erfasst worden. Mitverantwortlich für das Nichtfunktionieren der Interferenzkorrektur ist sicherlich auch das hohe Ionisationspotential von Se und vor allem von Kr.

Bei den Messungen wurden auch immer wieder Blindlösungen der verwendeten Zusätze mitgemessen, um eine Einschätzung der möglichen Kontamination machen zu können. Gemessen wurden Blindlösungen der Zusätze von 1 Vol.-% gesättigter Borsäure (V1.BS und BS) und 1 Vol.-% TMAH (V1.TM und V1.TM5 (5 Vol.-% TMAH Zusatz)). Da es sich bei

der verwendeten HCl um sehr reine HCl (HCl^{***}) handelt, wurde darauf verzichtet, Blindlösungen davon zu messen. Für die verwendeten Konzentrationen der Zusätze zeigten sich keine Kontaminationen.

5.1.2 Versuch 2

Für den zweiten Versuch wurden je 9 Aufschlußlösungen der internationalen Standards JA-2 und JB-3 sowie des hausinternen Standards BB63 hergestellt. Als Aufschlußverfahren wurde ein HF/ HClO_4 -Aufschluß gewählt, der bei 200°C rund 14 Stunden lang gekocht wurde. Je 3 Lösungen wurden mit a) 0,5 Vol.-% TMAH, b) 1 Vol.-% 6N HCl^{***} und c) 0,5 Vol.-% gesättigter H_3BO_4 versetzt.

Gemessen wurden die Lösungen mit den Zusätzen a) und c) mit den jeweils zugehörigen angesetzten Kalibrationslösungen (CPS02091997(1)) Es ergaben sich zum 1. Versuch kaum Änderungen, aber es schien sich ein positiver Effekt für verschiedene HFS-Elemente bei Lösungen mit Zusatz von TMAH bemerkbar zu machen. Aufgrund der bis dahin durchgeführten Versuche muß dieser Effekt des TMAH konzentrationsabhängig sein. Daher wurde in einem weiteren Versuch die konzentrationsabhängige Wirkung eines TMAH-Zusatzes untersucht.

5.1.3 Versuch 3

Es wurden folgende Kalibrationslösungen angesetzt:

Tab. 5.1: Kalibrationslösungen Versuch 3 mit verschiedenen Konzentration von TMAH (2, 5 und 10 Vol.-%) (alle Lösungen +20 ng/g Re und In, +2 Vol.-% HNO_3^{***})

Name	µl ZV HFS	Zusatz TMAH (Vol.-%)
KAT 2	50	2
KAT 5	50	5
KAT10	50	10
KBT 2	100	2
KBT 5	100	5
KBT10	100	10
KCT 2	250	2
KCT 5	250	5
KCT10	250	10
KDT 2	500	2
KDT 5	500	5
KDT10	500	10

Aufgrund von Stabilitätsproblemen mit dem ICPMS wurden die Kalibrationslösungen dreimal gemessen (CPS05091997, CPS08091997 u. CPS09091997). Die ermittelten Steigungen der Eichgeraden zeigten keine Änderungen, die einen positiven Effekt der TMAH-Konzentrationen nahelegen würden. Die Korrelation sinkt bei einigen Isotopen mit steigender Konzentration des TMAH in der Lösung. Von hohen Konzentrationen des TMAH in der Lösung ist daher in jedem Fall abzuraten.

5.1.4 Schlußfolgerungen aus den Vorversuchen

Chalkophile Elemente lassen sich mit dem ICPMS bestimmen. Es sind dabei jedoch verschiedene Gesichtspunkte zu beachten. Für die Messung des As ist unbedingt darauf zu achten, daß sowohl der Aufschluß als auch die Eichlösungen Cl-frei sind, da die durch Cl hervorgerufene Interferenz durch $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$ im allgemeinen nicht korrigierbar ist. Andere chalkophile Elemente sind interferenzfrei, weshalb keine Empfehlung hinsichtlich des Aufschlußverfahrens gegeben werden kann. Von der Zugabe stabilitätsverbessernder Zusätze wie TMAH, HCl oder H_3BO_4 kann abgesehen werden, da sich hier keine entscheidenden Verbesserungen zeigen. Ein möglicher Zusatz dieser Substanzen hat aber auch keine negativen Auswirkungen auf die Ergebnisse, Kontaminationen durch diese Lösungen konnten nicht beobachtet werden. Aufgrund der hohen ersten Ionisationsenergien der Elemente As, Sb und Cd kann es zu Ionisationsproblemen und dadurch bedingten falschen Ergebnissen kommen.

5.2 Ergebnisse der Messungen an Proben aus Kamchatka

Es wurden zwei Aufschlüsse der Proben von Kamchatka angefertigt. Bei dem ersten Aufschluß handelt es sich um einen HF/HClO₄-Aufschluß, beim zweiten um einen HF/HNO₃-Aufschluß. Beide Aufschlüsse wurden mehrfach gemessen. Auf die Ergebnisse der einzelnen Messungen sowie dabei auftretende Besonderheiten und Probleme wird im Folgenden eingegangen.

5.2.1 HF/HClO₄-Aufschluß

Die Proben wurden gemäß Kapitel 4.3 mit einem HF/HClO₄-Aufschluß aufgeschlossen. Den Lösungen wurden 2 Vol.-% 6N HCl*** zugesetzt. Der HCl-Zusatz wurde gewählt, da viele der HFS-Elemente auch in den Standardeichlösungen HCl-stabilisiert sind und mit Ausnahme der As-Messung keine negativen Auswirkungen auftreten. Der Zusatz sollte lediglich eine mögliche zeitliche Stabilisierung der Lösung für spätere Messungen begünstigen. Diese Aufschlußlösungen wurden zweimal gemessen.

Bei der ersten Messung der Proben traten erstmals Fehler aufgrund einer Rückkopplung der Hochfrequenzinduktionsspule mit dem Multiplier auf. Die Ergebnisse der U-Bestimmung fließen aufgrund dieser Störung nicht ins Endergebnis ein.

Bei beiden Messungen wurde für verschiedene Elemente eine relativ schlechte Genauigkeit festgestellt. As ist aufgrund des Cl-haltigen Aufschlußverfahrens nicht ausreichend genau bestimmbar, die Abweichung zum Standard sind entschieden zu groß. Die As-Werte dieser beiden Messungen werden für das Gesamtergebnis aller Probenmessungen nicht verwendet. Probleme gab es auch bei den Elementen Bi, W, Ta, Nb und Mo. Besonders auffällig ist der Unterschied in den Konzentrationen von ¹²¹Sb und ¹²³Sb. Das ¹²³Sb ist immer um einen Faktor circa 2 höher bestimmt worden. Dies zeigt sich auch in der schlechten Übereinstimmung des Geostandards mit dem Sollwert. Ursache hierfür kann nur eine bisher nicht beachtete Interferenz sein. Diese Interferenz ist bei den Vorversuchen nicht so deutlich hervorgetreten, lediglich bei HCl-Zusatz ist eine stärkere Abweichung zu beobachten, die aber nicht so stark ist, wie es bei den Probenmessungen der Fall ist. Bei folgenden Messungen wurden die Isotope ⁹⁸Mo, ¹⁷⁷Hf, ¹¹⁷Sn, ¹¹²Cd, ¹⁸³W, ²⁰⁶Pb und ²⁰⁷Pb ebenfalls mitbestimmt, um nicht nur auf ein Isotop eines Elementes angewiesen zu sein.

5.2.2 HF/HNO₃-Aufschluß

Der HF/HNO₃-Aufschluß wurde wie in Kap. 4.3 beschrieben erstellt. Die Lösungen mußten im Ultraschallbad behandelt werden, da es zur Bildung eines Niederschlages gekommen ist. Der HF/HNO₃-Aufschluß wurde gewählt, um die Konzentration des As im Gestein besser bestimmen zu können, da die Interferenz auf Masse 75 amu nicht auftreten sollte. Da die Bestimmung des As nur dann mit guter Genauigkeit erfolgen kann, wenn auch die Eichlösungen Cl-frei sind, wurden die Eichlösungen nur aus der Zwischenverdünnung ZV N hergestellt.

Erstmal wurde bei der Messung CPS13111997 die S-Option-Pumpe benutzt. Die Abweichung der As-Konzentration der Geostandards zu ihrem Soll-Wert ist hier wesentlich geringer. Dies ist auch nicht verwunderlich, da es durch die Benutzung der S-Option-Pumpe zu einer schlechteren Response des As gegenüber einer Messung ohne S-Option-Pumpe kommt. Dadurch müssen die As-Konzentrationen niedriger als bei den vorangegangenen Messungen sein.

Bei den weiteren Messungen wurde auf die S-Option-Pumpe verzichtet, wodurch die Abweichung der As-Konzentration zum Soll-Wert wieder größer waren. Für die Messung CPS06011998 wurde eine neue Zwischenverdünnung ZV N angesetzt und die Eichlösungen aus dieser Zwischenverdünnung erstellt. Um einen Vergleich zu den vorangegangenen Messungen zu ermöglichen, wurden die zuvor verwendeten Eichlösungen mitbestimmt. Es zeigten sich kaum Unterschiede zwischen den Eichlösungen aus den verschiedenen Zwischenverdünnungen. Trotz anderer Geräteeinstellungen (anderer Zerstäubertyp und anderes Konenpaar (Pt)) zeigten die Ergebnisse der beiden Messungen keine signifikanten Unterschiede.

Bei der Messung CPS26011998 stand die As-Bestimmung im Vordergrund. Das ICPMS wurde aus diesem Grunde auf die Masse 75 optimiert. Es wurden nur die beiden Isotope ⁷⁵As und ¹¹⁵In bestimmt. Erstmal wurden dafür die Spül- und Meßzeiten am Gerät verändert. Die wichtigste Veränderung an den Geräteeinstellungen war aber die Herabsetzung der Leistung des ICP-Generator auf 1250W, wodurch die bestmögliche Zählrate auf der Masse 75 erzielt wurde. Die Ergebnisse dieser Messung brachten aber nicht den gewünschten Erfolg. Die Abweichung der As-Konzentrationen zum Soll-Wert sind wieder sehr hoch. Die Ursache dafür ist in dem unruhigen Verlauf der In-Messung zu sehen. Das run-control-Diagramm dieser Messung zeigt große auffällige Unterschiede in der Zählrate für Proben und Standards gegenüber Blank-Lösung und Eichlösungen. Dadurch kommt es zu einer fehlerhaften Driftkorrektur mit einhergehender Überbestimmung.

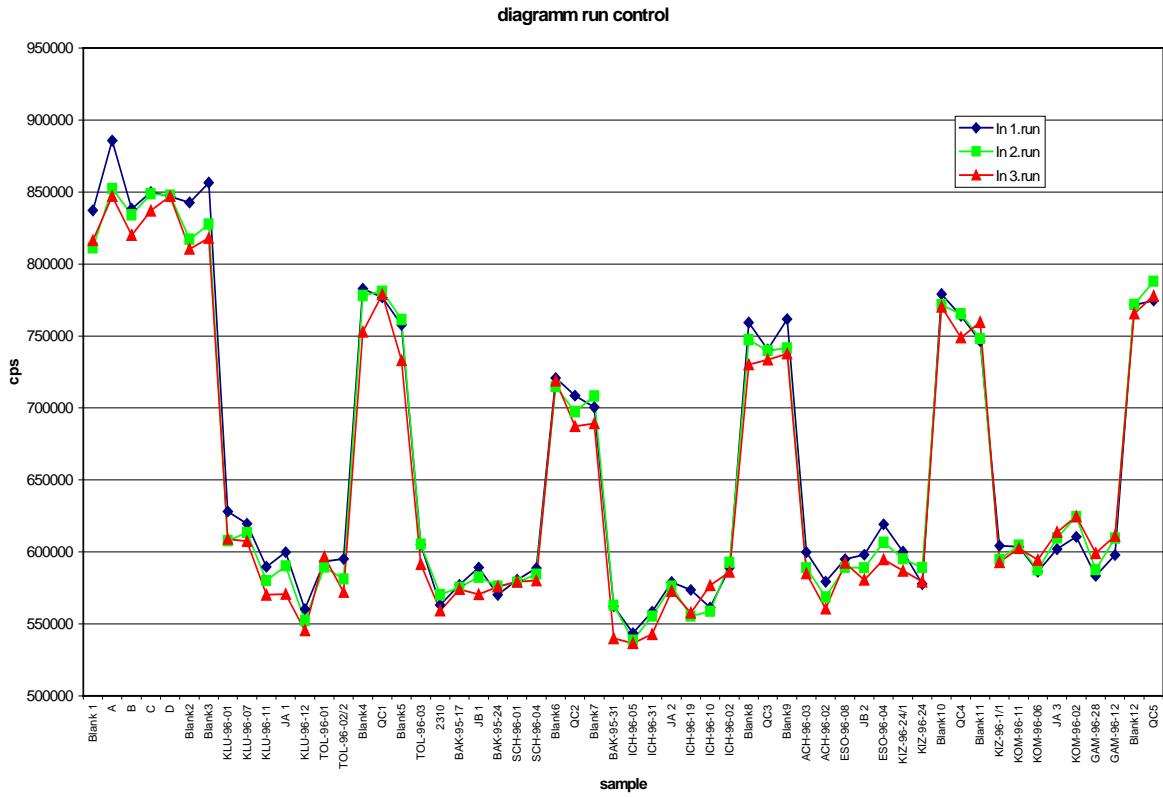


Abb. 5.4: run-control-Diagramm der Messung CPS26011998. Durch die großen Unterschiede der CPS für Proben- gegenüber QC- und Eichlösungen kommt es zu einer fehlerhaften Driftkorrektur, die eine Überbestimmung zur Folge hat. Die Ursache für die starken Unterschiede sind nicht genau bekannt.

Lineare Interpolation der In-CPS zwischen den QC-Lösungen und/oder Auslassen der Normierung auf ^{115}In ergaben auch keine wesentlichen Verbesserungen im Ergebnis. Die Ergebnisse dieser As-Bestimmung fließen daher nicht in das Endergebnis ein.

Bei der letzten Messung des HF/HNO₃-Aufschlusses wurden mit Ausnahme des As alle Elemente gemessen. Die Abweichung der Sb-Isotope wie sie zuvor beobachtet wurde, war hier nicht mehr zu erkennen, muß also durch den HF/HClO₄-Aufschluß bedingt sein. Durch den teilweisen Verlust von Nb, Ta und W aus der Eichlösung C mußte die Auswertung für die betreffenden Isotope modifiziert werden. Die Eichlösung C war vor der Messung neu angesetzt worden. Da es sich nicht um einen Fehler beim Pipettieren handeln kann, die anderen Elemente der ZV HFS liegen in der richtigen Konzentration für Eichlösung C vor, müssen die Elemente Nb, Ta und W schon in der Zwischenverdünnung verschwunden (vermutlich ausgefallen oder an der Gefäßwandung adsorbiert) sein. Dadurch ist auch klar, daß der Zusatz von 10 Vol.-% 6N HCl*** zur Zwischenverdünnung die Langzeitstabilität der Lösung für die Elemente Nb, Ta und W nicht deutlich verbessern konnte.

5.2.3 Endergebnis der Probenmessungen

Aus den Ergebnissen der Einzelmessungen wurde ein Endergebnis errechnet. Dazu wurden mit wenigen Einschränkungen alle Isotope aller Messungen verwendet. Die Einschränkungen sind vor allem unterschiedliche Konzentrationen zweier oder mehrerer Isotope eines Elementes (Sb), sowie die Messungen mit erheblicher Abweichung der Ist- zu den Soll-Konzentrationen der verwendeten Geostandards. Die folgende Tabelle gibt an, welche Einzelbestimmung in das Endergebnis einfließen.

Tab 5.2: Übersicht über die in das Endergebnis einfließenden Einzelmessungen

Messung	herangezogenen Isotope
CPS28081997:	^{90}Zr , ^{91}Zr , ^{93}Nb , ^{95}Mo , ^{111}Cd , ^{114}Cd , ^{118}Sn , ^{120}Sn , ^{121}Sb , ^{178}Hf , ^{181}Ta , ^{182}W , ^{209}Bi , ^{208}Pb , ^{232}Th
CPS02091997:	^{90}Zr , ^{91}Zr , ^{93}Nb , ^{95}Mo , ^{111}Cd , ^{114}Cd , ^{118}Sn , ^{120}Sn , ^{121}Sb , ^{177}Hf , ^{178}Hf , ^{181}Ta , ^{182}W , ^{208}Pb , ^{209}Bi , ^{232}Th , ^{238}U
CPS13111997:	^{75}As , ^{95}Mo , ^{98}Mo , ^{111}Cd , ^{112}Cd , ^{114}Cd , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{209}Bi , ^{232}Th
CPS06011998:	^{75}As , ^{95}Mo , ^{98}Mo , ^{111}Cd , ^{112}Cd , ^{114}Cd , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{209}Bi , ^{232}Th , ^{238}U
CPS26011998:	
CPS25021998:	^{90}Zr , ^{91}Zr , ^{93}Nb , ^{95}Mo , ^{111}Cd , ^{112}Cd , ^{114}Cd , ^{117}Sn , ^{118}Sn , ^{120}Sn , ^{121}Sb , ^{123}Sb , ^{178}Hf , ^{181}Ta , ^{182}W , ^{183}W , ^{209}Bi , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th

Die Elementkonzentration wurde aus diesen Einzelmessungen berechnet. Dazu wurde der Median aus den einzelnen Ergebnissen aller zu einem Element gehörigen Isotope berechnet. Der Median liefert gegenüber dem Mittelwert etwas andere Werte, da durch die Berechnung des Medians ‚Ausreißer‘ weniger stark ins Gewicht fallen. Die Standardabweichung wurde nicht nach der herkömmlichen Methode als Standardabweichung des Mittels berechnet. Aufgrund der kleinen Datenmengen wurde eine spezielle Formel für die Bestimmung der Standardabweichung angewendet (Potts 1992). Nach dieser Formel berechnet sich die Standardabweichung für kleine Datenmengen wie folgt:

$$s = \frac{w}{k} \quad (5.2)$$

mit: $w = \text{maximaler Wert} - \text{minimaler Wert}$

k = Faktor in Abhängigkeit der Anzahl der einfließenden Daten (n)

Tab. 5.3: Wert des Faktors k in Abhängigkeit von n:

n	2	3	4	5	6	7	8
k	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847
n	9	10	11	13	14	15	16
k	2,970	3,078	3,173	3,258	3,336	3,407	3,472

In der folgenden Tabelle sind die so errechneten Konzentrationen in den Gesteinsproben aus Kamchatka aufgelistet.

Tab 5.4: Konzentrationen [$\mu\text{g/g}$] in den Gesteinsproben aus Kamchatka. Angegeben ist der Median aus den Einzelmessungen ± 1 s. In Klammern ist der relative Fehler und die Anzahl der einfließenden Einzelwerte angegeben. Angegeben sind auch die mittleren LLD, LOD und LOQ.

Element	As	Zr	Nb	Mo	Cd	Sn	Sb
KLU-96-01	$1,83 \pm 1,18$ (64%, n=2)	$67,41 \pm 3,75$ (6%, n=6)	$3,29 \pm 1,30$ (39%, n=3)	$0,67 \pm 0,06$ (10%, n=8)	$0,13 \pm 0,07$ (52%, n=13)	$0,82 \pm 0,48$ (58%, n=7)	$0,24 \pm 0,04$ (17%, n=4)
KLU-96-07	$2,09 \pm 0,71$ (34%, n=2)	$58,76 \pm 3,74$ (6%, n=6)	$1,71 \pm 0,70$ (41%, n=3)	$0,74 \pm 0,08$ (11%, n=8)	$0,13 \pm 0,05$ (39%, n=13)	$0,74 \pm 0,6$ (82%, n=7)	$0,2 \pm 0,03$ (16%, n=4)
KLU-96-11	$2,19 \pm 1,16$ (53%, n=2)	$65,66 \pm 5,69$ (9%, n=6)	$1,98 \pm 0,88$ (44%, n=3)	$0,73 \pm 0,06$ (9%, n=8)	$0,14 \pm 0,05$ (38%, n=13)	$0,82 \pm 0,46$ (57%, n=7)	$0,16 \pm 0,02$ (14%, n=4)
KLU-96-12	$2,24 \pm 0,98$ (44%, n=2)	$85,29 \pm 8,83$ (3%, n=4)	$2,16 \pm 1,38$ (3%, n=4)	$0,90 \pm 0,08$ (3%, n=4)	$0,16 \pm 0,07$ (3%, n=4)	$0,97 \pm 0,32$ (3%, n=4)	$0,24 \pm 0,13$ (3%, n=4)
TOL-96-01	$3,30 \pm 1,02$ (31%, n=2)	$171,9 \pm 15,28$ (9%, n=6)	$5,53 \pm 3,03$ (55%, n=3)	$1,83 \pm 0,18$ (10%, n=8)	$0,13 \pm 0,14$ (107%, n=13)	$1,66 \pm 0,28$ (17%, n=7)	$0,39 \pm 0,08$ (20%, n=4)
TOL-96-02/2	$1,72 \pm 1,14$ (66%, n=2)	$62,69 \pm 3,23$ (5%, n=6)	$1,76 \pm 0,89$ (50%, n=3)	$0,85 \pm 0,08$ (9%, n=8)	$0,14 \pm 0,05$ (35%, n=13)	$0,8 \pm 0,41$ (52%, n=7)	$0,09 \pm 0,01$ (14%, n=4)
TOL-96-03	$2,26 \pm 1,22$ (54%, n=2)	$104,10 \pm 9,93$ (10%, n=6)	$3,34 \pm 1,77$ (53%, n=3)	$1,17 \pm 0,08$ (7%, n=8)	$0,16 \pm 0,08$ (53%, n=13)	$1,03 \pm 0,39$ (38%, n=7)	$0,22 \pm 0,03$ (15%, n=4)
2310	$1,85 \pm 1,34$ (72%, n=2)	$65,84 \pm 1,32$ (2%, n=2)	$1,51 \pm 0,00$ (0%, n=1)	$0,92 \pm 0,08$ (8%, n=6)	$0,16 \pm 0,05$ (30%, n=9)	$0,78 \pm 0,05$ (6%, n=3)	$0,82 \pm 0,01$ (2%, n=2)
BAK-95-17	$1,45 \pm 1,14$ (79%, n=2)	$90,48 \pm 6,92$ (8%, n=6)	$4,94 \pm 2,65$ (54%, n=3)	$1,10 \pm 0,11$ (10%, n=8)	$0,14 \pm 0,07$ (51%, n=13)	$0,85 \pm 0,27$ (32%, n=7)	$0,08 \pm 0,01$ (15%, n=4)
BAK-95-24	$1,64 \pm 1,45$ (89%, n=2)	$69,02 \pm 3,02$ (4%, n=6)	$2,82 \pm 1,64$ (58%, n=3)	$0,80 \pm 0,10$ (13%, n=8)	$0,11 \pm 0,06$ (55%, n=13)	$0,75 \pm 0,26$ (35%, n=7)	$0,1 \pm 0,01$ (10%, n=4)
BAK-95-31	$1,67 \pm 1,39$ (83%, n=2)	$74,64 \pm 7,42$ (10%, n=6)	$4,65 \pm 2,56$ (55%, n=3)	$0,93 \pm 0,06$ (7%, n=8)	$0,13 \pm 0,06$ (49%, n=13)	$0,82 \pm 0,09$ (11%, n=7)	$0,09 \pm 0,00$ (5%, n=4)
SCH-96-01	$2,11 \pm 1,27$ (60%, n=2)	$62,07 \pm 4,48$ (7%, n=6)	$1,58 \pm 0,93$ (59%, n=3)	$0,77 \pm 0,07$ (9%, n=8)	$0,09 \pm 0,05$ (57%, n=13)	$0,76 \pm 0,20$ (26%, n=7)	$0,15 \pm 0,02$ (11%, n=4)
SCH-96-04	$1,78 \pm 1,28$ (72%, n=2)	$46,35 \pm 3,77$ (8%, n=6)	$1,43 \pm 0,88$ (62%, n=3)	$0,65 \pm 0,07$ (12%, n=8)	$0,12 \pm 0,04$ (34%, n=13)	$0,63 \pm 0,22$ (35%, n=7)	$0,1 \pm 0,04$ (38%, n=4)
GAM-96-12	$2,22 \pm 0,95$ (43%, n=2)	$66,69 \pm 5,83$ (9%, n=6)	$1,64 \pm 1,02$ (62%, n=3)	$0,87 \pm 0,10$ (12%, n=8)	$0,12 \pm 0,05$ (42%, n=13)	$0,79 \pm 0,23$ (30%, n=7)	$0,12 \pm 0,02$ (16%, n=4)
GAM-96-28	$1,74 \pm 1,61$ (92%, n=2)	$42,65 \pm 2,14$ (5%, n=6)	$1,14 \pm 0,69$ (61%, n=3)	$0,70 \pm 0,14$ (20%, n=8)	$0,09 \pm 0,03$ (33%, n=13)	$0,53 \pm 0,19$ (37%, n=7)	$0,08 \pm 0,02$ (28%, n=4)
KOM-96-02	$2,34 \pm 1,31$ (56%, n=2)	$68,22 \pm 5,75$ (8%, n=6)	$1,55 \pm 0,76$ (49%, n=3)	$1,03 \pm 0,13$ (13%, n=8)	$0,33 \pm 0,11$ (35%, n=13)	$0,76 \pm 0,19$ (25%, n=7)	$0,14 \pm 0,01$ (8%, n=4)
KOM-96-06	$2,09 \pm 1,36$ (65%, n=2)	$56,96 \pm 4,39$ (8%, n=6)	$1,30 \pm 0,68$ (52%, n=3)	$0,77 \pm 0,09$ (12%, n=8)	$0,13 \pm 0,04$ (28%, n=13)	$0,67 \pm 0,21$ (32%, n=7)	$0,11 \pm 0,02$ (18%, n=4)
KOM-96-11	$7,29 \pm 1,18$ (16%, n=2)	$121,26 \pm 14,14$ (12%, n=6)	$2,59 \pm 1,35$ (52%, n=3)	$2,03 \pm 0,19$ (9%, n=8)	$0,15 \pm 0,09$ (61%, n=13)	$1,08 \pm 0,13$ (12%, n=7)	$0,52 \pm 0,08$ (16%, n=4)
KIZ-96-1/1	$1,66 \pm 1,47$ (89%, n=2)	$66,45 \pm 5,19$ (8%, n=6)	$2,73 \pm 1,43$ (52%, n=3)	$0,83 \pm 0,06$ (7%, n=8)	$0,13 \pm 0,05$ (35%, n=13)	$0,81 \pm 0,33$ (41%, n=7)	$0,08 \pm 0,01$ (8%, n=4)
KIZ-96-24	$1,69 \pm 1,04$ (61%, n=2)	$72,51 \pm 9,06$ (13%, n=6)	$3,23 \pm 1,49$ (46%, n=3)	$1,22 \pm 0,09$ (8%, n=8)	$0,12 \pm 0,05$ (42%, n=13)	$0,81 \pm 0,16$ (20%, n=7)	$0,13 \pm 0,02$ (12%, n=4)

Element	As	Zr	Nb	Mo	Cd	Sn	Sb
KIZ-96-24/1	1,68 ± 1,13 (67%, n=2)	66,85 ± 6,45 (10%, n=6)	2,72 ± 1,33 (49%, n=3)	1,07 ± 0,09 (8%, n=8)	0,14 ± 0,05 (34%, n=13)	0,87 ± 0,17 (20%, n=7)	0,1 ± 0,03 (33%, n=4)
ESO-96-04	1,56 ± 1,24 (79%, n=2)	63,72 ± 4,39 (7%, n=6)	2,93 ± 1,53 (52%, n=3)	0,92 ± 0,09 (10%, n=8)	0,12 ± 0,05 (42%, n=13)	0,64 ± 0,15 (24%, n=7)	0,14 ± 0,03 (19%, n=4)
ESO-96-08	1,37 ± 1,38 (101%, n=2)	55,78 ± 5,62 (10%, n=6)	1,78 ± 0,87 (49%, n=3)	0,67 ± 0,09 (14%, n=8)	0,11 ± 0,04 (36%, n=13)	0,68 ± 0,13 (20%, n=7)	0,07 ± 0,01 (17%, n=4)
ACH-96-02	1,67 ± 1,20 (73%, n=2)	75,39 ± 8,25 (9%, n=6)	4,09 ± 2,98 (50%, n=3)	0,88 ± 0,10 (11%, n=8)	0,13 ± 0,07 (40%, n=13)	0,81 ± 0,11 (15%, n=7)	0,09 ± 0,00 (15%, n=4)
ACH-96-03	1,50 ± 1,20 (80%, n=2)	95,22 ± 8,25 (9%, n=6)	5,71 ± 2,98 (52%, n=3)	1,26 ± 0,10 (8%, n=8)	0,13 ± 0,07 (55%, n=13)	0,84 ± 0,11 (13%, n=7)	0,11 ± 0,00 (3%, n=4)
ICH-96-02	1,38 ± 0,98 (71%, n=2)	154,55 ± 8,41 (5%, n=6)	8,82 ± 5,23 (59%, n=3)	1,44 ± 0,15 (10%, n=8)	0,18 ± 0,11 (64%, n=13)	1,15 ± 0,14 (12%, n=7)	0,08 ± 0,02 (18%, n=4)
ICH-96-05	1,57 ± 1,44 (92%, n=2)	122,36 ± 10,07 (8%, n=6)	18,55 ± 10,85 (58%, n=3)	1,47 ± 0,14 (9%, n=8)	0,14 ± 0,09 (65%, n=13)	1,25 ± 0,10 (8%, n=7)	0,07 ± 0,02 (27%, n=4)
ICH-96-10	1,39 ± 1,15 (83%, n=2)	126,05 ± 12 (10%, n=6)	18,67 ± 10,62 (57%, n=3)	1,49 ± 0,16 (11%, n=8)	0,13 ± 0,09 (71%, n=13)	1,17 ± 0,11 (9%, n=7)	0,07 ± 0,03 (41%, n=4)
ICH-96-19	1,30 ± 1,22 (94%, n=2)	77,28 ± 6,26 (8%, n=6)	3,26 ± 1,75 (54%, n=3)	0,91 ± 0,12 (13%, n=8)	0,10 ± 0,05 (53%, n=13)	0,71 ± 0,12 (17%, n=7)	0,08 ± 0,02 (24%, n=4)
ICH-96-31	1,48 ± 1,18 (79%, n=2)	103,27 ± 15,53 (15%, n=6)	6,27 ± 3,28 (52%, n=3)	1,33 ± 0,11 (8%, n=8)	0,15 ± 0,08 (54%, n=13)	0,94 ± 0,07 (8%, n=7)	0,10 ± 0,02 (20%, n=4)
LLD	0,34	1,25	0,17	0,20	0,09	0,08	0,09
LOD	0,50	2,08	0,26	0,30	0,13	0,20	0,14
LOQ	0,72	3,17	0,38	0,44	0,19	0,29	0,20

Element	Hf	Ta	W	Pb	Bi	Th	U
KLU-96-01	1,72 ± 0,33 (19%, n=5)	0,32 ± 0,02 (6%, n=2)	0,28 ± 0,19 (70%, n=4)	2,81 ± 0,16 (6%, n=13)	0,042 ± 0,01 (24%, n=5)	0,69 ± 0,12 (17%, n=5)	0,40 ± 0,01 (3%, n=4)
KLU-96-07	1,54 ± 0,32 (21%, n=5)	0,20 ± 0,02 (10%, n=2)	0,16 ± 0,09 (54%, n=4)	2,67 ± 0,16 (6%, n=13)	0,027 ± 0,003 (13%, n=5)	0,51 ± 0,13 (26%, n=5)	0,40 ± 0,01 (2%, n=4)
KLU-96-11	1,62 ± 0,31 (19%, n=6)	0,25 ± 0 (0%, n=2)	0,30 ± 0,06 (20%, n=4)	2,08 ± 0,14 (7%, n=13)	0,022 ± 0,003 (14%, n=5)	0,57 ± 0,08 (14%, n=5)	0,30 ± 0,03 (12%, n=4)
KLU-96-12	2,09 ± 0,50 (3%, n=4)	0,67 ± 0,25 (3%, n=4)	0,27 ± 0,15 (3%, n=4)	3,27 ± 0,25 (3%, n=4)	0,04 ± 0,011 (3%, n=4)	0,81 ± 0,19 (3%, n=4)	0,49 ± 0,04 (3%, n=4)
TOL-96-01	3,98 ± 0,88 (22%, n=5)	0,80 ± 0,45 (56%, n=3)	0,53 ± 0,22 (41%, n=4)	5,20 ± 0,35 (7%, n=13)	0,019 ± 0,007 (36%, n=5)	2,18 ± 0,54 (25%, n=5)	1,26 ± 0,07 (6%, n=4)
TOL-96-02/2	1,57 ± 0,31 (20%, n=5)	0,24 ± 0,34 (140%, n=3)	0,22 ± 0,13 (57%, n=4)	1,83 ± 0,12 (7%, n=13)	0,050 ± 0,006 (13%, n=5)	0,79 ± 0,24 (31%, n=5)	0,34 ± 0,01 (4%, n=4)
TOL-96-03	2,52 ± 0,47 (19%, n=5)	0,50 ± 0,35 (69%, n=3)	0,31 ± 0,09 (28%, n=4)	2,82 ± 0,21 (7%, n=13)	0,030 ± 0,006 (20%, n=5)	1,44 ± 0,26 (18%, n=5)	0,70 ± 0,05 (7%, n=4)
2310	1,93 ± 0,08 (4%, n=2)	0,61 ± 0 (0%, n=1)	0,35 ± 0,04 (12%, n=2)	2,23 ± 0,18 (8%, n=9)	0,028 ± 0,007 (25%, n=3)	0,48 ± 0,10 (21%, n=3)	0,26 ± 0,03 (11%, n=3)
BAK-95-17	2,17 ± 0,47 (21%, n=5)	0,69 ± 0,41 (59%, n=3)	0,27 ± 0,08 (29%, n=4)	2,58 ± 0,17 (7%, n=13)	0,017 ± 0,007 (43%, n=5)	1,3 ± 0,33 (26%, n=5)	0,60 ± 0,06 (10%, n=4)
BAK-95-24	1,91 ± 0,33 (17%, n=4)	0,46 ± 0,18 (38%, n=3)	0,19 ± 0,08 (43%, n=4)	2,11 ± 0,18 (8%, n=13)	0,018 ± 0,009 (53%, n=5)	1,1 ± 0,23 (21%, n=5)	0,44 ± 0,06 (14%, n=4)
BAK-95-31	1,81 ± 0,37 (21%, n=5)	0,76 ± 0,42 (55%, n=3)	0,25 ± 0,08 (32%, n=4)	3,43 ± 0,22 (7%, n=13)	0,024 ± 0,006 (23%, n=5)	1,91 ± 0,42 (22%, n=5)	0,65 ± 0,29 (44%, n=4)
SCH-96-01	1,55 ± 0,34 (22%, n=5)	0,32 ± 0,10 (32%, n=3)	0,20 ± 0,06 (32%, n=4)	2,04 ± 0,20 (10%, n=13)	0,009 ± 0,005 (57%, n=5)	0,78 ± 0,15 (19%, n=5)	0,30 ± 0,07 (23%, n=4)
SCH-96-04	1,25 ± 0,19 (15%, n=5)	0,32 ± 0,08 (26%, n=3)	0,20 ± 0,08 (42%, n=4)	2,01 ± 0,29 (14%, n=13)	0,016 ± 0,007 (46%, n=5)	1,04 ± 0,37 (35%, n=5)	0,32 ± 0,07 (23%, n=4)
GAM-96-12	1,75 ± 0,36 (20%, n=5)	0,32 ± 0,09 (27%, n=3)	0,23 ± 0,09 (40%, n=4)	2,84 ± 0,24 (9%, n=13)	0,019 ± 0,034 (176%, n=5)	1,35 ± 0,27 (20%, n=5)	0,40 ± 0,05 (13%, n=4)
GAM-96-28	1,18 ± 0,23 (19%, n=5)	0,25 ± 0,06 (23%, n=3)	0,20 ± 0,09 (45%, n=4)	1,73 ± 0,08 (4%, n=13)	0,008 ± 0,005 (64%, n=5)	0,78 ± 0,16 (21%, n=5)	0,35 ± 0,10 (28%, n=4)
KOM-96-02	1,75 ± 0,34 (20%, n=5)	0,26 ± 0,11 (41%, n=3)	0,24 ± 0,12 (50%, n=4)	3,37 ± 0,48 (14%, n=13)	0,015 ± 0,007 (49%, n=5)	1,00 ± 0,24 (24%, n=5)	0,46 ± 0,10 (23%, n=4)
KOM-96-06	1,55 ± 0,25 (16%, n=5)	0,24 ± 0,12 (53%, n=3)	0,20 ± 0,08 (40%, n=4)	2,23 ± 0,12 (5%, n=13)	0,011 ± 0,005 (43%, n=5)	1,12 ± 0,20 (18%, n=5)	0,42 ± 0,07 (17%, n=4)
KOM-96-11	3,32 ± 0,60 (18%, n=5)	0,45 ± 0,14 (31%, n=3)	0,46 ± 0,21 (46%, n=4)	4,87 ± 0,25 (5%, n=13)	0,026 ± 0,005 (20%, n=5)	2,41 ± 0,60 (25%, n=5)	0,94 ± 0,13 (14%, n=4)

Element	Hf	Ta	W	Pb	Bi	Th	U
KIZ-96-1/1	1,64 ± 0,32 (19%, n=5)	0,39 ± 0,16 (41%, n=3)	0,23 ± 0,13 (59%, n=4)	2,30 ± 0,13 (6%, n=13)	0,010 ± 0,007 (69%, n=5)	1,07 ± 0,30 (28%, n=5)	0,49 ± 0,10 (21%, n=4)
KIZ-96-24	1,95 ± 0,36 (18%, n=5)	0,47 ± 0,24 (50%, n=3)	0,27 ± 0,12 (43%, n=4)	2,90 ± 0,21 (7%, n=13)	0,019 ± 0,007 (38%, n=5)	1,67 ± 0,31 (19%, n=5)	0,82 ± 0,10 (13%, n=4)
KIZ-96-24/1	1,83 ± 0,33 (18%, n=5)	0,39 ± 0,18 (46%, n=3)	0,20 ± 0,07 (36%, n=4)	2,47 ± 0,17 (7%, n=13)	0,025 ± 0,005 (19%, n=5)	1,30 ± 0,20 (16%, n=5)	0,56 ± 0,11 (20%, n=4)
ESO-96-04	1,57 ± 0,31 (20%, n=5)	0,44 ± 0,17 (39%, n=3)	0,18 ± 0,05 (28%, n=4)	4,55 ± 0,34 (8%, n=13)	0,040 ± 0,006 (15%, n=5)	1,07 ± 0,17 (15%, n=5)	0,44 ± 0,11 (26%, n=4)
ESO-96-08	1,43 ± 0,27 (19%, n=5)	0,27 ± 0,15 (55%, n=3)	0,14 ± 0,03 (18%, n=4)	2,81 ± 0,24 (9%, n=13)	0,025 ± 0,008 (31%, n=5)	0,61 ± 0,13 (22%, n=5)	0,28 ± 0,08 (28%, n=4)
ACH-96-02	1,89 ± 0,42 (18%, n=5)	0,55 ± 0,31 (44%, n=3)	0,21 ± 0,12 (54%, n=4)	3,35 ± 0,26 (7%, n=13)	0,025 ± 0,009 (17%, n=5)	0,97 ± 0,31 (19%, n=5)	0,39 ± 0,12 (26%, n=4)
ACH-96-03	2,06 ± 0,42 (21%, n=5)	0,81 ± 0,31 (38%, n=3)	0,24 ± 0,12 (51%, n=4)	4,29 ± 0,26 (6%, n=13)	0,046 ± 0,009 (20%, n=5)	1,31 ± 0,31 (24%, n=5)	0,52 ± 0,12 (23%, n=4)
ICH-96-02	3,28 ± 0,64 (19%, n=5)	1,19 ± 0,36 (30%, n=3)	0,26 ± 0,11 (41%, n=4)	5,58 ± 0,28 (5%, n=13)	0,041 ± 0,007 (18%, n=5)	1,64 ± 0,43 (26%, n=5)	0,57 ± 0,18 (32%, n=4)
ICH-96-05	2,61 ± 0,51 (19%, n=5)	2,85 ± 0,63 (22%, n=3)	0,32 ± 0,12 (39%, n=4)	2,08 ± 0,12 (6%, n=13)	0,015 ± 0,006 (43%, n=5)	1,80 ± 0,41 (23%, n=5)	0,55 ± 0,3 (55%, n=4)
ICH-96-10	2,65 ± 0,50 (19%, n=5)	2,83 ± 0,65 (23%, n=3)	0,31 ± 0,12 (40%, n=4)	2,31 ± 0,14 (6%, n=13)	0,011 ± 0,005 (43%, n=5)	1,71 ± 0,4 (23%, n=5)	0,57 ± 0,16 (28%, n=4)
ICH-96-19	1,78 ± 0,34 (19%, n=5)	0,54 ± 0,19 (35%, n=3)	0,17 ± 0,04 (24%, n=4)	3,41 ± 0,26 (8%, n=13)	0,013 ± 0,006 (50%, n=5)	0,93 ± 0,21 (23%, n=5)	0,39 ± 0,24 (61%, n=4)
ICH-96-31	2,42 ± 0,55 (23%, n=5)	0,94 ± 0,3 (32%, n=3)	0,27 ± 0,12 (43%, n=4)	4,69 ± 0,26 (5%, n=13)	0,050 ± 0,007 (14%, n=5)	1,69 ± 0,34 (20%, n=5)	0,61 ± 0,27 (44%, n=4)
LLD	0,13	0,06	0,12	0,14	0,04	0,38	0,34
LOD	0,21	0,10	0,19	0,22	0,06	0,62	0,54
LOQ	0,32	0,14	0,28	0,32	0,09	0,94	0,79

Die so bestimmten Analysewerte können petrogenetisch interpretiert werden.

6. Diskussion

6.1 Grundlagen und Untersuchungsansatz

An den mittelozeanischen Rücken wird das Material, das später subduziert wird, gebildet. Auf dem Weg von den Rücken bis zur Subduktionszone kommt es dabei zu einer Alteration des MORB. Die Funktionsmechanismen der Alteration und die Auswirkungen dieser Alteration bezüglich der Konzentration chalkophiler Elemente wurden u.a. von Jochum et al. (1996) und Peucker-Ehrenbrink et al. (1994) untersucht. Dabei sind die in diesen Arbeiten beschriebenen Mechanismen unterschiedlich. Jochum et al. gehen davon aus, daß die abgelagerten pelagischen Sedimente verschiedene Elemente mit dem in den Poren befindlichen Meerwasser austauschen, wobei es je nach Element zu einer mehr oder minder starken Anreicherung des Elementes im Meerwasser kommt. Dieses aufkonzentrierte Porenwasser bewirkt an der Grenze von Sediment zu MORB die Alteration des MORBs. Ein anderen Mechanismus der MORB-Alteration wird in der Publikation von Peucker-Ehrenbrink et al. beschrieben. Die Autoren dieser Arbeit halten eine Alteration der neugebildeten ozeanischen Kruste durch hydrothermale Konvektionszellen am MOR, die eine Mineralisation von Sulfiden bewirkt, und die Ablage metallhaltiger Sedimente auf der neuen ozeanischen Kruste durch ‚black smokers‘ für den wahrscheinlichsten Mechanismus der MORB-Alteration. Bei beiden Mechanismen kommt es zu einer Anreicherung chalkophiler Elemente im MORB. Ein Teil der Sedimente der ozeanischen Kruste wird bei der Subduktion im Fore-Arc-Bereich von der Platte ‚abgeschabt‘, wodurch sich ein Akkretionskeil ausbildet, der andere Teil wird mitsubduziert. Die meisten Akkretionskeile bestehen aus mehreren Komponenten: Sedimenten (terrige Sedimente vom nahe gelegenen Inselbogen oder kontinentalen Landmassen und pelagische Sedimente) und geringen Mengen basaltischer und ultramafischer Gesteine (Peacock 1990). Meist ist nicht bekannt, wie hoch der Anteil der Akkretion bzw. der Subduktion von Sedimenten ist.

Bei der Subduktion der Platte, kommt es aufgrund steigender Temperaturen und Drücke zu einer prograden Metamorphose des magmatogenen Anteils, über die Ausbildung einer Amphibolitfazies bis hin zur Eklogitfazies (Wilson 1989). Bei der Metamorphose werden wasserhaltige Minerale dehydriert. Es kommt zur Freisetzung eines wäßrigen Fluides. Die Migration eines so entstandenen Fluides in den Mantelkeil kann (1) einen signifikanten Transport von Wärme bewirken, (2) retrograde Hydrationsreaktionen verursachen, (3) verschiedene gelöste Elemente transportieren, (4) eine Veränderung der rheologischen

Eigenschaften des Mantelkeils bewirken und (5) durch Herabsetzen der Solidus-Temperatur das Aufschmelzen von Mantelmaterial fördern (Peacock 1987).

Als mögliche Hauptquellen für den Inselbogenvulkanismus kommen verschiedene in Betracht: (1) Amphibolit, (2) Eklogit, (3) Lherzolith und (4) „alterierter“ Lherzolith (Wilson 1989). Aufgrund der thermischen Struktur einer Subduktionszone kann die subduzierte Platte (und die subduzierten Sedimente) nur unter besonderen Bedingungen aufschmelzen (Peacock et al. 1994), so daß die Quellen (1) und (2) im Normalfall ausscheiden. In vielen Publikationen sind sich die Autoren darin einig, daß die Ausbildung von partiellen Schmelzen von Lherzolith bzw. Peridotit, durch das Eindringen eines Fluides in den Mantelkeil „katalysiert“, die wichtigste Quelle für den Inselbogenvulkanismus ist (Anderson et al. 1978, 1980, Peacock 1993, Moran et al. 1992, Wilson 1989).

Noll et al. (1996) gehen ebenfalls davon aus, daß das partielle Schmelzen des Mantelkeils, gefördert durch Fluideintrag, die wichtigste Quelle für den Inselbogenvulkanismus ist. Die von ihnen beobachteten chemischen Variationen der chalkophilen Elemente führen sie darauf zurück, daß die Fluide verschiedene Elemente der subduzierten Platte mobilisieren (z.B. B, As, Sb und Pb) und eine Anreicherung dieser Elemente im Mantelkeil bewirken. Die Menge der Fluide nimmt mit zunehmender Tiefe der subduzierten Platte ab, so daß zum Back-Arc hin auch die Anreicherung der Quelle mit den fluidmobilen Elementen abnimmt. Dadurch kommt es zu einer chemischen Variation der fluidmobilen Elemente (FME) innerhalb eines Inselbogens. Ryan et al. (1995) stellten bei Untersuchungen verschiedener Traversen über die Kurilen eine Korrelation von verschiedenen FME (B, As, Sb, Cs) mit der Tiefe der Benioff-Zone fest. Dies ist gleichbedeutend einer Zonierung der FME vom Fore-Arc (FA) zum Back-Arc (BA), da die Tiefe der Benioff-Zone mit der Entfernung vom Trench zunimmt. Leeman (1996) untersuchte verschiedene Arc-Laven hinsichtlich ihres Gehaltes von As, Sb, Pb und B. Er stellte fest, daß die beobachteten Anreicherungen dieser Elemente, die alle in wässrigen Medien gut löslich sind, nicht von normalen MORB- und OIB-Quellen stammen können. Er favorisiert ebenfalls einen selektiven Fluidtransport dieser Elemente in die Quellregion der Laven.

Mit Hilfe der chalkophilen Elemente scheint es möglich, die Anteile von MORB, alteriertem MORB und Sediment in der Quelle der Magmen zu quantifizieren, bzw. deren Vorhandensein zu identifizieren. Daneben kann in Kamchatka als weitere Komponente eine OIB-Komponente in Frage zu kommen, da hier die Emporer Seamount-Kette subduziert wird (Moran et al. 1992).

Es werden in dieser Arbeit die fluidmobilen chalkophilen Elemente As, Sb und Pb sowie weitere chalkophile Elemente (Sn, Cd, Bi und Mo) analysiert und in den folgenden Kapiteln im Hinblick auf Stofftransport in Fluiden an Subduktionszonen in der Quelle diskutiert.

Die Konzentrationen inkompatibler Elemente werden weiterhin durch Prozesse der Aufschmelzung und späteren Differentiation modifiziert. Die relativ geringe Variation von SiO₂ (für die untersuchten Proben meist zwischen 47 und 55 Gew.-% SiO₂, eine Probe mit 61,5 Gew.-% SiO₂) bedingt jedoch, daß Differentiationsprozesse untergeordnet sind und die absoluten Konzentrationen nur geringfügig beeinflussen. Außerdem basiert die Interpretation der Daten fast ausschließlich auf Elementverhältnissen, wodurch die geochemischen Effekte von Differentiation und Aufschmelzen minimiert werden.

6.2 fluidmobile chalkophile Elemente

Den Elementen Antimon, Arsen und Blei ist gemeinsam, daß sie beim Aufschmelzen normalen Mantelmaterials einer den leichten Seltenerdelementen (LREE) vergleichbare Inkompatibilität aufweisen. Dies ist wichtig, da Elemente gleicher bzw. sehr ähnlicher Inkompatibilität gleiche bzw. sehr ähnliche Gesamtverteilungskoeffizienten aufweisen. Das hat zur Folge, daß sich das Verhältnis dieser Elemente bei fraktionierter Kristallisation und beim ‚batch partial melting‘ gar nicht oder nur sehr wenig ändert (Rollinson 1993). Die Änderung des Verhältnisses zweier Elemente mit vergleichbarer Inkompatibilität muß daher auf andere Prozesse wie z.B. Fluidanreicherung zurückgeführt werden.

Jochum et al. (1997) ermittelten für Sb eine dem Pr vergleichbare Inkompatibilität, ist also etwas kompatibler als Ce. Pb besitzt eine dem Ce vergleichbare Inkompatibilität ebenso wie das As nach der Arbeit von Leeman (1996) eine dem Ce vergleichbare Inkompatibilität aufweisen sollte.

Das Sb/Ce-, Pb/Ce- oder As/Ce-Verhältnis sollte sich also bei normalem Mantelschmelzen mit steigender Ce-Konzentration nur wenig ändern. Änderungen des Sb/Ce-, Pb/Ce- oder As/Ce-Verhältnisses unabhängig von der Ce-Konzentration deuten daher auf andere Prozesse als auf das partielle Schmelzen von Mantelmaterial.

6.2.1 Antimon (Sb)

Noll et al (1995) untersuchten erstmals verschiedene Inselbogenvulkanite verschiedener Lokalitäten. Dabei wurden untersucht: Kurilen, Kamchatka, Japan, Aleuten, Kaskaden,

Zentralamerika und Chile. Die Ergebnisse dieser Untersuchung liefern erstmals einen größeren Datensatz von Gehalten der Elemente As, Sb, Sn, W, Mo und Tl. Jochum et al. (1997) bestimmten die Inkompatibilität des Sb durch Analyse verschiedener MORB- und OIB-Proben und stellten fest, daß das Sb eine dem Pr bzw. Ce vergleichbare Inkompatibilität aufweist. In einer Auftragung von Sb gegen Ce, sollte sich die Konzentration des Sb in Abhängigkeit der Ce-Konzentration verändern. In Abbildung 6.1 ist die Konzentration des Sb gegen die des Ce aufgetragen. Gut zu erkennen ist die Korrelation der Sb-Konzentration mit der Ce-Konzentration für die MORB und OIB-Proben. Die Konzentration der Reservoir Depleted Mantle (DM), Bulk Silicate Earth (BSE) und MORB (GERM 1998) bilden zusammen mit den MORB- und OIB-Proben den „Mantel-Array“, ein Feld, das das Mantelschmelzsystem repräsentiert. Ausgehend von einer BSE-Zusammensetzung werden Sb und Ce in MORBs und OIBs angereichert, das Residuum (DM) ist daher an diesen Elementen verarmt.

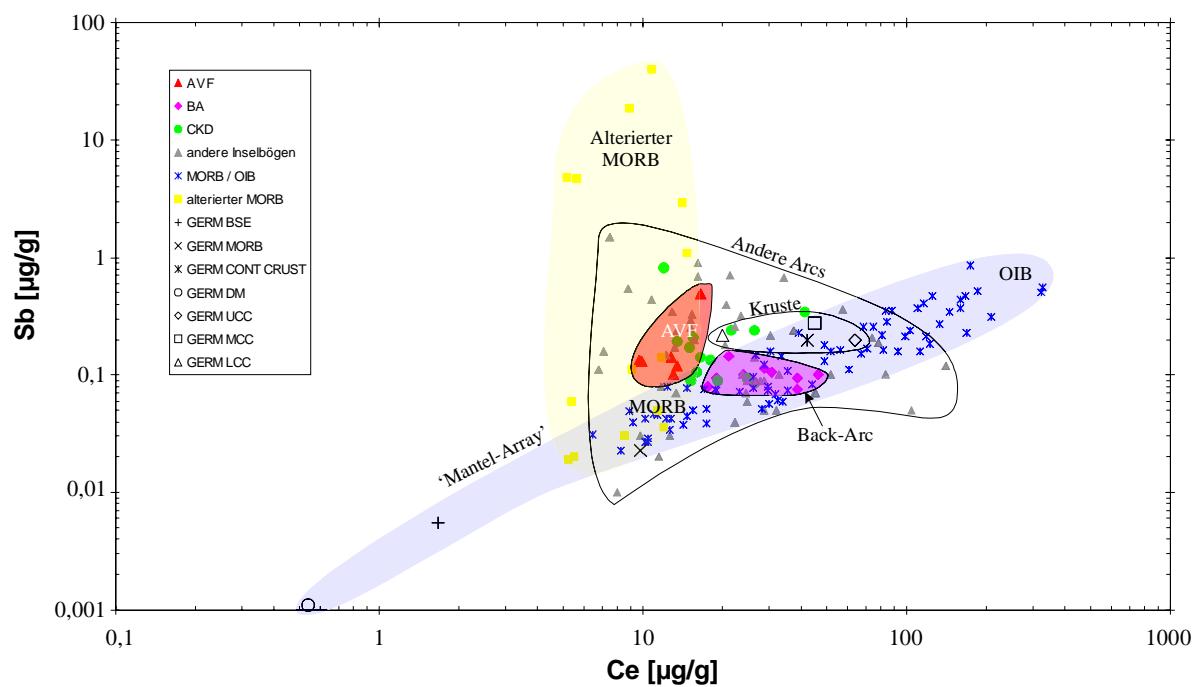


Abb. 6.1: Auftragung Sb gegen Ce. Es ist zu erkennen, daß viele Inselbogenvulkanite und alterierter MORB vom „Mantel-Array“, gebildet durch DM, BSE, MORB und OIB, abweichen. Eine Erklärung für die Abweichung der Inselbogenvulkanite ist die fluidbedingte Anreicherung von Sb in der Mantelquelle. Die Proben von Kamchatka zeigen neben einer Abweichung vom Mantel-Array eine Feinstruktur des Inselbogens: die Proben des Back-Arc liegen im Mantel-Array, die Sb-Anreicherung fehlt, die Proben der AVF liegen außerhalb des Mantel-Arrays. Die Proben der CKD liegen ebenfalls zum großen Teil außerhalb des Mantel-Arrays, aber gegenüber den Proben der AVF zu höheren Ce-Gehalten verschoben. Reservoir (GERM 1998): UCC = Upper Continental Crust, MCC = Middle Continental Crust, LCC = Lower Continental Crust, DM = Depleted Mantle, BSE = Bulk Silicate Earth, MORB, Cont Crust = Bulk Continental Crust)

Abweichend vom „Mantel-Array“ sind die Sb- und Ce-Konzentrationen von alteriertem MORB und verschiedenen Inselbogenvulkaniten. Der alterierte MORB zeichnet sich durch

eine starke Anreicherung des Sb bei gleichzeitig geringer oder fehlender Erhöhung des Ce-Gehaltes aus (Jochum et al. 1995). Die ebenfalls in dieses Diagramm eingetragenen ‚anderen Inselbögen‘ (Noll et al. 1996) zeigen Variationen des Sb-Gehaltes, die nicht mit den Ce-Konzentrationen korrelieren. Neben Proben, die außerhalb des ‚Mantel-Arrays‘ zu höheren Sb-Konzentrationen und Proben die im Vergleich zum Mantel-Array zu niedrigeren Sb-Konzentrationen verschoben sind, gibt es viele Proben, die im Mantel-Array plotten. Die Proben von Kamchatka liegen im Feld der ‚anderen Inselbögen‘. Die Abweichungen der Inselbogenvulkanite vom ‚Mantel-Array‘ kann auf mögliche Prozesse wie z.B. eine selektive Fluidanreicherung der Mantelquelle im Sb zurückgeführt werden. Es zeichnet sich eine Feinstruktur der Traverse über Kamchatka ab. Die Proben der AVF (Active Volcanic Front) zeigen eine Anreicherung des Sb gegenüber dem Mantelarray. Einige Proben der CKD (Central Kamchatka Depression) zeigen ebenfalls erhöhte Sb-Gehalte, während die Proben des BA (Backarc) im Mantelarray liegen. Eine fluidbedingte Anreicherung des Sb ist hier nicht mehr zu erkennen. Bei den Proben der CKD fällt ebenfalls auf, daß zwei Proben, die außerhalb des Mantelfeldes liegen, höhere Ce-Konzentrationen als die anderen Proben der CKD aufweisen. Die Verschiebung zu höheren Ce-Konzentrationen könnte möglicherweise auf den Einfluß einer Quelle mit OIB-Charakteristiken (hohes Ce) deuten.

Eine andere Möglichkeit, das Sb/Ce-Verhältnis zu ändern, und dadurch auch eine chemische Variation über den Inselbogen zu erreichen, besteht in der Fraktionierung durch Sulfide. Bei der Fraktionierung durch Sulfide sollte das Sb/Ce-Verhältnis kleiner werden, da das Ce nicht in Sulfidmineralen eingebaut wird. Um eine solche mögliche Sulfidfraktionierung erkennen zu können, wurde in Abb. 6.2 das Sb/Ce-Verhältnis gegen die Magnesiumzahl ($Mg\#$) aufgetragen.

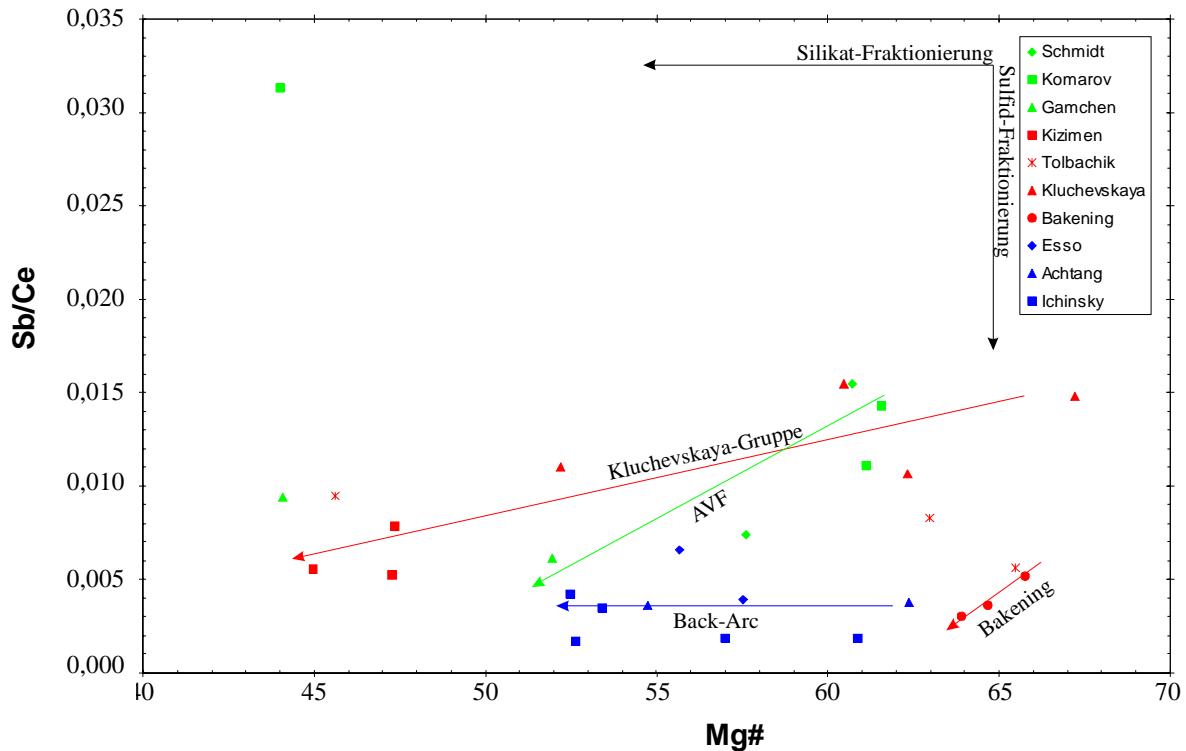


Abb. 6.2: Sb/Ce gegen Mg#. Eine Silikat-Faktionierung hat keinen Einfluß auf das Sb/Ce-Verhältnis, während hingegen Sulfid-Faktionierung das Sb/Ce-Verhältnis bei gleichbleibender Mg# erniedrigen sollte. Eingetragen sind Tendenzen für die Proben aus Kamchatka. Es zeigt sich, daß für die AVF Sulfid-Faktionierung eine Rolle spielen könnte, der Einfluß möglicher Sulfidfraktionierung wird zum Back-Arc hin geringer, Auffällig sind auch die Proben des Bakening, die ein Sb/Ce-Verhältnis wie die Proben des BA aufweisen aber einen ähnlich großen Einfluß möglicher Sulfid-Faktionierung wie die Proben der AVF aufweisen. Aufgrund der geringen Datenbasis sind aber keine sicheren Aussagen über den Einfluß von Sulfidfraktionierung zu machen.

Wie in Abbildung 6.2 zu erkennen ist der Einfluß möglicher Sulfidfraktionierung eher gering, wobei der Einfluß von der AVF zum BA hin abnimmt. Die eingetragenen Linien sind lediglich als Tendenz anzusehen, für ‚echte‘ Trends reicht die Datenbasis nicht aus. Die Proben des Bakening nehmen hier eine besondere Stellung ein, da sie Sb/Ce-Verhältnisse ähnlich dem Back-Arc zeigen, die Tendenz der Proben aber ähnlich der Tendenz der AVF-Proben ist. Auffällig sind auch die Proben KOM-96-11 und 2310 (nicht dargestellt, Sb/Ce=0,069, Mg#=57,1), die ein sehr hohes Sb/Ce-Verhältnis aufweisen. Die sehr hoch Sb-konzentrierte Probe 2310 wird als Ausreißer angesehen.

Eine andere Möglichkeit Sulfid-Faktionierung zu erkennen besteht darin, das Sb/Ce-Verhältnis gegen Ni, Co und Cr aufzutragen. Diese drei Elemente werden sowohl durch eine Silikat- als auch durch eine Sulfidfraktionierung beeinflußt, da sie sowohl zu den lithophilen als auch den chalcophilen Elementen gehören. Handelt es sich um Sulfid-Faktionierung, so sollte das Sb/Ce-Verhältnis als auch die Konzentration von Ni, Co und Cr abnehmen. Bei reiner Silikat-Faktionierung bleibt das Sb/Ce-Verhältnis unbeeinflußt, während die

Konzentration von Ni, Co oder Cr geringer wird. In Abbildung 6.3 ist das Sb/Ce-Verhältnis gegen (a) Ni, (b) Co und (c) Cr aufgetragen.

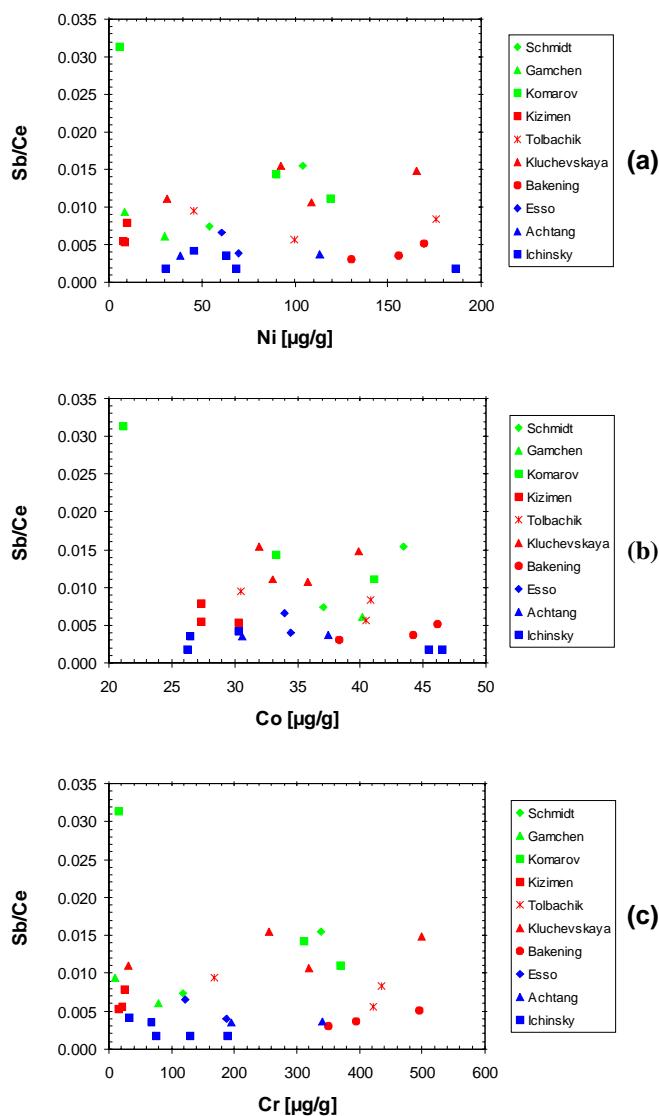


Abb. 6.3: Auftragung Sb/Ce gegen (a) Ni, (b) Co und (c) Cr. Da die Daten sehr streuen und die Datenbasis nicht genügend groß ist, lassen sich keine eindeutigen Tendenzen eintragen.

Die Auftragung von Sb/Ce gegen Ni, Co und Cr lassen aufgrund der geringen Datenbasis und der starken nicht korrelierenden Streuung der Daten keine endgültige Klärung der Frage der möglichen Sulfidfraktionierung zu. Sulfidfraktionierung scheint aber, wenn überhaupt, nur eine geringe Rolle zu spielen.

Erste Rückschlüsse über die Quelle der Fluide kann eine Auftragung des Sb/Ce-Verhältnisses gegen das Ba/Th-Verhältnis erlauben. Das Ba/Th-Verhältnis reagiert ähnlich dem Ba/La-Verhältnis auf Einflüsse von Fluiden. Ba ist ein fluidmobiles Element, während Th nicht (oder wenig) fluidmobil ist. Daher sollten Fluide eine Erhöhung des Ba/Th-Verhältnisses in der Mantelquelle bewirken.

Dabei gibt es vier mögliche Endglieder: unalterierter MORB, alterierter MORB, Sedimente und Mantelkeil. Aufgrund des Fehlens von Sb-Konzentrationen in Sedimenten ist es nicht möglich, anhand der folgenden Abbildung eine eindeutige Aussage zu machen.

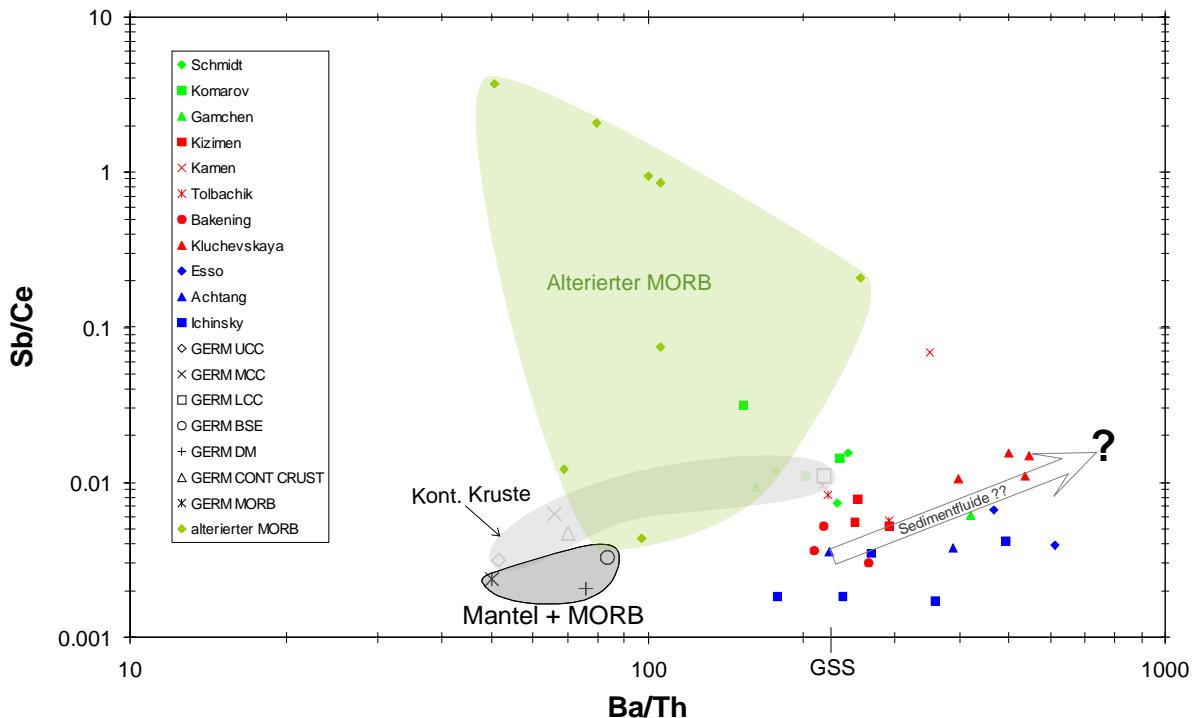


Abb. 6.4: Auftragung von Sb/Ce gegen Ba/Th. Es ist zu erkennen, daß die Kamchatka-Proben bei hohen Ba/Th-Werten liegen, während das Sb/Ce ähnlich dem Mantel+MORB-Feld ist. Das Ba/Th-Verhältnis der Proben ist auch höher als das des Global Subducted Sediment (GSS). Die Sb/Ce- und Ba/Th-Verhältnisse ändern sich unabhängig voneinander. Den Trend, den mögliche Sedimentfluide hervorrufen könnten, ist als großer Pfeil eingetragen. Reservoir (GERM 1998): UCC = Upper Continental Crust, MCC = Middle Continental Crust, LCC = Lower Continental Crust, DM = Depleted Mantle, BSE = Bulk Silicate Earth, MORB, Cont Crust = Bulk Continental Crust)

Abbildung 6.4 zeigt, daß sich das Sb/Ce-Verhältnis beinahe unabhängig vom Ba/Th-Verhältnis verhält. Auffällig ist, daß das Ba/Th-Verhältnis der Proben höher als das des alterierten MORBs als auch höher als des Global Subducted Sediments (GSS) ist. Der Ba/Th-Wert des GSS ist aber ebenfalls nicht sehr aussagekräftig, da er als mögliches Endglied für Mischung von Komponenten nicht herangezogen werden kann. Mögliche Endglieder sind daher nur Mantel+MORB und alterierter MORB. Gesichert ist nur, daß sowohl das Sb/Ce- als auch das Ba/Th-Verhältnis höher als die Mantelwerte liegen.

Die Auftragung des Sb/Ce-Verhältnisses gegen das La/Yb-Verhältnis, als Maß einer Granat-Fraktionierung, (Abb. 6.5) zeigt ebenfalls einen deutlichen Unterschied zwischen AVF (Active Volcanic Front), CKD (Central Kamchatka Depression) und BA (Back-Arc). Eine Besonderheit stellen die Proben vom Bakening dar. Dieser Vulkan gehört nicht zur Kluchevskaya-Gruppe und liegt weiter südlich. Die Proben plotten in diesem Diagramm im

BA-Feld. Die Fraktionierung der SEE, ausgedrückt durch das La/Yb-Verhältnis, wird im BA bei gleichzeitig sinkendem Sb/Ce-Verhältnis größer. Dies zeigt, daß Granat-Fraktionierung in der Quelle mit zunehmender Entfernung zum Trench an Bedeutung zunimmt während der Eintrag von Sb durch Fluide abnimmt.

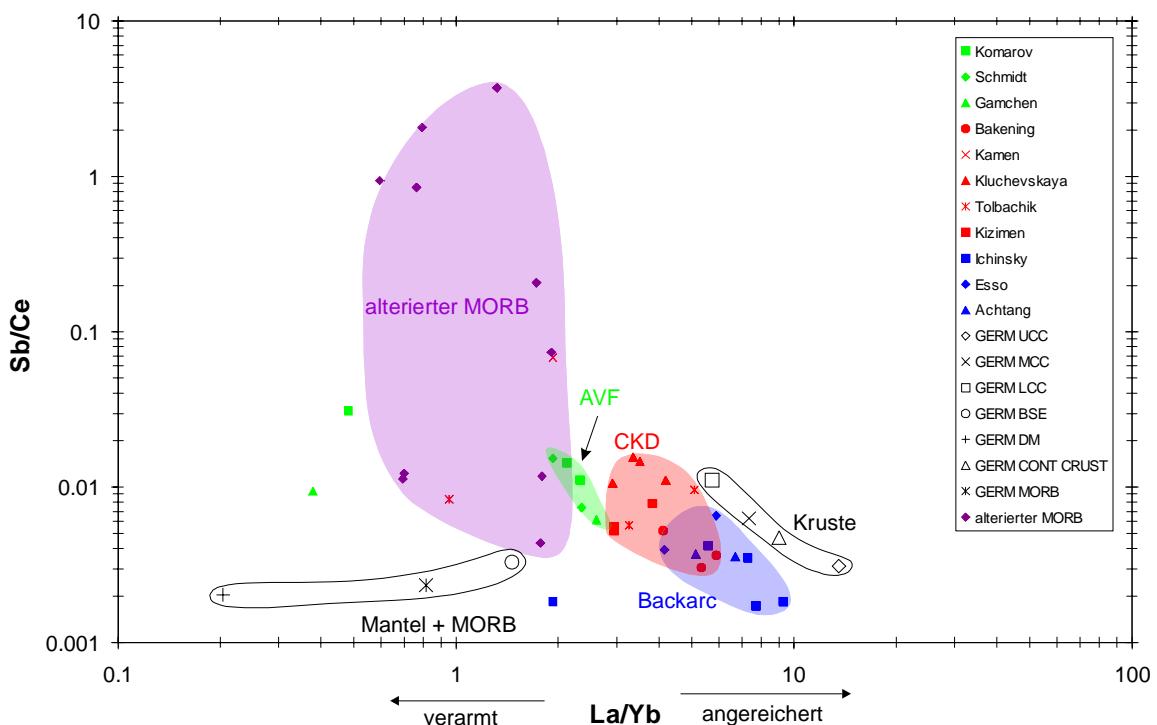


Abb. 6.5: Sb/Ce gegen La/Yb. Deutlich sind die Unterschiede zwischen AVF, CKD und BA zu erkennen. Granat-Fraktionierung in der Quelle nimmt mit zunehmender Entfernung zum Trench zu, während der Eintrag von Sb durch Fluide abnimmt. Die ‚Ausreißer‘ sind vermutlich analytisch bedingt. Reservoir (GERM 1998): UCC = Upper Continental Crust, MCC = Middle Continental Crust, LCC = Lower Continental Crust, DM = Depleted Mantle, BSE = Bulk Silicate Earth, MORB, Cont Crust = Bulk Continental Crust)

Auch in Abbildung 6.6 in der das Sb/Ce-Verhältnis gegen das Zr/Nb-Verhältnis aufgetragen ist, nehmen die Proben des Bakening eine Sonderrolle ein. Wie man in der Abbildung erkennt, kann man die untersuchten Proben in zwei Gruppen unterteilen. Die erste Gruppe sind die Proben der AVF und Kluchevskaya-Gruppe, die andere Gruppe wird von Proben des BA und Bakening gebildet. Das Zr/Nb-Verhältnis kann als Maß der Verarmung der Quelle herangezogen werden (Hofmann 1988). Es ist zu erkennen, daß je verarmter eine Probe bezüglich der Quelle ist, die Anreicherung der FME um so größer ist. Wenn dem an inkompatiblen Elementen stärker verarmten Reservoir angereicherte Fluide zugeführt werden, so sind starke geochemische Effekte die Folge. Das verarmte Reservoir ‚übernimmt‘ die Konzentrationen der im Fluid angereicherten Elemente.

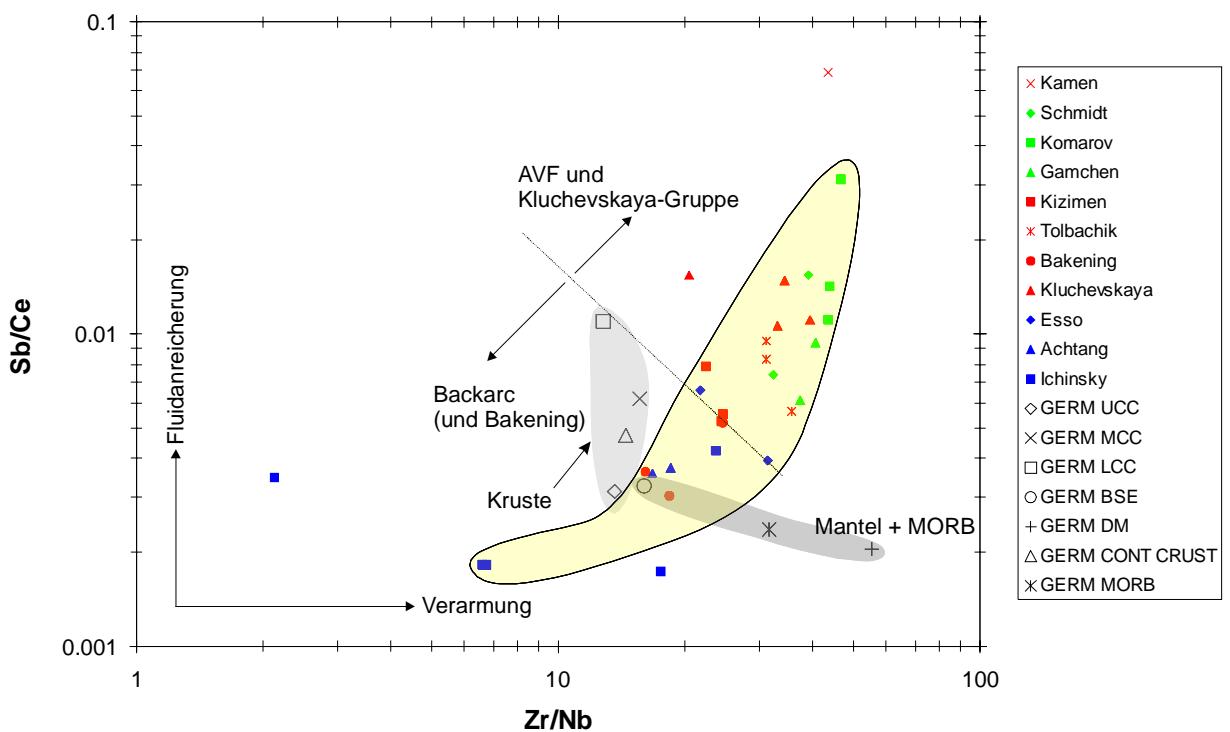


Abb. 6.6: Sb/Ce gegen Zr/Nb. Es zeigt sich, daß mit zunehmender Verarmung der Quelle (höheres Zr/Nb) auch die fluidbedingte Anreicherung des Sb/Ce-Verhältnisses zunimmt. Auch hier gibt es wieder Proben, die durch Analysefehler als „Ausreißer“ erscheinen. Reservoirs (GERM 1998): UCC = Upper Continental Crust, MCC = Middle Continental Crust, LCC = Lower Continental Crust, DM = Depleted Mantle, BSE = Bulk Silicate Earth, MORB, Cont Crust = Bulk Continental Crust)

Die Auftragung des Sb/Ce-Verhältnisses gegen das Ta/Nd-Verhältnis (Abb. 6.7) dient dazu, einen Beitrag möglicher Sedimentschmelzen zu identifizieren. Ein Beitrag von Sedimentschmelzen sollte eine Erhöhung Ta/Nd-Verhältnisse bewirken. Ein Einfluß von Sedimentschmelzen läßt sich bei den Proben aus Kamchatka nicht feststellen. Es sind aber auch, wie schon bei der Auftragung von Sb/Ce gegen Zr/Nb, zwei unterschiedliche Gruppen bei den Proben zu unterscheiden (AVF + Kluchevskaya-Gruppe und BA + Bakening).

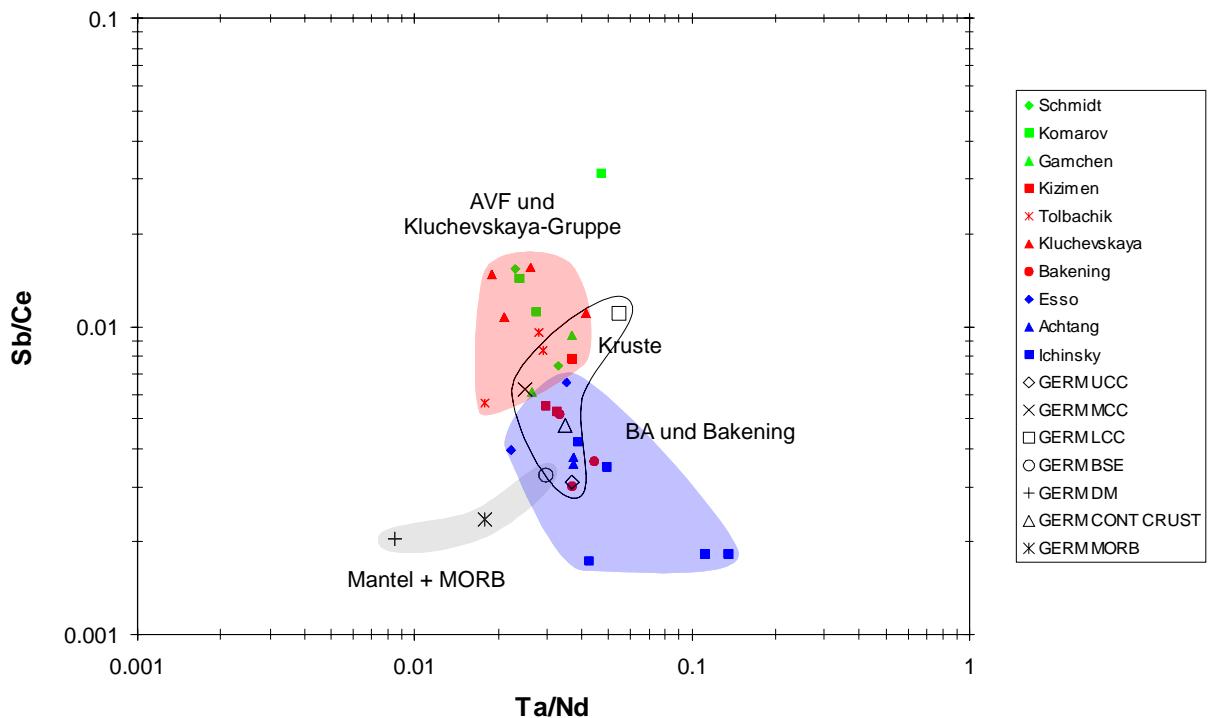


Abb. 6.7: Sb/Ce gegen Ta/Nd. Es sind zwei Gruppen bei den Proben zu erkennen (AVF + Kluchevskaya-Gruppe und BA + Bakening). Einen Beitrag möglicher Sedimentschmelze (hohes Ta/Nd) ist für keine der beiden Gruppe anzunehmen. Reservoir (GERM 1998): UCC = Upper Continental Crust, MCC = Middle Continental Crust, LCC = Lower Continental Crust, DM = Depleted Mantle, BSE = Bulk Silicate Earth, MORB, Cont Crust = Bulk Continental Crust)

6.2.2 Arsen (As)

As zählt wie Sb, Pb und B zu den fluidmobilen, chalkophilen Elementen und besitzt eine „bimodale Kompatibilität“ (Hofmann 1988, Noll et al. 1996)). Die bimodale Kompatibilität hat zur Folge, daß das As/Ce-Verhältnis in MORBs und OIBs ungefähr gleich ist, während es in der kontinentalen Kruste und den Inselbogenvulkaniten angereichert ist. Während magmatischer Prozesse ohne die Anwesenheit einer sulfidischen oder einer fluiden Phase verhält sich As wie ein normales inkompatibles Element.

Die As-Bestimmungen können unter Berücksichtigung der Meßfehler (größer als die Meßfehler für Sb) für die Identifikation von Fluiden und fluidbedingter Anreicherung der Quelle der Vulkanite herangezogen werden. Dabei ist ebenfalls eine mögliche Sulfidfraktionierung zu berücksichtigen. Daher ist in Abbildung 6.8 das As/Ce-Verhältnis gegen die Magnesiumzahl aufgetragen.

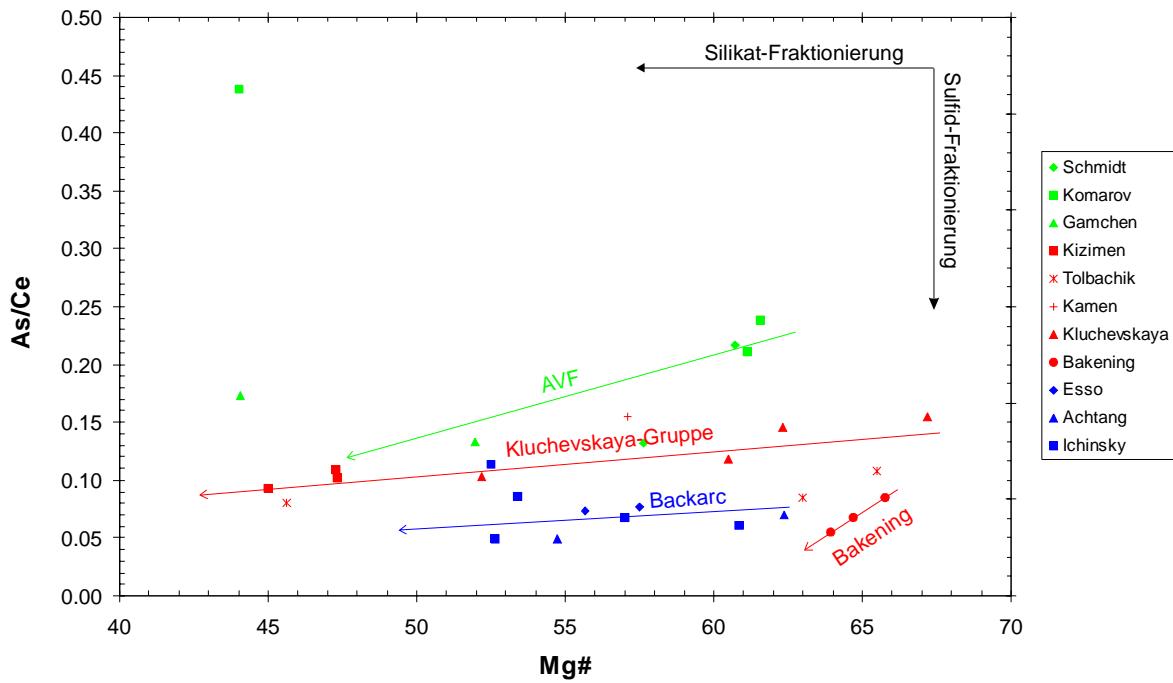


Abb. 6.8: As/Ce gegen Mg#. Ähnlich der Auftragung von Sb/Ce gegen Mg# lassen sich verschiedene Tendenzen erkennen. Hier ist jedoch eine Sulfidfraktionierung eher auszuschließen. Es lassen sich vier verschiedene Gruppen unterscheiden: AVF, Kluchevskaya-Gruppe, Backarc und Bakening. Die Proben des Bakening, die aufgrund der Entfernung zum Trench zu den Proben der CKD(Central Kamchatka Depression) gehören, weisen As/Ce-Verhältnisse auf, die eher für eine Zugehörigkeit zum Back-Arc sprechen.

Auch hier zeigt sich ähnlich wie bei der Auftragung des Sb/Ce-Verhältnisses gegen Mg#, daß sich das As/Ce-Verhältnis bei der Differentiation der Magmen nur wenig ändert. Sulfidfraktionierung ist hier jedoch eher auszuschließen. Für die eingetragenen Trendlinien gelten aufgrund der kleinen Datenbasis die gleichen Einschränkungen wie sie für Abbildung 6.2 gemacht wurden.

In Abbildung 6.8 ist schon eine unterschiedlich starke Erhöhung des As/Ce-Verhältnisses von AVF, Kluchevskaya-Gruppe, Back-Arc und Bakening zu erkennen. Bei der Auftragung des As/Ce-Verhältnisses gegen die As-Konzentration lassen sich diese geochemischen Variationen ebenfalls sehr gut erkennen. Eine fluidbedingte Anreicherung des As ist bei der AVF am stärksten ausgeprägt und nimmt in Richtung BA ab. Im Backarc-Bereich unterscheidet sich As/Ce nur noch wenig vom As/Ce des Mantel + MORB-Feldes. Der eingetragene Kamchatka-Trend soll hier den Trend der abnehmenden Fluidanreicherung des As von der AVF zum BA sichtbar machen. Besonders merkwürdig ist, daß die Daten, die von anderen Inselbögen (Noll et al. 1995) stammen, sowohl oberhalb als auch unterhalb des Mantelwertes für As/Ce liegen.

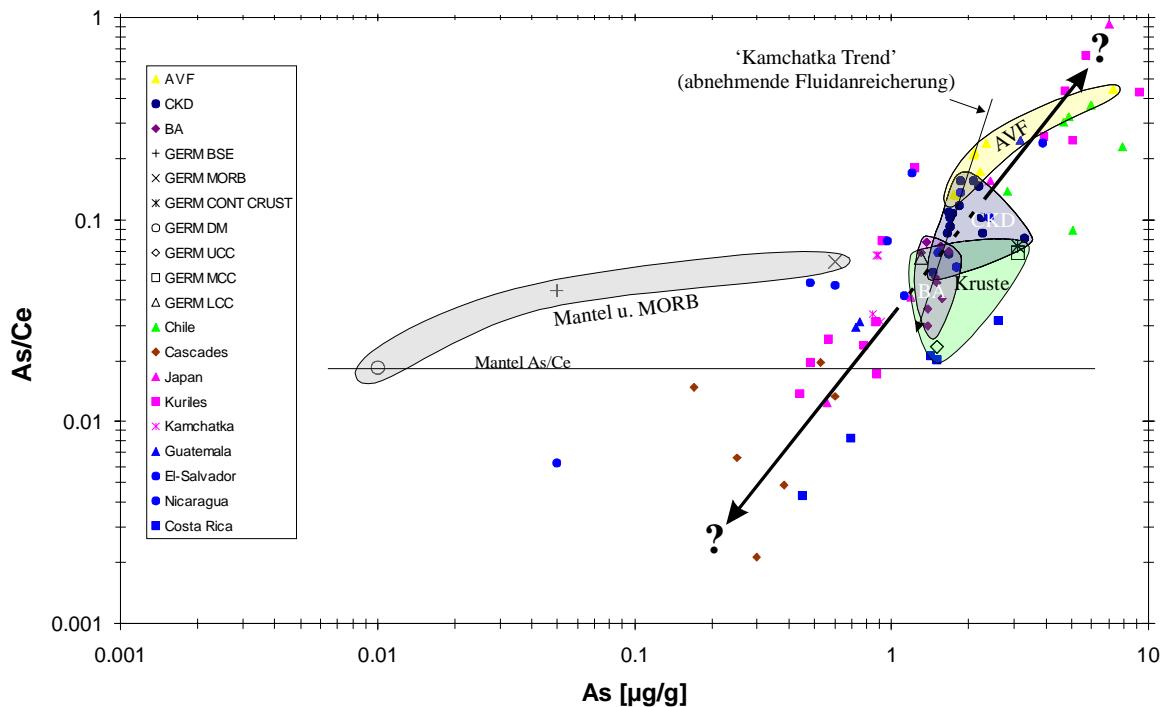


Abb. 6.9: As/Ce gegen As. Hier ist die abnehmende Fluidanreicherung des As von der Active Volcanic Front (AVF) über die Central Kamchatka Depression (CKD) bis hin zum Back-Arc (BA) zu erkennen („Kamchatka Trend“). Neben den Proben aus Kamchatka sind die Daten weiterer Inselbögen (Noll et al. 1996) eingetragen. Auffällig ist dabei, daß die anderen Inselbögen ebenfalls As/Ce-Verhältnisse aufweisen, die kleiner sind als das As/Ce-Verhältnis des Depleted Mantle (DM). Die Ursache hierfür könnte eine stärkere Anreicherung im Ce sein, da der As-Gehalt dieser Proben nicht kleiner als der vom DM ist. Reservoir (GERM 1998): UCC = Upper Continental Crust, MCC = Middle Continental Crust, LCC = Lower Continental Crust, DM = Depleted Mantle, BSE = Bulk Silicate Earth, MORB, Cont Crust = Bulk Continental Crust)

Die Ursache für As/Ce-Verhältnisse kleiner als das As/Ce-Verhältnis von Depleted Mantle (DM) kann eine stärkere Anreicherung des Ce in den betreffenden Proben sein. Noll et al. (1996) haben festgestellt, daß die Konzentration der fluidmobilen, chalkophilen Elemente mit der Entfernung zum Trench abnimmt, während gleichzeitig die Konzentrationen der leichten Seltenerdelemente (LREE) zunehmen. Dies ist auch in Kamchatka der Fall (Abb. 6.10).

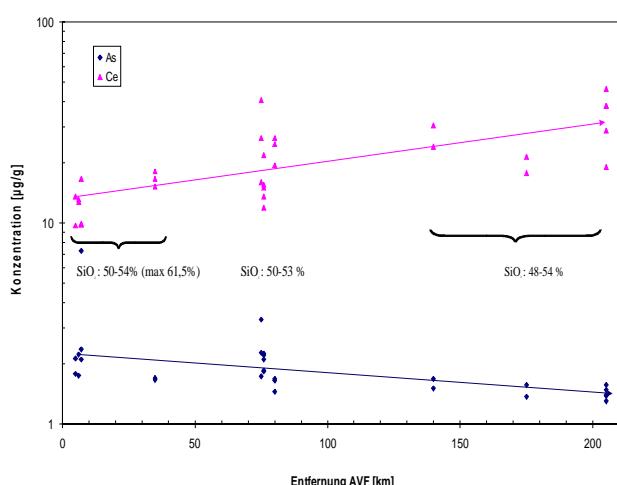


Abb. 6.10: As- und Ce-Konzentration aufgetragen gegen die Entfernung zur AVF. Die As-Konzentration nimmt mit zunehmender Entfernung vom Trench ab, die Ce-Konzentrationen steigen. Der Anstieg des Ce ist nicht Folge einer Differentiation, wie die SiO₂-Konzentrationen zeigen. Die SiO₂-Konzentrationen bleiben beinahe konstant über den Inselbogen.

Die Folge dieser gegenläufigen Entwicklung ist, daß sich das As/Ce-Verhältnis bei geringen Änderungen des As-Gehaltes sehr viel stärker ändert. Sind die geringen As/Ce-Verhältnisse tatsächlich auf eine starke Ce-Anreicherung zurückzuführen, so sollte sich für eine Auftragung des Sb/Ce-Verhältnisse gegen die Sb-Konzentration ein ähnliches Bild wie in Abbildung 6.9 ergeben.

In Abbildung 6.11 ist das Sb/Ce-Verhältnis gegen die Sb-Konzentration aufgetragen. Auch hier plotten verschiedene Proben anderer Inselbögen unter dem Sb/Ce-Verhältnis der ‚Mantel-Arrays‘ (DM + MORB + OIB). Die Sb-Konzentrationen der betreffenden Proben liegen aber über den entsprechenden Mantelwerten. Dies ist im Falle einer stärkeren Ce-Anreicherung in diesen Proben auch zu erwarten.

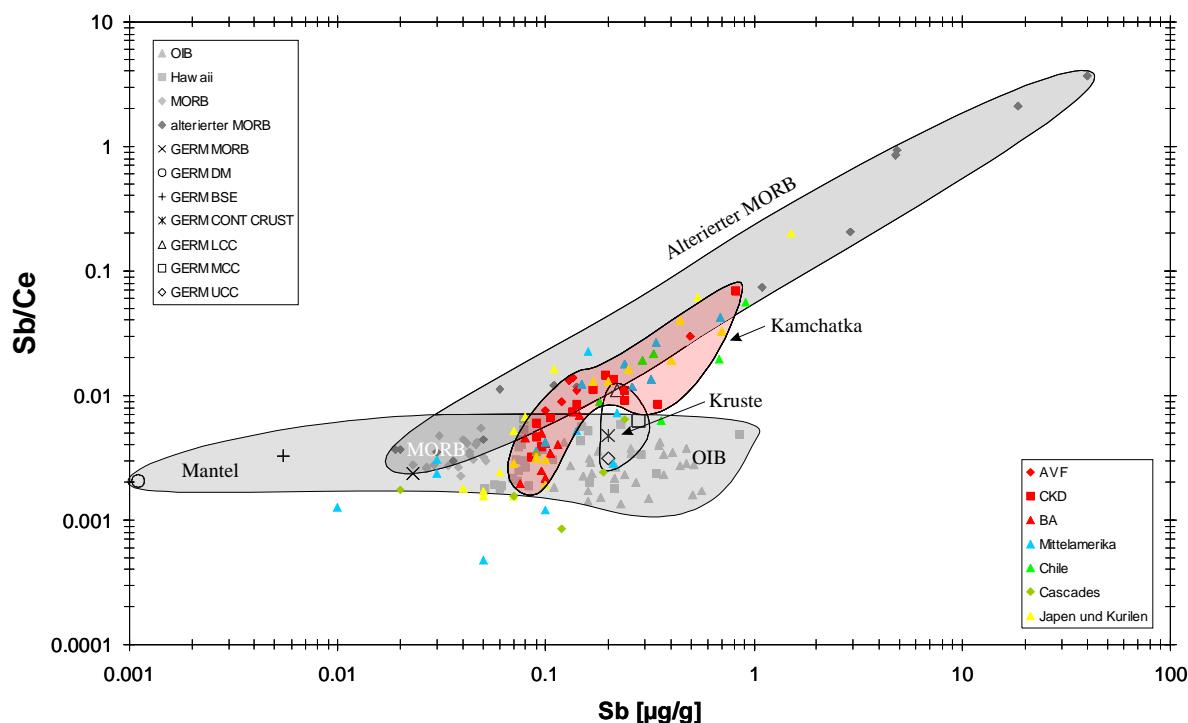


Abb. 6.11: Sb/Ce gegen Sb. Wie bei der Auftragung von As/Ce gegen As weisen verschiedene Proben anderer Inselbögen kleinere Sb/Ce-Verhältnisse als der ‚Mantel-Array‘ (DM + MORB + OIB) auf. Dies ist vermutlich auf eine stärkere Ce-Anreicherung in den betreffenden Proben zurückzuführen. Zu erkennen ist auch die starke Korrelation des Sb/Ce-Verhältnisses von alteriertem MORB mit der Sb-Konzentration, die darauf zurückzuführen ist, daß das Sb bei der Alteration des MORB sehr viel stärker angereichert wird als das Ce (Jochum et al. 1995). Die Folgen der von Hofmann (1988) beschriebenen ‚bimodalen Kompatibilität‘ von Sb lassen sich ebenfalls erkennen: das Sb/Ce-Verhältnis der kontinentalen Kruste ist gegenüber dem der MORBs und OIBs angereichert, ebenso wie viele Proben von Inselbogenvulkaniten. Reservoir (GERM 1998): UCC = Upper Continental Crust, MCC = Middle Continental Crust, LCC = Lower Continental Crust, DM = Depleted Mantle, BSE = Bulk Silicate Earth, Cont Crust = Bulk Continental Crust)

Die Ce-Anreicherung verschiedener Proben ist auch in Abbildung 6.1 zu erkennen. Die Proben die hier durch ihre geringen As/Ce- und Sb/Ce-Verhältnisse auffallen, sind in Abbildung 6.1 daran zu erkennen, daß sie neben dem ‚Mantel-Array‘ bei höheren Ce-Konzentrationen plotten

Die anfangs erwähnte ‚bimodale Kompatibilität‘ ist in den Abbildungen 6.9 und 6.11 zu erkennen, die As/Ce- bzw. Sb/Ce-Verhältnisse der kontinentalen Kruste und vieler Inselbogenvulkanite ist im Vergleich zu MORBs und OIBs angereichert.

6.3 weitere chalkophile Elemente,

Die Elemente Mo und Sn zählen auch zu den chalkophilen Elementen, jedoch werden sie vermutlich nicht durch Fluide mobilisiert und in der Mantelquelle angereichert (Noll et al. 1996). Auch Sn und Mo besitzen eine mit einem der leichten Seltenerdelementen vergleichbare Inkompatabilität.

6.3.1 Molybdän (Mo)

Die Inkompatabilität des Mo ist nach der Arbeit von Newsom et al. (1986) vergleichbar mit der des Pr. Die Auftragung von Mo/Pr gegen Pr sollte keine fluidbedingte Anreicherung zeigen. Es ist jedoch eine Erhöhung des Mo/Pr-Verhältnisses gegenüber dem Mantelwert zu erkennen. Das Diagramm (Abb. 6.11) weist aber größere Unstimmigkeiten auf. Man sollte erwarten, daß es ausgehend von Bulk Silicate Earth (BSE) zu einer Verteilung des Mo/Pr zwischen Kruste + Inselbögen und MORB kommt sollte. Dies ist nicht zu erkennen, die Inselbögen weisen wesentlich höhere Mo/Pr-Verhältnisse als die eingetragenen Krustenreservoir auf. Geht man nur von den ‚vorzuziehenden‘ Konzentrationen für die Krustenreservoir aus, dann fehlt ein in Mo/Pr abgereichertes Reservoir. HIMU-OIBs (St. Helena und Samoa), die dafür in Frage kämen, scheiden als ein solches Reservoir aus. Eine andere Möglichkeit besteht darin, daß das krustale Mo/Pr-Verhältnis niedriger ist, als die bisherigen Vorzugswerte.

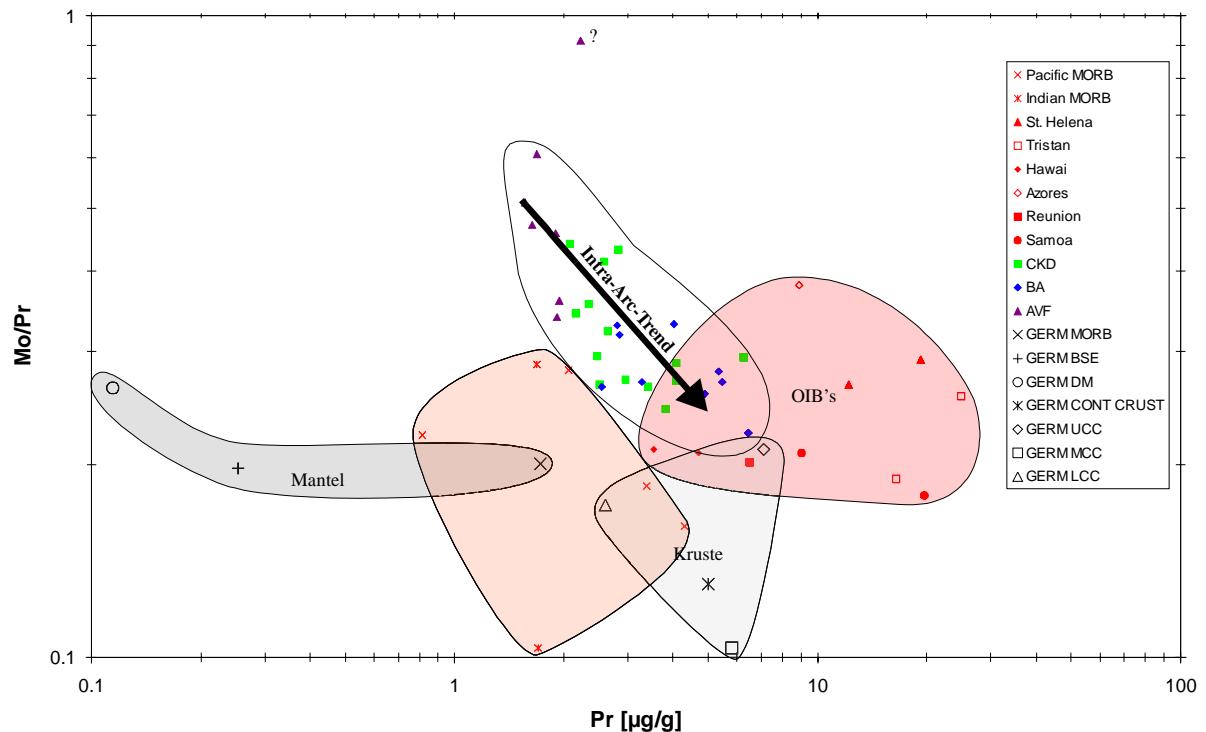


Abb. 6.12: Mo/Pr gegen Pr. Mo/Pr-Verhältnisse der Proben aus Kamchatka liegen oberhalb des Mo/Pr-Mantelwertes. Besonders auffällig ist, daß die Krustenreservoir gleiche oder niedrigere Mo/Pr-Verhältnisse als das Mantel-Mo/Pr-Verhältnis aufweisen. Mit den eingetragenen Werten der Krustenreservoir kann die Kruste nicht das „komplementäre“ Mo/Pr-verarmte Reservoir sein, die Mo/Pr-Verhältnisse müßten noch geringer sein. HIMU-OIBs (St. Helena und Samoa) kommen als ein solches Reservoir auch nicht in Betracht. Eine mögliche Lösung ist aber darin zu sehen, daß für die Krustenreservoir nur die Vorzugsgrade eingetragen sind. Daneben fällt noch auf, daß eine Probe des Indian-MORB ein sehr geringes Mo/Pr-Verhältnis aufweist. Reservoirs (GERM 1998): UCC = Upper Continental Crust, MCC = Middle Continental Crust, LCC = Lower Continental Crust, DM = Depleted Mantle, BSE = Bulk Silicate Earth, MORB, Cont Crust = Bulk Continental Crust).

6.3.2 Zinn (Sn)

Zinn besitzt nach der Arbeit von Jochum et al. (1993) eine dem Sm vergleichbare Inkompatibilität und gehört zu den mäßig siderophilen und chalcophilen Elementen. In der Abbildung 6.13 ist Sn/Sm-Verhältnis gegen die Sn-Konzentration aufgetragen. Hier ist zu erkennen, daß Sn nicht durch Fluide mobilisiert und in der Mantelquelle der Inselbogenvulkanite angereichert wird. Die Daten der MORBs, OIBs, Hawaii, Lesser Antilles und Komatiites sind der Publikation von Jochum et al. (1993) entnommen. Zusätzlich sind die Daten der Publikation von Noll et al. (1996) eingetragen. Verschiedene Inselbogenvulkanite weisen ein geringeres Sn/Sm-Verhältnis als der Mantel-Array auf, was wahrscheinlich, vergleichbar der stärkeren Ce-Anreicherungen im Sb/Ce- und As/Ce-Verhältnis verschiedener Inselbogenvulkanite, auf eine stärkere Sm-Anreicherung in den Proben zurückzuführen ist.

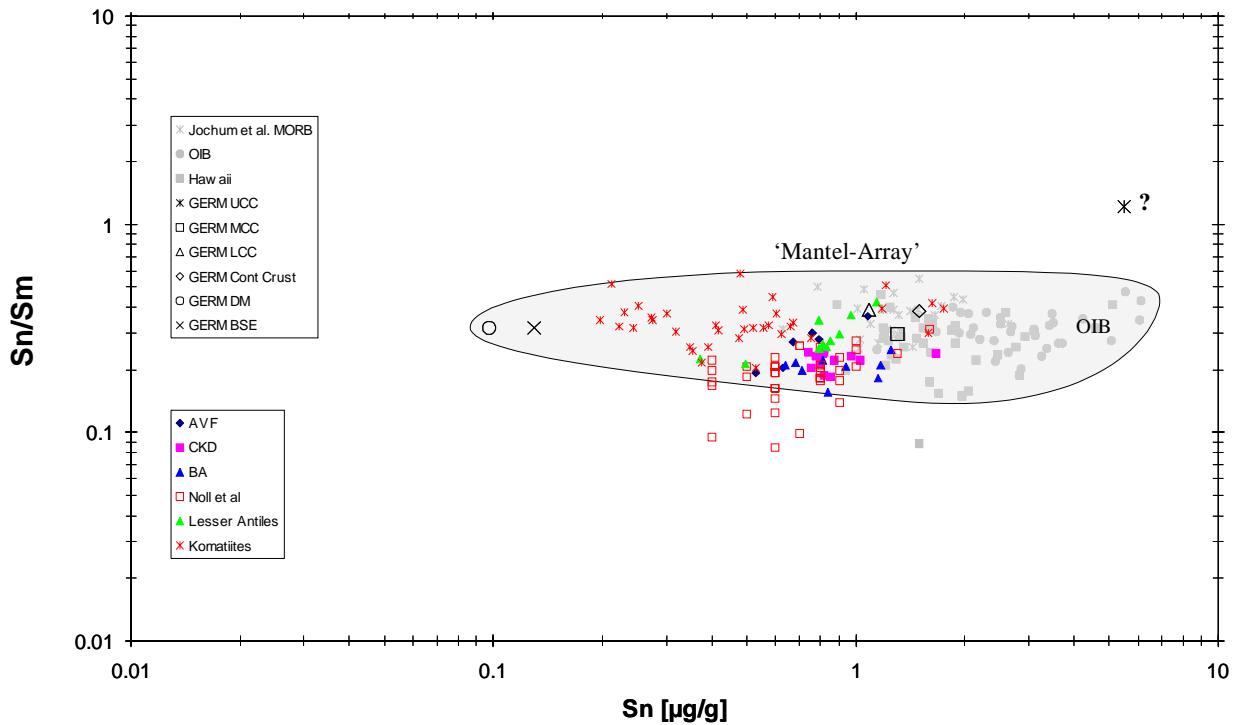


Abb. 6.13: Sn/Sm gegen Sn. Hier ist zu erkennen, daß Sn als mäßig siderophiles und chalkophiles Element nicht durch Fluide mobilisiert wird. Das Sn/Sm-Verhältnis der Inselbogenvulkanite (AVF, CKD, BA, Lesser Antilles und „Noll et al.“) liegt in dem aus Depleted Mantle (DM), Bulk Silicate Earth (BSE), MORBs (Jochum et al. 1993) und OIBs (Jochum et al. 1993) gebildeten „Mantel-Array“. Lediglich verschiedene Proben aus der Publikation von Noll et al. (1996) zeigen niedrigere Sn/Sm-Verhältnisse. Diese sind ähnlich den niedrigen Sb/Ce- und As/Ce-Verhältnissen auf eine stärkere Anreicherung des Sm zurückzuführen.

6.4 Bismut (Bi) und Cadmium (Cd)

Eine Diskussion der Ergebnisse der Bismut-Bestimmungen in den Proben aus Kamchatka ist nicht möglich, da die ermittelten Bi-Konzentrationen zum Teil unter der Bestimmungsgrenze (LOQ und/oder LOD) liegen. Ein weiteres Problem mit diesem Element ist, ebenso wie für das Cadmium, daß nicht genau bekannt ist, mit welchem Element diese Elemente eine vergleichbare Inkompakabilität besitzen. Über mögliche Anreicherung durch Fluide bei der Subduktion und das Verhalten bei magmatischen Prozessen sind daher nicht genügend Informationen vorhanden.

7. Zusammenfassung

Es wurde festgestellt, daß die Bestimmung der chalkophilen Elemente As, Sb, (Bi), Pb und Cd, der mäßig siderophilen und chalkophilen Elemente Sn und Mo der HFS-Elemente Nb, Ta, W, Zr und Hf und der lithophilen Elemente Th und U mit dem ICPMS möglich ist, daß aber für diese Elemente oftmals die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften schlechter als für die Standardspurenelemente, wie die Seltenerdelemente, ist. Für die Elemente As und Sb ist ein HF/HNO₃-Aufschluß vorzuziehen, die anderen Elemente können mit dem Standard-HF/HClO₄-Aufschluß behandelt werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse konnten auf Proben aus Kamchatka angewendet werden. Mit dem ICPMS wurden die oben aufgelisteten Elemente bestimmt. Die Ergebnisse der Bestimmungen der chalkophilen Elemente können zur Identifikation möglicher fluidgesteuerter Prozesse bei der Subduktion herangezogen werden.

Die Elemente Sb, As und Mo zeigen eine Feinstruktur des Inselbogens hinsichtlich der Gehalte dieser Elemente auf. Die Anreicherung dieser Elemente nimmt von der Active Volcanic Front (AVF) zum Back-Arc (BA) hin ab. Die Variationen dieser Elemente sind in erster Linie auf die Anreicherung der Quellregion der Laven zurückzuführen, andere Prozesse, die ebenfalls Variationen in den Gehalten der chalkophilen Elemente bewirken könnten, wie z.B. Sulfidfraktionierung spielen eine untergeordnete Rolle, sind aber nicht völlig auszuschließen.

Durch den Vergleich der Sb- und Ce-Gehalte in den Inselbogenvulkaniten mit Literaturdaten der Gehalte dieser Elemente in alterierten MORB, kann vermutet werden, daß der alterierte MORB als eine mögliche Komponente für die Anreicherung des Sb durch Fluidtransport in Frage kommt. Über das ebenfalls als Komponente in Betracht zu ziehende subduzierte Sediment können aufgrund des Fehlens von Literaturdaten keine Aussagen gemacht werden.

Im Gegensatz zu anderen Publikationen, die eine Mobilisierung von Mo durch Fluide eher ausschließen, zeigt sich für die Proben aus Kamchatka eine Zonierung dieses Elementes von der AVF zum BA. Es konnte aber nicht abschließend geklärt werden, ob dies die Folge eines Transports durch Fluide in die Quellregion der Magmen ist, oder aber durch andere Prozesse hervorgerufen wird.

Sn zeigt aufgrund seiner fehlenden Mobilität keine Zonierung in den Inselbogenvulkaniten. Dies steht im Einklang mit vorhandener Literatur.

Die Ergebnisse, die in anderen Arbeiten über chalkophile Elemente und deren Variationen in magmatischen Systemen bisher präsentiert wurden, konnten für die untersuchten Proben größtenteils bestätigt oder auch verfeinert werden.

Eine Diskussion der Ergebnisse der Cd- und Bi-Bestimmungen wäre aufgrund fehlender Vergleichsmöglichkeiten und fehlender Daten bezüglich ihres Verhaltens im magmatischen Umfeld rein spekulativ.

Literaturverzeichnis

Anderson RN, DeLong SE, Schwarz WM (1978) Thermal model for subduction with dehydration in the downgoing slab. *J Geol* 86: 731-739

Anderson RN, DeLong SE, Schwarz WM (1980) Dehydration, asthenospheric convection and seismicity in subduction zones. *J Geol* 88: 445-451

Churikova T, Dorendorf F, Eisenhauer A, Heuser A, Wörner G (1997a) Across-arc variations in Kamchatka reveal intra-arc rifting and systematic geochemical zonation caused by fluids from the subducted altered crust. *Beiheft Eur J Mineral* 9, 72.

Churikova T, Dorendorf F, Eisenhauer A, Heuser A, Wörner G (1997b) Across-Arc Variations in Trace Elements and U/Th Isotopes in Kamchatka Reveal Intra-Arc Rifting and Systematic Geochemical Zonation Caused by Fluids From the Subducted Oceanic Crust . AGU Fall meeting, EOS supplements 78-46: 804

Cox A, Hart RB (1986) Plate Tectonics: How it works. Blackwell Scientific Publications

Dorendorf F, Wiechert U, Wörner G, Puznakov M, Volynetz O (1997) Strontium and Oxygen isotope measurements on rocks from Kluchevskoy Volcano (Kamchatka): Evidence for melting a fluid-fluxed mantle-wedge? AGU Fall Meeting Abstracts. EOS, 78 (46) Suppl.: 824

GERM (1998) Reservoir Concentrations, Rudnick R, McDonough W, Plank T, Zindler A, White W, Jacobsen S (eds), URL: <http://www-ep.es.llnl.gov/germ/reservoirs.html>

GSJ-GRS (1998) Geological Survey of Japan- Geochemical Reference Samples, URL: http://www.aist.go.jp/RIODB/db012/db012_01.html

Heinrichs H (1979) Determination of Bismuth, Cadmium and Thallium in 33 International Standard Reference Rocks by Fractional Distillation Combined with Flameless Atomic Absorption Spectrometry. *Fresenius Z Anal Chem* 294: 345-351

Heinrichs H, Schulz-Dobbrick B, Wedepohl KH (1980) Terrestrial geochemistry of Cd, Bi, Tl, Pb, Zn and Rb. *Geochim Cosmochim Acta* 44: 1519-1533

Heinrichs H, Keltsch H (1982) Determination of Arsenic, Bismuth, Cadmium, Selenium, and Thallium by Atomic Absorption Spectrometry with a Volatilization Technique. *Z Anal Chem* 54: 1211-1214

Hofmann AW (1997) Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism. *Nature* 385: 219-229

Hofmann AW (1988) Chemical differentiation of the Earth: The relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth Planet Sci Lett* 90: 297-314

Jochum KP, Hofmann AW, Seufert HM (1993) Tin in mantle-derived rocks: Constraints on earth evolution. *Geochim Cosmochim Acta* 57: 3385-3395

Jochum KP, Verma SP (1996) Extreme enrichment of Sb, Tl and other trace elements in altered MORB. *Chem Geol* 130: 289-299

Jochum KP, Hofmann AW (1997) Constraints on earth evolution from antimony in mantle-derived rocks. *Chem Geol* 139: 39-49

Karig DE, Kay RW (1981) Fate of sediments on the descending plate at convergent margins. *Phil Trans R Soc Lond A301*, 233-251

Kersting AB (1995) Pb Isotope ratios of North Pacific Sediments, Sites 881, 883, and 884: implications for sediment recycling in the Kamchatkan Arc. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 145: 383-388

Leeman WP (1996) Boron and Other fluid-mobile Elements in Volcanic Arc Lavas: Implications for Subduction Processes. *Geophysical Monograph* 96, 269-276

Moran AE, Sisson VB Leeman WP (1992) Boron depletion during progressive metamorphism: Implications for subduction processes. *Earth Plant Sci Lett* 111: 331-349

Morris JD, Leeman WP, Tera F (1990) The subducted component in island arc lavas: constraints from Be isotopes and B-Be systematics. *Nature* 344: 31-36

Newsom HE, White WM, Jochum KP, Hofmann AW (1986) Siderophile and chalcophile element abundances in oceanic basalts, Pb isotope evolution and growth of the Earth's core. *Earth Planet Sci Lett* 80: 299-313

Noll PD, Newsom HE, Leeman WP, Ryan JG (1996) The role of hydrothermal fluids in the production of subduction zone magmas: Evidence from siderophile and chalcophile trace elements and boron. *Geochim Cosmochim Acta* 60: 587-611

Peacock SM (1987) Thermal effects of metamorphic fluids in subduction zones. *Geology* 15: 1057-1060

Peacock SM (1990) Fluid Processes in Subduction Zones. *Science* 248, 329-337

Peacock SM (1993) Large-scale hydration of the lithosphere above subducting slabs. *Chem Geol* 108: 49-59

Peacock SM, Rushmer T, Thompson AB (1994) Partial melting of subducting oceanic crust. *Earth Planet Sci Lett* 121: 227-244

Peucker-Ehrenbrink B, Hofmann AW, Hart SR (1994) Hydrothermal lead transfer from mantle to continental crust: the role of metalliferous sediments. *Earth Planet Sci Lett* 125: 129-142

Plank T, Langmuir CH (1993) Tracing trace elements from sediment input to volcanic output in subduction zones. *Nature* 362: 739-743

Potts PJ (1992) A Handbook of Silicate Rock Analysis. Chapman & Hall

Rollinson HR (1993) Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical, New York

Ryan JG, Morris J, Tera F, Leeman WP, Tsvetkov A (1995) Cross-Arc Geochemical Variation in the Kurile Arc as a Function of Slab Depth. *Science* 270: 625-627

Ryan J, Morris J, Bebout G, Leeman B (1996) Describing Chemical Fluxes in Subduction Zones: Insights from „Depth-Profiling“ Studies of Arc and Forearc Rocks. *Geophysical Monograph* 96: 263-268

Tera F, Brown L, Morris J, Sacks IS, Klein J, Middleton R (1986) Sediment incorporation in island-arc magmas: Inferences from ^{10}Be . *Geochim Cosmochim Acta* 50: 535-550

Wilson M (1989) Igneous Petrogenesis. Chapman & Hall, London

Woodhead JD, Fraser DG (1985) Pb, Sr and ^{10}Be isotopic studies of rocks from the Northern Mariana Islands. Implications for magma genesis and crustal recycling in the Western Pacific. *Geochim Cosmochim Acta* 49: 1925-1930

Anhang

PROBENLISTE.....	A-1
ERGEBNISSE DER VERSUCHSMESSUNGEN.....	A-2
CPS09051997	A-2
CPS13051997	A-3
CPS28051997	A-6
CPS04061997	A-8
CPS05061997	A-10
CPS02091997(1).....	A-13
CPS05091997	A-16
CPS08091997	A-17
CPS09091997	A-18
ERGEBNISSE DER PROBENMESSUNGEN	A-19
CPS28081997	A-19
CPS02091997(2).....	A-21
CPS13111997	A-23
CPS06011998	A-25
CPS26011998	A-26
CPS25021998	A-27
ÜBERSICHT VON LLD, LOD UND LOQ DER PROBENMESSUNGEN.....	A-30
PROTOKOLLE DER BESTÜCKUNG DES AUTOSAMPLERS DES ICPMS.....	A-32
KONZENTRATIONEN DER HAUPELEMENTE UND „HERKÖMMLICHEN“ SPURENELEMENTE.....	A-35
ICPMS „PERFORMANCE LOGGING“	A-38
CPS13111997	A-38
CPS06011998	A-39
CPS26011998	A-40
CPS25021998	A-41

Probenliste

(nach Dorendorf et al. (1997), Churikova et al. (1997a,b))

Sample-No	Lithology	Mineralogy	Age	Locality
2310	Mg-basalt	plag, ol, cpx	Q3	Kamen (Flerov)
ACH-96-02	basalt	ol	Q4?	12 km SW of Achtang
ACH-96-03	basaltic andesite	ol	Q4?	2 km SW of Achtang
BAK-95-17	Mg-basalt	ol, cpx	Q4	cone Vulkanicheskaya, Kawyche river
BAK-95-24	Mg-basalt	ol, cpx	Q4	cone Chorny-Krasny, pass NW Bakening
BAK-95-31	Mg-basalt	ol, cpx	Q4	flow (right side) cone Glavny/ kostakan river
ESO-96-04	basaltic andesite	ol	Q1?	right side of Uksichan river
ESO-96-08	basalt	ol	Q4?	cone (1255,5m), left side of Uksichan river
GAM-96-12	andesite	plag, px, ol	Q4	dyke, N-slope of Molodoi
GAM-96-28	basalt	ol, px, plag	Q2?	plateau between river Rotorny and Truchinka (Menner?)
ICH-96-02	WP-basalt	ol, plag	Q4	Northern Cherpuk, near lake Tymkygytgyn
ICH-96-05	plateau basalt	ol, px, plag	Q1?	NW from Ketchan Lake, 500m W from pass 1310 m
ICH-96-10	WP-basalt	ol, px, plag	Q4	cinder cone, NNW from Ketchan L., point 1547
ICH-96-19	IA-basalt	plag, ol, px	Q4?	feeder dyke, N lake Ketachan
ICH-96-31	IA-basalt	ol, px	Q4?	eroded cone, pass at southern Ichinsky
KIZ-96-01/1	basaltic inclusion	ol, px, plag	Q4	basic inclusions in plag-amph andesite KIZ-96-01
KIZ-96-24	andesite	ol, plag	Q4	2 km to W from the summit of Kizimen volcano, lava flow
KIZ-96-24/1	basaltic andesite (incl.)	ol, px, plag	Q4	inclusion in ol-plag basaltic andesite KIZ-96-24
KLU-96-01	Mg-basalt	ol	Q4	crater Bilyukai (1938), flow
KLU-96-07	Mg-basalt	ol, px	Q4	cone Bokovoi
KLU-96-11	Mg-basalt	ol, px	Q4	old flow at the waterfall S of cone "M"
KLU-96-12	Al-basalt	plag, px, ol	Q4	flow from cone Bylinkina
KOM-96-02	basaltic andesite	ol, px, plag	Q3	dyke, old caldera, SE of Komarova
KOM-96-06	basalt	ol, px, (plag)	Q3	dyke SE of Komarova
KOM-96-11	andesite	plag, px, (ol)	Q4	flow SE from Vysoky
SCH-96-01	basalt	ol, px, plag	Q3-4	cone, plateau W of Bogachjovka
SCH-96-04	basalt	ol, px, plag	Q3-4	eroded cone (1146m), plateau W of Bogachkova
TOL-96-01	Al-basalt	plag, (px, ol)	Q4	1975/76
TOL-96-02	Mg-basalt	ol	Q4	1975
TOL-96-03	Mg-basalt	ol	Q4	Flow of 1942, southern slope of Tolbachik

Alter: Q1: Lower Pleistocene

Q2: Middle Pleistocene

Q3: Upper Pleistocene

Q4: Holocene

Ergebnisse der Versuchsmessungen

CPS09051997

Regression

Ohne Zusatz

Isotope	m	σm	rel Fehler (m)	b	σb	rel Fehler (b)	R ²
As 75	328,1421	19,1362	5,83%	-0,1187	0,1707	-143,83%	0,967110
Zr 90	57,0040	3,3435	5,87%	-1,0152	1,7091	-168,35%	0,966741
Zr 91	253,0186	15,4287	6,10%	-0,7223	1,7616	-243,89%	0,964149
Nb 93	36,2280	2,2034	6,08%	-0,3233	0,3602	-111,42%	0,964330
Mo 95	188,6223	11,6766	6,19%	-0,1201	0,1812	-150,85%	0,963092
Cd 111	189,6971	12,3648	6,52%	0,0087	0,0364	416,25%	0,959245
Cd 114	80,2923	5,3550	6,67%	-0,0105	0,0383	-363,85%	0,957414
Sn 118	94,4184	6,1109	6,47%	-0,0804	0,1872	-232,84%	0,959796
Sn 120	67,4952	4,4845	6,64%	-0,0339	0,1897	-559,95%	0,957721
Sb 121	85,9803	4,7753	5,55%	0,0590	0,0289	49,04%	0,970076
Sb 123	111,4652	6,3449	5,69%	0,0460	0,0302	65,68%	0,968615
Hf 178	22,8611	1,4959	6,54%	0,0218	0,3690	1691,29%	0,958943
Ta 181	13,6864	1,1779	8,61%	-0,0662	0,0531	-80,24%	0,931043
W 182	34,5282	1,8868	5,46%	0,0732	0,1518	207,21%	0,971005
Pb 208	19,7664	1,2938	6,55%	-0,0608	0,3734	-613,71%	0,958916
Bi 209	13,2065	0,8373	6,34%	0,0006	0,0358	5897,73%	0,961356
Th 232	15,9826	1,0093	6,32%	0,0545	0,1760	322,67%	0,961648
U 238	18,9606	1,2378	6,53%	0,0850	0,1803	212,11%	0,959123

Zusatz: 1 Vol.-% TMAH

Isotope	m	σm	rel Fehler (m)	b	σb	rel Fehler (b)	R ²
As 75	269,6876	2,0651	0,77%	-0,0568	0,0242	-42,61%	0,999648
Zr 90	54,6035	1,1798	2,16%	-0,6320	0,6834	-108,13%	0,997207
Zr 91	247,6856	4,8624	1,96%	-0,6825	0,6217	-91,09%	0,997693
Nb 93	34,5776	0,7652	2,21%	-0,3033	0,1429	-47,12%	0,997070
Mo 95	179,6476	6,0574	3,37%	-0,0527	0,1063	-201,52%	0,993225
Cd 111	195,4402	4,2773	2,19%	0,0147	0,0134	91,28%	0,997134
Cd 114	77,0235	2,5112	3,26%	0,0054	0,0202	373,66%	0,993662
Sn 118	90,4769	3,1735	3,51%	-0,0263	0,1099	-417,96%	0,992673
Sn 120	64,4187	1,5434	2,40%	0,0136	0,0744	547,68%	0,996568
Sb 121	88,6720	1,9932	2,25%	0,0509	0,0132	25,87%	0,996978
Sb 123	116,5312	4,1403	3,55%	0,0350	0,0212	60,51%	0,992483
Hf 178	22,7200	0,4857	2,14%	0,0284	0,1327	468,13%	0,997266
Ta 181	15,9689	1,1460	7,18%	-0,3135	0,0630	-20,11%	0,970027
W 182	33,5702	0,8981	2,68%	0,0754	0,0818	108,54%	0,995724
Pb 208	19,6066	0,4069	2,08%	-0,0590	0,1302	-220,93%	0,997422
Bi 209	13,3230	0,2481	1,86%	-0,0037	0,0117	-315,33%	0,997924
Th 232	15,7141	0,4076	2,59%	0,0633	0,0796	125,69%	0,995979
U 238	18,7344	0,5085	2,71%	0,0630	0,0833	132,25%	0,995599

Zusatz: 2 Vol.-% 6N HCl***

Isotope	m	σm	Rel Fehler (m)	b	σb	rel Fehler (b)	R ²
As 75	-64,1779	91,0564	-141,88%	4,9015	2,7787	56,69%	0,076463
Zr 90	54,5749	0,4110	0,75%	-0,8255	0,2649	-32,09%	0,999660
Zr 91	246,2737	1,2924	0,52%	-0,9423	0,1852	-19,65%	0,999835
Nb 93	33,4737	0,3087	0,92%	-0,1134	0,0645	-56,83%	0,999490
Mo 95	169,8851	1,8145	1,07%	-0,0406	0,0372	-91,62%	0,999316
Cd 111	197,2275	7,0198	3,56%	-0,0271	0,0254	-93,48%	0,992456
Cd 114	73,3500	2,1719	2,96%	0,0172	0,0200	115,70%	0,994767
Sn 118	84,8691	1,5226	1,79%	0,0016	0,0618	3884,81%	0,998072
Sn 120	63,0975	0,5430	0,86%	-0,0351	0,0299	-85,28%	0,999556
Sb 121	69,9069	3,6327	5,20%	-0,0108	0,0362	-334,42%	0,984056
Sb 123	90,4000	5,7429	6,35%	-0,0164	0,0446	-271,47%	0,976358
Hf 178	21,6880	0,2194	1,01%	0,0811	0,0690	85,09%	0,999387

Isotope	m	σm	rel Fehler (m)	b	σb	rel Fehler (b)	R ²
Ta 181	12,3607	0,2886	2,33%	-0,0487	0,0171	-35,09%	0,996740
W 182	28,4865	0,6024	2,11%	0,1230	0,0706	57,40%	0,997324
Pb 208	18,9880	0,2364	1,25%	-0,0837	0,0867	-103,57%	0,999070
Bi 209	12,4487	0,1825	1,47%	-0,0012	0,0101	-846,66%	0,998713
Th 232	14,6645	0,2157	1,47%	0,1564	0,0487	31,14%	0,998704
U 238	17,2468	0,3339	1,94%	0,2002	0,0634	31,64%	0,997756

Zusatz: 1 Vol.-% H₃BO₄

Isotope	m	σm	rel Fehler (m)	b	σb	rel Fehler (b)	R ²
As 75	296,1410	15,1759	5,12%	-0,2627	0,1629	-62,02%	0,976911
Zr 90	53,8427	1,3170	2,45%	0,0744	0,7252	974,46%	0,994644
Zr 91	245,2918	5,9424	2,42%	-0,1786	0,7232	-405,01%	0,994746
Nb 93	33,9998	0,6301	1,85%	-0,0521	0,1109	-212,91%	0,996919
Mo 95	171,3970	4,3830	2,56%	0,0319	0,0753	235,77%	0,994149
Cd 111	195,7021	5,8875	3,01%	-0,0253	0,0185	-73,15%	0,991920
Cd 114	78,1375	1,9732	2,53%	-0,0024	0,0151	-639,63%	0,994294
Sn 118	89,5455	1,5456	1,73%	-0,0404	0,0519	-128,30%	0,997326
Sn 120	63,5128	1,0439	1,64%	0,0128	0,0487	380,32%	0,997575
Sb 121	94,4755	3,9209	4,15%	0,0262	0,0237	90,50%	0,984735
Sb 123	123,2750	4,1309	3,35%	-0,0012	0,0199	-1721,84%	0,989995
Hf 178	21,4090	0,3486	1,63%	0,0978	0,0955	97,64%	0,997619
Ta 181	13,8094	0,4782	3,46%	-0,1011	0,0235	-23,23%	0,989322
W 182	31,2164	0,6641	2,13%	0,1277	0,0610	47,80%	0,995943
Pb 208	18,5613	0,3290	1,77%	0,0565	0,1045	185,03%	0,997180
Bi 209	12,6559	0,1532	1,21%	0,0013	0,0072	560,65%	0,998682
Th 232	14,7030	0,2329	1,58%	0,1109	0,0457	41,17%	0,997746
U 238	17,1768	0,3118	1,82%	0,1413	0,0519	36,73%	0,997043

CPS13051997Konzentrationen [$\mu\text{g/g}$]

Isotop	JA-2.O.1	JA-2.O.2	JA-2.O.3	JA-2.T.1	JA-2.T.2	JA-2.T.3	JA-2.H.1
As 75	4,26 ± 0,06	4,18 ± 0,13	4,71 ± 0,13	4,7 ± 0,21	4,48 ± 0,06	4,27 ± 0,53	18,25 ± 0,27
Zr 90	104,55 ± 1,62	105,67 ± 2,34	108,44 ± 2,74	114,71 ± 3,81	128,62 ± 1,69	122,29 ± 1,99	99,44 ± 1,28
Zr 91	102,11 ± 2,84	103,03 ± 2,93	106,41 ± 3,24	113,1 ± 5,03	128,96 ± 3,24	123,18 ± 2,98	99,24 ± 2,1
Nb 93	8,18 ± 0,24	8,12 ± 0,17	8,49 ± 0,28	8,44 ± 0,33	9,98 ± 0,19	9,27 ± 0,23	7,6 ± 0,13
Mo 95	0,72 ± 0,01	0,67 ± 0,03	0,68 ± 0,04	0,61 ± 0,02	0,70 ± 0,02	0,65 ± 0,02	0,59 ± 0,01
Cd 111	0,12 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,11 ± 0,01	0,10 ± 0,04	0,10 ± 0,01	0,11 ± 0,03	0,13 ± 0
Cd 114	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0	0,09 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,10 ± 0,01
Sn 118	1,67 ± 0,03	1,74 ± 0,03	1,70 ± 0,04	1,57 ± 0,04	1,56 ± 0,04	1,51 ± 0,05	1,59 ± 0,02
Sn 120	1,62 ± 0,05	1,70 ± 0,04	1,64 ± 0,03	1,55 ± 0,03	1,51 ± 0,02	1,46 ± 0,04	1,57 ± 0,02
Sb 121	0,31 ± 0,04	0,30 ± 0,04	0,29 ± 0,24	0,41 ± 0,05	0,25 ± 0,04	0,25 ± 0,03	0,24 ± 0,03
Sb 123	0,35 ± 0,05	0,36 ± 0,04	0,35 ± 0,05	0,25 ± 0,03	0,28 ± 0,03	0,26 ± 0,04	0,30 ± 0,04
Hf 178	3,02 ± 0,03	3,03 ± 0,05	3,12 ± 0,03	3,05 ± 0,04	3,05 ± 0,03	3,08 ± 0,06	3,09 ± 0,03
Ta 181	1,53 ± 0,04	1,40 ± 0,03	1,38 ± 0,03	1,30 ± 0,03	1,42 ± 0,03	1,34 ± 0,03	1,30 ± 0,03
W 182	1,88 ± 0,05	1,85 ± 0,01	1,76 ± 0,04	1,64 ± 0,03	1,76 ± 0,01	1,73 ± 0,02	1,67 ± 0,01
Pb 208	17,34 ± 0,20	17,30 ± 0,42	17,84 ± 0,60	18,33 ± 0,55	20,31 ± 0,22	19,81 ± 0,21	17,76 ± 0,15
Bi 209	0,085 ± 0,007	0,084 ± 0,010	0,095 ± 0,007	0,086 ± 0,003	0,101 ± 0,004	0,102 ± 0,004	0,098 ± 0,002
Th 232	3,93 ± 0,12	3,96 ± 0,14	4,65 ± 0,17	4,94 ± 0,21	4,81 ± 0,14	5,11 ± 0,14	4,61 ± 0,11
U 238	2,04 ± 0,10	2,06 ± 0,06	2,12 ± 0,06	2,09 ± 0,09	2,17 ± 0,08	2,23 ± 0,10	2,14 ± 0,04

Isotop	JA-2.H.2	JA-2.H.3	JA-2.B.1	JA-2.B.2	JA-2.B.3	JB-3.O.1	JB-3.O.2
As 75	17,05 ± 0,69	18,87 ± 0,35	4,33 ± 0,14	3,77 ± 0,07	3,51 ± 0,21	6,25 ± 0,37	6,77 ± 0,13
Zr 90	79,59 ± 1,19	86,40 ± 2,29	82,34 ± 1,40	87,71 ± 1,61	86,07 ± 1,34	77,93 ± 1,70	87,79 ± 1,14
Zr 91	80,23 ± 1,77	86,64 ± 2,59	84,44 ± 2,05	88,70 ± 2,06	88,62 ± 1,98	78,73 ± 2,11	87,62 ± 1,88
Nb 93	6,48 ± 0,12	7,09 ± 0,17	6,65 ± 0,24	7,56 ± 0,14	7,28 ± 0,13	1,79 ± 0,07	1,81 ± 0,03

Isotop	JA-2.H.2	JA-2.H.3	JA-2.B.1	JA-2.B.2	JA-2.B.3	JB-3.O.1	JB-3.O.2
Mo 95	$0,57 \pm 0,02$	$0,57 \pm 0,03$	$0,53 \pm 0,04$	$0,60 \pm 0,03$	$0,66 \pm 0,08$	$1,10 \pm 0,02$	$1,16 \pm 0,03$
Cd 111	$0,11 \pm 0,03$	$0,16 \pm 0,03$	$0,16 \pm 0,01$	$0,15 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,02$	$0,18 \pm 0,04$	$0,16 \pm 0,01$
Cd 114	$0,10 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,01$	$0,10 \pm 0$
Sn 118	$1,75 \pm 0,06$	$1,82 \pm 0,05$	$1,82 \pm 0,04$	$1,91 \pm 0,04$	$1,91 \pm 0,03$	$1,19 \pm 0,06$	$1,04 \pm 0,02$
Sn 120	$1,73 \pm 0,04$	$1,83 \pm 0,05$	$1,78 \pm 0,04$	$1,88 \pm 0,03$	$1,81 \pm 0,05$	$1,13 \pm 0,04$	$1,03 \pm 0,01$
Sb 121	$0,33 \pm 0,04$	$0,30 \pm 0,03$	$0,30 \pm 0,05$	$0,36 \pm 0,05$	$0,30 \pm 0,04$	$0,21 \pm 0,03$	$0,17 \pm 0,03$
Sb 123	$0,38 \pm 0,04$	$0,35 \pm 0,05$	$0,31 \pm 0,04$	$0,37 \pm 0,07$	$0,34 \pm 0,05$	$0,26 \pm 0,05$	$0,27 \pm 0,03$
Hf 178	$3,16 \pm 0,08$	$3,36 \pm 0,04$	$3,28 \pm 0,03$	$3,30 \pm 0,05$	$3,31 \pm 0,10$	$3,14 \pm 0,05$	$2,92 \pm 0,03$
Ta 181	$1,32 \pm 0,03$	$1,42 \pm 0,03$	$1,27 \pm 0,06$	$1,44 \pm 0,04$	$1,37 \pm 0,03$	$0,33 \pm 0,02$	$0,27 \pm 0,01$
W 182	$1,96 \pm 0,04$	$1,87 \pm 0,02$	$1,59 \pm 0,08$	$1,76 \pm 0,02$	$1,75 \pm 0,07$	$1,94 \pm 0,03$	$1,86 \pm 0,01$
Pb 208	$15,43 \pm 0,26$	$16,07 \pm 0,14$	$15,71 \pm 0,23$	$16,74 \pm 0,22$	$16,62 \pm 0,17$	$4,48 \pm 0,10$	$4,52 \pm 0,04$
Bi 209	$0,086 \pm 0,008$	$0,085 \pm 0,008$	$0,091 \pm 0,009$	$0,094 \pm 0,01$	$0,095 \pm 0,003$	$0,016 \pm 0,006$	$0,013 \pm 0,003$
Th 232	$4,64 \pm 0,22$	$4,96 \pm 0,15$	$5,03 \pm 0,12$	$4,83 \pm 0,13$	$5,23 \pm 0,13$	$1,58 \pm 0,04$	$1,43 \pm 0,03$
U 238	$2,19 \pm 0,10$	$2,33 \pm 0,10$	$2,29 \pm 0,07$	$2,42 \pm 0,05$	$2,38 \pm 0,05$	$0,49 \pm 0,02$	$0,46 \pm 0,01$

Isotop	JB-3.O.3	JB-3.T.1	JB-3.T.2	JB-3.T.3	JB-3.H.1	JB-3.H.2	JB-3.H.3
As 75	$5,90 \pm 0,09$	$6,34 \pm 0,22$	$6,22 \pm 0,25$	$6,06 \pm 0,95$	$20,28 \pm 0,34$	$20,00 \pm 2,39$	$22,96 \pm 0,30$
Zr 90	$89,46 \pm 2,72$	$99,23 \pm 2,67$	$98,78 \pm 3,97$	$103,19 \pm 1,38$	$77,61 \pm 3,49$	$65,76 \pm 2,99$	$57,98 \pm 0,76$
Zr 91	$87,83 \pm 2,63$	$97,28 \pm 3,86$	$97,06 \pm 3,88$	$101,61 \pm 2,31$	$75,37 \pm 3,52$	$63,19 \pm 3,66$	$56,86 \pm 1,22$
Nb 93	$1,82 \pm 0,04$	$1,92 \pm 0,08$	$1,85 \pm 0,08$	$2,04 \pm 0,05$	$1,60 \pm 0,07$	$1,34 \pm 0,12$	$1,19 \pm 0,02$
Mo 95	$1,21 \pm 0,02$	$1,08 \pm 0,06$	$1,05 \pm 0,02$	$1,14 \pm 0,02$	$0,88 \pm 0,05$	$0,71 \pm 0,04$	$0,62 \pm 0,02$
Cd 111	$0,13 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0$	$0,12 \pm 0,03$	$0,15 \pm 0,02$
Cd 114	$0,09 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0$	$0,08 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,01$	$0,10 \pm 0,01$
Sn 118	$0,99 \pm 0,02$	$0,96 \pm 0,04$	$0,96 \pm 0,02$	$1,02 \pm 0,02$	$0,96 \pm 0,06$	$1,07 \pm 0,04$	$1,18 \pm 0,02$
Sn 120	$0,98 \pm 0,01$	$0,97 \pm 0,04$	$0,96 \pm 0,04$	$0,99 \pm 0,02$	$0,97 \pm 0,04$	$1,11 \pm 0,04$	$1,16 \pm 0,02$
Sb 121	$0,22 \pm 0,03$	$0,19 \pm 0,03$	$0,21 \pm 0,04$	$0,23 \pm 0,04$	$0,20 \pm 0,02$	$0,24 \pm 0,04$	$0,26 \pm 0,04$
Sb 123	$0,30 \pm 0,05$	$0,19 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,03$	$0,25 \pm 0,03$	$0,26 \pm 0,04$	$0,30 \pm 0,04$	$0,31 \pm 0,04$
Hf 178	$2,73 \pm 0,06$	$2,82 \pm 0,03$	$2,73 \pm 0,04$	$2,79 \pm 0,03$	$2,55 \pm 0,03$	$2,77 \pm 0,03$	$2,69 \pm 0,02$
Ta 181	$0,29 \pm 0,01$	$0,28 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,01$	$0,30 \pm 0,01$	$0,31 \pm 0,01$	$0,27 \pm 0,01$	$0,26 \pm 0,01$
W 182	$1,69 \pm 0,01$	$1,72 \pm 0,03$	$1,60 \pm 0,03$	$1,83 \pm 0,02$	$1,78 \pm 0,02$	$1,75 \pm 0,11$	$1,75 \pm 0,01$
Pb 208	$4,50 \pm 0,12$	$4,97 \pm 0,11$	$4,88 \pm 0,14$	$5,19 \pm 0,05$	$4,58 \pm 0,14$	$4,19 \pm 0,06$	$3,71 \pm 0,03$
Bi 209	$0,033 \pm 0,001$	$0,016 \pm 0,007$	$0,016 \pm 0,001$	$0,019 \pm 0,001$	$0,016 \pm 0,002$	$0,016 \pm 0,004$	$0,014 \pm 0,003$
Th 232	$1,29 \pm 0,04$	$1,28 \pm 0,04$	$1,24 \pm 0,04$	$1,23 \pm 0,03$	$1,09 \pm 0,03$	$1,11 \pm 0,04$	$1,07 \pm 0,03$
U 238	$0,43 \pm 0,02$	$0,39 \pm 0,01$	$0,42 \pm 0,02$	$0,38 \pm 0,02$	$0,37 \pm 0,01$	$0,38 \pm 0,01$	$0,34 \pm 0,01$

Isotop	JB-3.B.1	JB-3.B.2	JB-3.B.3
As 75	$4,89 \pm 0,14$	$5,67 \pm 0,23$	$6,16 \pm 0,08$
Zr 90	$86,85 \pm 1,23$	$91,58 \pm 1,76$	$94,43 \pm 1,23$
Zr 91	$86,53 \pm 2,26$	$90,27 \pm 2,10$	$93,53 \pm 2,01$
Nb 93	$2,05 \pm 0,04$	$1,87 \pm 0,03$	$1,88 \pm 0,03$
Mo 95	$1,13 \pm 0,04$	$1,10 \pm 0,03$	$1,11 \pm 0,01$
Cd 111	$0,10 \pm 0,03$	$0,09 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0$
Cd 114	$0,08 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0$
Sn 118	$1,00 \pm 0,02$	$0,92 \pm 0,02$	$0,94 \pm 0,01$
Sn 120	$0,97 \pm 0,03$	$0,94 \pm 0,03$	$0,95 \pm 0,02$
Sb 121	$0,19 \pm 0,02$	$0,21 \pm 0,03$	$0,21 \pm 0,03$
Sb 123	$0,28 \pm 0,04$	$0,27 \pm 0,03$	$0,29 \pm 0,04$
Hf 178	$2,74 \pm 0,04$	$2,67 \pm 0,05$	$2,61 \pm 0,02$
Ta 181	$0,41 \pm 0,01$	$0,27 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,01$
W 182	$2,13 \pm 0,05$	$1,70 \pm 0,02$	$1,65 \pm 0,01$
Pb 208	$5,05 \pm 0,07$	$5,00 \pm 0,06$	$5,09 \pm 0,04$
Bi 209	$0,018 \pm 0,002$	$0,017 \pm 0,003$	$0,015 \pm 0,001$
Th 232	$1,38 \pm 0,04$	$1,36 \pm 0,05$	$1,36 \pm 0,03$
U 238	$0,47 \pm 0,03$	$0,44 \pm 0,02$	$0,44 \pm 0,01$

Relative Abweichung der internationalen Standards

Isotop	JA-2.O.1	JA-2.O.2	JA-2.O.3	JA-2.T.1	JA-2.T.2	JA-2.T.3	JA-2.H.1	JA-2.H.2
As 75	401,6%	392,2%	453,9%	453,0%	427,1%	402,5%	2047,3%	1905,7%
Zr 90	-9,9%	-8,9%	-6,5%	-1,1%	10,9%	5,4%	-14,3%	-31,4%
Zr 91	-12,0%	-11,2%	-8,3%	-2,5%	11,2%	6,2%	-14,4%	-30,8%
Nb 93	-13,6%	-14,2%	-10,3%	-10,9%	5,4%	-2,2%	-19,8%	-31,6%
Mo 95	20,5%	11,0%	12,7%	1,2%	16,2%	8,9%	-1,0%	-5,7%
Cd 111	49,2%	76,2%	43,2%	24,2%	30,2%	35,4%	65,1%	37,5%
Cd 114	12,3%	11,3%	7,2%	14,1%	11,0%	-11,2%	22,2%	31,5%
Sn 118	-0,8%	3,3%	0,9%	-6,5%	-7,2%	-10,2%	-5,3%	4,3%
Sn 120	-3,8%	1,0%	-2,3%	-8,0%	-10,3%	-13,0%	-6,5%	3,1%
Sb 121	118,7%	114,7%	105,1%	196,2%	80,1%	79,7%	68,4%	133,6%
Sb 123	153,0%	156,0%	150,8%	81,8%	97,7%	85,5%	116,6%	167,9%
Hf 178	5,6%	5,8%	8,9%	6,5%	6,6%	7,7%	8,0%	10,6%
Ta 181	91,5%	75,6%	72,2%	61,9%	77,6%	67,2%	62,9%	65,2%
W 182	89,7%	86,6%	78,0%	65,3%	78,2%	74,6%	68,4%	98,1%
Pb 208	-9,7%	-9,9%	-7,1%	-4,6%	5,8%	3,2%	-7,5%	-19,6%
Bi 209	21,4%	20,3%	36,4%	23,2%	43,6%	45,9%	39,3%	22,3%
Th 232	-21,8%	-21,2%	-7,5%	-1,8%	-4,3%	1,6%	-8,4%	-7,7%
U 238	-7,7%	-6,9%	-4,2%	-5,6%	-1,9%	0,9%	-3,3%	-1,0%

Isotop	JA-2.H.3	JA-2.B.1	JA-2.B.2	JA-2.B.3	JB-3.O.1	JB-3.O.2	JB-3.O.3	JB-3.T.1
As 75	2120,1%	409,1%	343,5%	313,1%	239,9%	267,8%	220,7%	244,8%
Zr 90	-25,5%	-29,0%	-24,4%	-25,8%	-20,3%	-10,2%	-8,5%	1,5%
Zr 91	-25,3%	-27,2%	-23,5%	-23,6%	-19,5%	-10,4%	-10,2%	-0,5%
Nb 93	-25,1%	-29,7%	-20,2%	-23,1%	-27,6%	-26,7%	-26,2%	-22,3%
Mo 95	-4,6%	-11,1%	-0,7%	10,0%	1,0%	6,1%	11,1%	-0,7%
Cd 111	109,1%	109,4%	93,4%	42,4%	121,5%	101,0%	55,6%	20,6%
Cd 114	58,2%	28,0%	57,6%	62,6%	63,7%	24,7%	12,2%	8,8%
Sn 118	8,1%	8,5%	13,8%	13,9%	26,2%	10,1%	5,3%	2,2%
Sn 120	9,0%	5,8%	11,8%	8,0%	20,1%	9,2%	4,4%	3,4%
Sb 121	117,0%	113,5%	154,8%	114,6%	77,4%	40,7%	81,3%	57,5%
Sb 123	151,1%	124,8%	165,2%	146,2%	114,1%	125,3%	149,0%	61,1%
Hf 178	17,3%	14,6%	15,5%	15,8%	17,4%	9,5%	2,2%	5,5%
Ta 181	77,0%	58,2%	79,7%	71,4%	117,6%	81,1%	90,6%	88,3%
W 182	88,7%	60,4%	77,3%	77,0%	82,6%	75,4%	59,7%	62,6%
Pb 208	-16,3%	-18,2%	-12,8%	-13,4%	-19,7%	-19,0%	-19,3%	-10,9%
Bi 209	21,9%	29,7%	33,9%	35,9%	-29,8%	-43,8%	44,1%	-32,0%
Th 232	-1,3%	0,0%	-4,0%	4,0%	24,2%	12,7%	2,0%	1,1%
U 238	5,3%	3,6%	9,5%	7,5%	2,3%	-3,8%	-9,6%	-19,1%

Isotop	JB-3.T.2	JB-3.T.3	JB-3.H.1	JB-3.H.2	JB-3.H.3	JB-3.B.1	JB-3.B.2	JB-3.B.3
As 75	238,2%	229,2%	1002,0%	986,7%	1147,9%	165,8%	208,4%	235,0%
Zr 90	1,0%	5,5%	-20,6%	-32,8%	-40,7%	-11,2%	-6,4%	-3,4%
Zr 91	-0,8%	3,9%	-22,9%	-35,4%	-41,9%	-11,5%	-7,7%	-4,4%
Nb 93	-25,2%	-17,4%	-35,3%	-45,9%	-52,0%	-16,8%	-24,1%	-24,0%
Mo 95	-3,8%	4,5%	-19,3%	-34,6%	-42,8%	3,5%	1,1%	1,7%
Cd 111	65,9%	28,8%	-13,4%	45,9%	86,6%	25,6%	10,1%	-2,4%
Cd 114	-6,6%	10,3%	-16,6%	4,1%	29,5%	1,9%	-6,3%	-9,5%
Sn 118	2,5%	8,6%	2,5%	13,7%	26,0%	6,1%	-2,4%	-0,4%
Sn 120	2,5%	5,3%	3,6%	17,7%	23,0%	3,1%	-0,3%	1,2%
Sb 121	72,1%	88,1%	66,4%	97,8%	117,4%	62,2%	76,5%	72,1%
Sb 123	63,0%	106,4%	119,4%	153,8%	159,7%	135,1%	127,1%	138,3%
Hf 178	2,3%	4,3%	-4,5%	3,9%	0,8%	2,7%	0,0%	-2,2%
Ta 181	68,8%	100,8%	108,0%	81,8%	71,4%	172,6%	79,0%	69,2%
W 182	51,0%	72,4%	67,7%	65,3%	65,6%	100,9%	60,8%	55,3%
Pb 208	-12,5%	-6,9%	-18,0%	-25,0%	-33,6%	-9,6%	-10,5%	-8,8%
Bi 209	-30,7%	-15,5%	-29,4%	-29,1%	-37,7%	-22,1%	-27,6%	-33,8%
Th 232	-2,0%	-3,2%	-14,3%	-12,8%	-16,0%	8,8%	6,8%	7,1%
U 238	-13,1%	-19,9%	-23,2%	-20,9%	-28,3%	-2,8%	-8,1%	-9,0%

Regression

Isotop	m	σm	rel. Fehler (m)	b	σb	rel. Fehler (b)	R ²
As 75	87,7477	1,1272	1,28%	-0,0585	0,0372	-63,66%	0,999670
Zr 90	17,1686	0,2242	1,31%	0,7580	0,3644	48,08%	0,999659
Zr 91	85,2371	1,8328	2,15%	0,3091	0,6076	196,59%	0,999076
Nb 93	12,8600	0,2287	1,78%	-0,1170	0,1030	-88,10%	0,999368
Mo 95	76,7563	0,9195	1,20%	0,0091	0,0341	374,91%	0,999713
Cd 111	100,8210	2,9943	2,97%	-0,0341	0,0177	-52,03%	0,998239
Cd 114	34,4913	0,8856	2,57%	-0,0188	0,0150	-79,88%	0,998683
Sn 118	33,7863	0,4604	1,36%	-0,0633	0,0395	-62,41%	0,999629
Sn 120	23,6741	0,3371	1,42%	-0,0729	0,0414	-56,78%	0,999595
Sb 121	29,1026	3,0661	10,54%	0,0722	0,0540	74,76%	0,978282
Sb 123	36,2249	4,0703	11,24%	0,0817	0,0568	69,48%	0,975371
Hf 178	23,8460	0,2134	0,89%	0,0491	0,0507	103,09%	0,999840
Ta 181	16,0345	0,3338	2,08%	-0,0668	0,0130	-19,44%	0,999134
W 182	37,8757	0,1667	0,44%	0,0404	0,0124	30,73%	0,999961
Pb 208	22,5015	0,1949	0,87%	-0,1004	0,0501	-49,86%	0,999850
Bi 209	15,7289	0,1366	0,87%	-0,0079	0,0050	-62,98%	0,999849
Th 232	20,2451	0,4733	2,34%	0,0244	0,0662	271,52%	0,998908
U 238	25,8601	0,4720	1,83%	-0,0625	0,0529	-84,73%	0,999334

Nomenklatur:

- JA-2.O.x: japanischer Standard JA-2, ohne Zusatz
 JA-2.T.x: japanischer Standard JA-2, Zusatz TMAH
 JA-2.B.x: japanischer Standard JA-2, Zusatz H₃BO₄
 JA-2.H.x: japanischer Standard JA-2, Zusatz HCl
 JB-3.O.x: japanischer Standard JB-3, ohne Zusatz
 JB-3.T.x: japanischer Standard JB-3, Zusatz TMAH
 JB-3.B.x: japanischer Standard JB-3, Zusatz H₃BO₄
 JB-3.H.x: japanischer Standard JB-3, Zusatz HCl

CPS28051997Konzentrationen [$\mu\text{g/g}$]

Isotop	JA-2.T.1	JA-2.T.2	JA-2.T.3	JB-3.T.1	JB-3.T.2	JB-3.T.3
As 75	4.25 ± 0.23	4.39 ± 0.17	4.46 ± 0.26	6.39 ± 0.30	5.62 ± 0.29	4.95 ± 0.21
Zr 90	131.21 ± 4.36	136.43 ± 3.99	139.41 ± 4.11	111.91 ± 3.69	105.20 ± 3.5	100.20 ± 2.95
Zr 91	126.52 ± 5.20	132.78 ± 5.25	135.24 ± 4.13	110.75 ± 3.38	103.23 ± 3.03	99.02 ± 2.91
Nb 93	9.88 ± 0.56	10.45 ± 0.35	10.48 ± 0.46	2.38 ± 0.13	2.15 ± 0.07	2.18 ± 0.09
Mo 95	0.83 ± 0.05	0.75 ± 0.04	0.80 ± 0.03	1.33 ± 0.14	1.14 ± 0.04	1.22 ± 0.06
Cd 111	0.12 ± 0.02	0.13 ± 0.04	0.17 ± 0.04	0.15 ± 0.03	0.15 ± 0.02	0.13 ± 0.02
Cd 114	0.10 ± 0	0.08 ± 0.01	0.11 ± 0.03	0.10 ± 0.04	0.09 ± 0.03	0.09 ± 0.01
Sn 118	1.68 ± 0.05	1.63 ± 0.07	1.67 ± 0.05	1.01 ± 0.04	0.98 ± 0.04	1.00 ± 0.07
Sn 120	1.64 ± 0.05	1.55 ± 0.06	1.66 ± 0.06	1.04 ± 0.04	1.01 ± 0.04	1.02 ± 0.07
Sb 121	0.18 ± 0.04	0.22 ± 0.03	0.19 ± 0.04	0.14 ± 0.02	0.15 ± 0.02	0.16 ± 0.02
Sb 123	0.23 ± 0.02	0.24 ± 0.04	0.24 ± 0.02	0.17 ± 0.04	0.18 ± 0.03	0.15 ± 0.02
Hf 178	3.35 ± 0.24	3.26 ± 0.12	3.03 ± 0.15	2.61 ± 0.10	2.86 ± 0.21	2.81 ± 0.10
Ta 181	1.48 ± 0.18	1.61 ± 0.13	1.33 ± 0.11	0.28 ± 0.03	0.27 ± 0.03	0.31 ± 0.03
W 182	1.65 ± 0.11	1.73 ± 0.06	1.55 ± 0.04	1.58 ± 0.04	1.54 ± 0.04	1.64 ± 0.07
Pb 208	18.14 ± 0.45	17.92 ± 0.81	17.42 ± 0.72	4.41 ± 0.21	4.46 ± 0.17	4.45 ± 0.21
Bi 209	0.095 ± 0.007	0.096 ± 0.011	0.093 ± 0.01	0.016 ± 0.004	0.022 ± 0.002	0.021 ± 0.005
Th 232	5.32 ± 0.41	5.00 ± 0.23	4.77 ± 0.31	1.19 ± 0.08	1.26 ± 0.11	1.27 ± 0.08
U 238	2.17 ± 0.13	2.06 ± 0.08	2.06 ± 0.04	0.39 ± 0.03	0.44 ± 0.04	0.40 ± 0.01

relative Abweichung der internationalen Standards

Isotop	JA-2.T.1	JA-2.T.2	JA-2.T.3	JB-3.T.1	JB-3.T.2	JB-3.T.3
As 75	400,21%	416,34%	424,27%	247,44%	205,54%	169,21%
Zr 90	13,11%	17,61%	20,18%	14,43%	7,57%	2,46%
Zr 91	9,07%	14,47%	16,58%	13,24%	5,55%	1,25%
Nb 93	4,33%	10,30%	10,71%	-3,60%	-12,94%	-11,67%
Mo 95	38,42%	25,33%	32,59%	22,44%	4,54%	11,69%
Cd 111	52,00%	68,86%	124,34%	82,93%	83,08%	65,11%
Cd 114	23,53%	-3,18%	38,00%	17,60%	8,12%	8,50%
Sn 118	-0,08%	-3,14%	-0,78%	7,30%	4,41%	6,56%
Sn 120	-2,36%	-7,83%	-1,08%	11,08%	7,27%	7,98%
Sb 121	29,43%	58,48%	35,03%	15,27%	24,19%	32,85%
Sb 123	61,32%	74,60%	69,03%	38,48%	53,62%	28,22%
Hf 178	16,98%	13,91%	5,95%	-2,27%	7,08%	5,22%
Ta 181	85,39%	101,11%	65,98%	89,32%	77,26%	109,14%
W 182	66,48%	74,25%	56,40%	48,84%	45,18%	54,69%
Pb 208	-5,53%	-6,68%	-9,27%	-20,94%	-20,12%	-20,26%
Bi 209	35,06%	36,62%	33,09%	-29,05%	-3,21%	-9,63%
Th 232	5,71%	-0,65%	-5,12%	-6,10%	-0,75%	0,03%
U 238	-1,73%	-6,75%	-6,84%	-19,60%	-8,63%	-15,96%

Regression

Isotop	m	σ_m	rel. Fehler(m)	b	σ_b	rel. Fehler(b)	R²
As 75	306,0051	9,8897	3,23%	0,1353	0,0885	65,40%	0,989663
Zr 90	51,7472	1,3794	2,67%	1,4772	0,7281	49,29%	0,992945
Zr 91	236,0946	6,5537	2,78%	1,4843	0,7580	51,06%	0,992353
Nb 93	32,8753	0,9684	2,95%	0,1580	0,1640	103,83%	0,991397
Mo 95	168,4495	4,7288	2,81%	0,0859	0,0780	90,81%	0,992181
Cd 111	188,2715	7,1074	3,78%	0,0170	0,0210	123,18%	0,985949
Cd 114	76,1526	2,7868	3,66%	0,0160	0,0204	127,41%	0,986785
Sn 118	89,9419	2,1867	2,43%	0,0384	0,0685	178,23%	0,994124
Sn 120	64,5398	1,4234	2,21%	0,0376	0,0622	165,24%	0,995159
Sb 121	88,7597	3,5980	4,05%	0,0267	0,0222	83,17%	0,983834
Sb 123	113,2279	4,9712	4,39%	0,0324	0,0238	73,53%	0,981088
Hf 178	20,8017	0,3823	1,84%	0,1203	0,1030	85,61%	0,996635
Ta 181	24,8319	1,9040	7,67%	-0,5134	0,0783	-15,26%	0,944473
W 182	30,6225	0,3160	1,03%	0,0699	0,0288	41,28%	0,998936
Pb 208	17,9680	0,3884	2,16%	-0,0136	0,1233	-908,25%	0,995350
Bi 209	12,7701	0,3505	2,74%	-0,0010	0,0156	-1632,19%	0,992524
Th 232	14,8580	0,3572	2,40%	0,0319	0,0678	212,75%	0,994255
U 238	16,1504	0,2807	1,74%	-0,0218	0,0498	-228,49%	0,996989

Nomenklatur

Analog CPS13051997

CPS04061997Konzentrationen [$\mu\text{g/g}$]

Isotop	JA2.H.1	JA2.H.2	JA2.H.3	JB3.H.1	JB3.H.2	JB3.H.3
As 75	3,25 ± 0,64	3,63 ± 0,71	2,97 ± 0,67	2,97 ± 0,60	3,42 ± 0,70	3,63 ± 0,76
Zr 90	110,60 ± 5,54	112,81 ± 5,94	104,89 ± 6,54	82,51 ± 4,53	87,11 ± 5,27	87,58 ± 5,64
Zr 91	113,44 ± 3,71	115,65 ± 4,75	105,76 ± 5,00	85,24 ± 3,28	90,57 ± 3,95	89,25 ± 4,41
Nb 93	9,79 ± 0,51	9,82 ± 0,46	8,95 ± 0,52	1,97 ± 0,10	1,98 ± 0,14	2,04 ± 0,12
Mo 95	0,76 ± 0,05	0,79 ± 0,03	0,64 ± 0,06	1,01 ± 0,06	1,03 ± 0,05	0,99 ± 0,07
Cd 111	0,11 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,13 ± 0,04	0,11 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,20 ± 0,04
Cd 114	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,10 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01
Sn 118	1,60 ± 0,05	1,59 ± 0,09	1,55 ± 0,11	0,93 ± 0,01	1,00 ± 0,04	1,01 ± 0,07
Sn 120	1,57 ± 0,04	1,60 ± 0,05	1,51 ± 0,05	0,94 ± 0,04	1,00 ± 0,05	0,96 ± 0,04
Sb 121	0,18 ± 0,01	0,19 ± 0,03	0,17 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,15 ± 0,02
Sb 123	0,20 ± 0,04	0,20 ± 0,01	0,20 ± 0,05	0,14 ± 0,02	0,16 ± 0,02	0,22 ± 0,07
Hf 178	3,15 ± 0,07	2,92 ± 0,04	3,07 ± 0,14	2,76 ± 0,04	2,83 ± 0,05	2,66 ± 0,04
Ta 181	1,77 ± 0,13	1,63 ± 0,09	1,66 ± 0,08	0,38 ± 0,03	0,30 ± 0,02	0,28 ± 0,01
W 182	1,84 ± 0,13	1,70 ± 0,06	1,71 ± 0,06	1,64 ± 0,07	1,61 ± 0,08	1,55 ± 0,08
Pb 208	19,06 ± 0,50	18,35 ± 0,51	18,59 ± 0,63	4,88 ± 0,17	4,84 ± 0,12	4,51 ± 0,12
Bi 209	0,094 ± 0,004	0,092 ± 0,004	0,090 ± 0,01	0,020 ± 0,006	0,018 ± 0,006	0,013 ± 0,005
Th 232	5,09 ± 0,20	4,89 ± 0,13	5,17 ± 0,23	1,39 ± 0,04	1,40 ± 0,05	1,30 ± 0,06
U 238	2,29 ± 0,13	2,20 ± 0,11	2,25 ± 0,09	0,42 ± 0,04	0,47 ± 0,03	0,48 ± 0,06

Isotop	JA2.B.1	JA2.B.2	JA2.B.3	JB3.B.1	JB3.B.2	JB3.B.3
As 75	3,89 ± 0,66	3,88 ± 0,61	3,75 ± 0,58	5,76 ± 0,97	4,63 ± 0,73	4,92 ± 0,77
Zr 90	124,68 ± 8,87	122,16 ± 8,32	114,46 ± 7,67	103,73 ± 6,52	93,85 ± 5,80	100,95 ± 5,95
Zr 91	126,47 ± 8,60	124,05 ± 8,01	117,09 ± 7,20	104,42 ± 6,36	94,94 ± 5,44	100,89 ± 5,61
Nb 93	10,54 ± 0,63	10,61 ± 0,48	9,72 ± 0,48	2,58 ± 0,15	2,06 ± 0,09	2,16 ± 0,11
Mo 95	0,73 ± 0,07	0,89 ± 0,04	0,85 ± 0,15	1,18 ± 0,09	1,13 ± 0,06	1,27 ± 0,06
Cd 111	0,09 ± 0,03	0,12 ± 0,01	0,14 ± 0,06	0,15 ± 0,05	0,08 ± 0,03	0,10 ± 0,04
Cd 114	0,11 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,10 ± 0,01	0,10 ± 0,02	0,09 ± 0,03	0,10 ± 0,01
Sn 118	1,55 ± 0,09	1,63 ± 0,03	1,63 ± 0,03	1,04 ± 0,05	0,93 ± 0,06	0,95 ± 0,03
Sn 120	1,68 ± 0,05	1,62 ± 0,09	1,65 ± 0,04	1,07 ± 0,04	0,96 ± 0,02	0,97 ± 0,02
Sb 121	0,21 ± 0,04	0,22 ± 0,01	0,18 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,11 ± 0,02	0,12 ± 0,01
Sb 123	0,22 ± 0,05	0,24 ± 0,01	0,17 ± 0,02	0,15 ± 0,02	0,16 ± 0,02	0,17 ± 0,03
Hf 178	3,01 ± 0,08	2,96 ± 0,09	3,01 ± 0,08	2,70 ± 0,09	2,75 ± 0,08	2,68 ± 0,10
Ta 181	1,75 ± 0,09	1,82 ± 0,08	1,74 ± 0,07	0,52 ± 0,03	0,36 ± 0,03	0,33 ± 0,01
W 182	2,03 ± 0,14	2,00 ± 0,12	1,74 ± 0,08	1,97 ± 0,13	1,62 ± 0,07	1,58 ± 0,08
Pb 208	17,74 ± 1,17	18,07 ± 1,20	17,3 ± 1,20	4,35 ± 0,31	4,40 ± 0,30	4,40 ± 0,31
Bi 209	0,085 ± 0,016	0,092 ± 0,010	0,079 ± 0,016	0,010 ± 0,006	0,009 ± 0,003	0,017 ± 0,008
Th 232	4,89 ± 0,39	4,72 ± 0,31	4,77 ± 0,29	1,22 ± 0,08	1,21 ± 0,07	1,28 ± 0,07
U 238	2,12 ± 0,13	2,25 ± 0,16	2,17 ± 0,16	0,41 ± 0,03	0,43 ± 0,05	0,44 ± 0,05

Relative Abweichung der internationalen Standards

Isotop	JA2.H.1	JA2.H.2	JA2.H.3	JB3.H.1	JB3.H.2	JB3.H.3
As 75	282,89%	326,84%	248,91%	61,27%	85,96%	97,55%
Zr 90	-4,66%	-2,75%	-9,58%	-15,63%	-10,93%	-10,45%
Zr 91	-2,21%	-0,30%	-8,83%	-12,85%	-7,39%	-8,74%
Nb 93	3,37%	3,74%	-5,51%	-20,28%	-19,64%	-17,48%
Mo 95	26,19%	31,90%	6,13%	-6,92%	-5,48%	-9,26%
Cd 111	42,54%	53,12%	67,24%	39,66%	53,49%	141,46%
Cd 114	46,94%	38,25%	34,27%	-3,15%	11,78%	14,72%
Sn 118	-4,47%	-5,44%	-7,75%	-1,07%	5,94%	7,32%
Sn 120	-6,30%	-4,92%	-10,27%	0,30%	6,84%	2,34%

Isotop	JA2.H.1	JA2.H.2	JA2.H.3	JB3.H.1	JB3.H.2	JB3.H.3
Sb 121	27,29%	39,08%	24,34%	7,84%	20,22%	28,23%
Sb 123	45,14%	40,69%	45,18%	12,98%	34,54%	86,06%
Hf 178	10,18%	1,96%	7,34%	3,25%	5,86%	-0,50%
Ta 181	121,45%	104,32%	107,46%	151,10%	100,04%	89,84%
W 182	85,81%	71,70%	72,65%	54,65%	52,06%	45,88%
Pb 208	-0,73%	-4,42%	-3,19%	-12,59%	-13,21%	-19,24%
Bi 209	34,86%	31,44%	29,06%	-15,16%	-19,83%	-42,82%
Th 232	1,24%	-2,88%	2,80%	9,61%	10,34%	2,49%
U 238	3,50%	-0,30%	2,00%	-12,96%	-1,06%	0,10%

Isotop	JA2.B.1	JA2.B.2	JA2.B.3	JB3.B.1	JB3.B.2	JB3.B.3
As 75	358,16%	356,26%	341,42%	213,30%	151,66%	167,56%
Zr 90	7,48%	5,31%	-1,33%	6,06%	-4,04%	3,23%
Zr 91	9,02%	6,94%	0,94%	6,77%	-2,92%	3,16%
Nb 93	11,25%	12,01%	2,63%	4,47%	-16,53%	-12,61%
Mo 95	21,70%	47,71%	41,70%	8,01%	3,59%	16,89%
Cd 111	20,12%	53,88%	80,65%	84,28%	0,55%	24,27%
Cd 114	37,15%	39,88%	27,99%	27,52%	8,23%	19,60%
Sn 118	-7,49%	-2,91%	-3,13%	10,72%	-1,24%	1,17%
Sn 120	0,24%	-3,35%	-1,86%	13,30%	2,44%	2,93%
Sb 121	47,36%	56,93%	29,05%	30,49%	-12,05%	-2,11%
Sb 123	58,33%	71,01%	19,77%	28,53%	32,59%	38,57%
Hf 178	5,40%	3,56%	5,19%	1,00%	2,99%	0,40%
Ta 181	119,01%	126,94%	117,64%	243,79%	137,63%	121,79%
W 182	104,92%	102,15%	76,25%	86,13%	53,03%	48,68%
Pb 208	-7,61%	-5,90%	-9,92%	-22,05%	-21,23%	-21,20%
Bi 209	21,52%	31,68%	13,11%	-58,45%	-59,74%	-28,22%
Th 232	-2,83%	-6,24%	-5,11%	-3,98%	-4,79%	0,59%
U 238	-4,16%	1,69%	-1,85%	-15,23%	-10,67%	-8,76%

Regression

Zusatz: 1 Vol.-% 6N HCl***

Isotop	m	σm	rel Fehler(m)	b	σb	rel Fehler(b)	R ²
As 75	216,5170	38,0035	17,55%	-3,5535	1,0534	-29,65%	0,764479
Zr 90	57,1411	0,8174	1,43%	0,5144	0,4018	78,11%	0,997958
Zr 91	250,7531	3,5427	1,41%	0,6638	0,3952	59,54%	0,998008
Nb 93	35,4938	0,5152	1,45%	0,0825	0,0818	99,18%	0,997897
Mo 95	178,3392	1,6039	0,90%	0,0578	0,0252	43,66%	0,999192
Cd 111	194,4237	4,0889	2,10%	0,0134	0,0118	87,77%	0,995597
Cd 114	74,9844	1,4692	1,96%	0,0004	0,0112	3185,02%	0,996176
Sn 118	84,1155	0,6959	0,83%	-0,0113	0,0237	-208,92%	0,999316
Sn 120	61,7461	0,5840	0,95%	-0,0032	0,0270	-845,74%	0,999106
Sb 121	85,6158	1,4180	1,66%	0,0153	0,0092	60,38%	0,997264
Sb 123	113,6562	1,3975	1,23%	0,0067	0,0069	102,90%	0,998490
Hf 178	20,9986	0,0340	0,16%	0,0063	0,0092	146,07%	0,999974
Ta 181	15,7756	0,5816	3,69%	-0,0547	0,0226	-41,29%	0,986589
W 182	30,6830	0,4300	1,40%	0,0328	0,0396	120,73%	0,998040
Pb 208	22,1565	0,2353	1,06%	-0,1102	0,0615	-55,77%	0,998873
Bi 209	14,9476	0,1482	0,99%	-0,0036	0,0057	-157,24%	0,999019
Th 232	30,6743	0,2458	0,80%	-0,0085	0,0229	-268,65%	0,999358
U 238	48,1102	0,7262	1,51%	0,0157	0,0428	272,13%	0,997727

Zusatz: 0,5 Vol.-% H₃BO₄

Isotop	m	σm	rel Fehler(m)	b	σb	rel Fehler(b)	R ²
As 75	433,5024	27,6473	6,38%	-0,0677	0,1839	-271,72%	0,960915
Zr 90	63,4122	1,9887	3,14%	-0,2741	0,8991	-327,99%	0,990261

Isotop	m	σ_m	rel Fehler(m)	b	σ_b	rel Fehler(b)	R ²
Zr 91	275,8236	7,7944	2,83%	0,0468	0,8033	1716,72%	0,992078
Nb 93	39,0878	0,9680	2,48%	-0,0437	0,1419	-324,57%	0,993904
Mo 95	194,1848	4,1088	2,12%	0,0587	0,0593	100,97%	0,995543
Cd 111	212,3602	3,5088	1,65%	0,0019	0,0094	507,28%	0,997277
Cd 114	78,5058	1,5170	1,93%	-0,0053	0,0111	-208,69%	0,996280
Sn 118	84,7050	0,6430	0,76%	0,0456	0,0214	46,84%	0,999424
Sn 120	60,6810	0,3487	0,57%	0,0379	0,0162	42,78%	0,999670
Sb 121	80,8703	1,5232	1,88%	0,0168	0,0105	62,52%	0,996465
Sb 123	98,9348	2,3372	2,36%	0,0293	0,0129	44,04%	0,994450
Hf 178	19,8737	0,4364	2,20%	0,2082	0,1215	58,36%	0,995202
Ta 181	17,4220	0,3888	2,23%	-0,0510	0,0136	-26,72%	0,995044
W 182	30,4296	0,6450	2,12%	0,1390	0,0581	41,77%	0,995527
Pb 208	19,4291	0,7494	3,86%	0,2599	0,2114	81,34%	0,985339
Bi 209	13,1223	0,5521	4,21%	0,0382	0,0227	59,33%	0,982603
Th 232	24,5118	1,0545	4,30%	0,2227	0,1148	51,53%	0,981828
U 238	39,1183	1,5847	4,05%	0,1847	0,1093	59,18%	0,983854

CPS05061997Konzentrationen [$\mu\text{g/g}$]

Isotop	JA2.H.1	JA2.H.2	JA2.H.3	JB3.H.1	JB3.H.2	JB3.H.3	JA2.B.1
As 75	4.10 ± 0.26	4.07 ± 0.17	4.16 ± 0.19	4.69 ± 0.19	4.72 ± 0.26	4.61 ± 0.17	4.68 ± 0.21
Zr 90	114.77 ± 1.50	116.49 ± 1.63	114.91 ± 1.87	92.13 ± 1.88	95.38 ± 2.08	95.04 ± 1.37	114.93 ± 2.91
Zr 91	114.58 ± 1.94	117.27 ± 2.29	118.93 ± 3.62	95.08 ± 1.09	95.82 ± 1.71	98.05 ± 1.07	117.32 ± 1.92
Nb 93	9.44 ± 0.05	9.75 ± 0.32	9.78 ± 0.19	2.24 ± 0.05	2.23 ± 0.14	2.17 ± 0.01	10.02 ± 0.16
Mo 95	0.74 ± 0.09	0.76 ± 0.05	0.70 ± 0.04	1.16 ± 0.06	1.16 ± 0.07	1.31 ± 0.08	0.84 ± 0.10
Cd 111	0.25 ± 0.03	0.17 ± 0.04	0.19 ± 0.02	0.17 ± 0.09	0.16 ± 0.03	0.18 ± 0.02	0.19 ± 0.04
Cd 114	0.12 ± 0.01	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.10 ± 0.04	0.09 ± 0.02
Sn 118	1.66 ± 0.07	1.65 ± 0.04	1.58 ± 0.02	0.99 ± 0.03	1.00 ± 0.03	0.98 ± 0.08	1.69 ± 0.07
Sn 120	1.61 ± 0.09	1.65 ± 0.03	1.60 ± 0.03	1.04 ± 0.02	0.96 ± 0.06	1.00 ± 0.01	1.62 ± 0.05
Sb 121	0.20 ± 0.01	0.20 ± 0.03	0.19 ± 0.02	0.15 ± 0.01	0.16 ± 0.03	0.14 ± 0.01	0.22 ± 0.03
Sb 123	0.27 ± 0.02	0.28 ± 0.02	0.28 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.31 ± 0.01	0.28 ± 0.06	0.24 ± 0.02
Hf 178	2.95 ± 0.03	2.87 ± 0.04	2.84 ± 0.03	2.57 ± 0.03	2.71 ± 0.03	2.60 ± 0.07	2.97 ± 0.13
Ta 181	1.57 ± 0.09	1.52 ± 0.09	1.53 ± 0.09	0.35 ± 0.02	0.30 ± 0.02	0.27 ± 0.03	1.70 ± 0.02
W 182	1.66 ± 0.03	1.64 ± 0.02	1.66 ± 0.05	1.56 ± 0.03	1.49 ± 0.04	1.58 ± 0.05	1.86 ± 0.09
Pb 208	17.44 ± 0.40	17.55 ± 0.18	17.07 ± 0.10	4.47 ± 0.08	4.54 ± 0.09	4.31 ± 0.15	18.73 ± 0.30
Bi 209	0.111 ± 0.012	0.087 ± 0.004	0.109 ± 0.007	0.023 ± 0.008	0.030 ± 0.013	0.022 ± 0.011	0.095 ± 0.015
Th 232	4.73 ± 0.19	4.62 ± 0.16	4.77 ± 0.23	1.24 ± 0.07	1.28 ± 0.04	1.23 ± 0.12	4.89 ± 0.15
U 238	2.10 ± 0.12	2.31 ± 0.22	2.37 ± 0.12	0.53 ± 0.04	0.53 ± 0.01	0.52 ± 0.02	2.19 ± 0.09

Isotop	JA2.B.2	JA2.B.3	JB3.B.1	JB3.B.2	JB3.B.3	JA2.T.1	JA2.T.2
As 75	3.9 ± 0.16	4.02 ± 0.28	5.41 ± 0.19	5.39 ± 0.09	5.66 ± 0.21	4.67 ± 0.14	4.71 ± 0.32
Zr 90	115.10 ± 1.71	114.46 ± 1.19	92.27 ± 1.36	91.92 ± 1.17	91.50 ± 1.43	130.96 ± 1.96	135.63 ± 1.79
Zr 91	117.13 ± 1.81	116.32 ± 1.50	93.41 ± 1.57	93.07 ± 1.27	93.47 ± 1.38	131.96 ± 1.77	136.35 ± 3.44
Nb 93	10.52 ± 0.36	10.32 ± 0.22	2.42 ± 0.05	2.18 ± 0.03	2.21 ± 0.04	10.32 ± 0.28	10.7 ± 0.29
Mo 95	0.93 ± 0.06	0.90 ± 0.05	1.35 ± 0.09	1.29 ± 0.11	1.23 ± 0.07	0.97 ± 0.11	0.95 ± 0.10
Cd 111	0.17 ± 0.04	0.23 ± 0.04	0.23 ± 0.02	0.20 ± 0.03	0.22 ± 0.03	0.20 ± 0.06	0.17 ± 0.01
Cd 114	0.11 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.11 ± 0.02	0.11 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.12 ± 0.01
Sn 118	1.72 ± 0.12	1.54 ± 0.04	1.12 ± 0.02	0.96 ± 0.03	0.99 ± 0.07	1.74 ± 0.04	1.65 ± 0.09
Sn 120	1.69 ± 0.05	1.64 ± 0.06	1.06 ± 0.05	1.00 ± 0.06	0.99 ± 0.05	1.60 ± 0.03	1.65 ± 0.03
Sb 121	0.22 ± 0.02	0.21 ± 0.02	0.15 ± 0.02	0.15 ± 0.03	0.15 ± 0.02	0.21 ± 0.01	0.22 ± 0.01
Sb 123	0.26 ± 0.04	0.24 ± 0.05	0.20 ± 0.02	0.21 ± 0.02	0.18 ± 0.01	0.22 ± 0.04	0.25 ± 0.03
Hf 178	2.90 ± 0.11	2.94 ± 0.12	2.50 ± 0.07	2.61 ± 0.05	2.59 ± 0.10	3.18 ± 0.05	3.16 ± 0.05
Ta 181	1.74 ± 0.03	1.61 ± 0.04	0.48 ± 0.01	0.31 ± 0.01	0.31 ± 0.01	1.29 ± 0.32	1.45 ± 0.37
W 182	1.86 ± 0.12	1.80 ± 0.08	2.02 ± 0.06	1.63 ± 0.06	1.62 ± 0.05	1.89 ± 0.10	1.85 ± 0.10
Pb 208	19.13 ± 0.34	18.49 ± 0.17	4.92 ± 0.06	4.80 ± 0.13	4.67 ± 0.20	17.28 ± 0.52	17.48 ± 0.53
Bi 209	0.091 ± 0.010	0.105 ± 0.004	0.021 ± 0.015	0.023 ± 0.007	0.022 ± 0.004	0.094 ± 0.016	0.094 ± 0.011
Th 232	4.93 ± 0.12	4.59 ± 0.20	1.19 ± 0.03	1.21 ± 0.04	1.25 ± 0.09	4.66 ± 0.19	4.66 ± 0.26

Isotop	JA2.B.2	JA2.B.3	JB3.B.1	JB3.B.2	JB3.B.3	JA2.T.1	JA2.T.2
U 238	2.18 ± 0.19	2.13 ± 0.10	0.49 ± 0.03	0.43 ± 0.04	0.43 ± 0.04	2.02 ± 0.14	2.00 ± 0.10
Isotop	JA2.T.3	JB3.T.1	JB3.T.2	JB3.T.3			
As 75	4.39 ± 0.11	6.08 ± 0.58	5.80 ± 0.44	4.78 ± 0.07			
Zr 90	131.67 ± 7.15	98.17 ± 1.65	99.18 ± 1.31	94.98 ± 0.66			
Zr 91	134.54 ± 5.00	99.48 ± 1.01	102.17 ± 1.57	97.43 ± 0.97			
Nb 93	10.34 ± 0.48	2.24 ± 0.05	2.14 ± 0.07	2.12 ± 0.07			
Mo 95	0.89 ± 0.12	1.22 ± 0.14	1.37 ± 0.02	1.25 ± 0.07			
Cd 111	0.23 ± 0.05	0.19 ± 0.01	0.18 ± 0.03	0.18 ± 0.02			
Cd 114	0.09 ± 0.03	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.09 ± 0.01			
Sn 118	1.67 ± 0.06	1.04 ± 0.07	0.99 ± 0.03	1.05 ± 0.09			
Sn 120	1.65 ± 0.05	0.97 ± 0.09	1.00 ± 0.03	1.01 ± 0.03			
Sb 121	0.27 ± 0.05	0.18 ± 0.04	0.19 ± 0.05	0.20 ± 0.02			
Sb 123	0.23 ± 0.04	0.19 ± 0.03	0.20 ± 0.04	0.18 ± 0.02			
Hf 178	3.20 ± 0.07	2.82 ± 0.08	2.89 ± 0.10	2.92 ± 0.05			
Ta 181	1.36 ± 0.34	0.30 ± 0.08	0.27 ± 0.07	0.28 ± 0.07			
W 182	1.85 ± 0.06	1.78 ± 0.07	1.68 ± 0.04	1.82 ± 0.04			
Pb 208	17.79 ± 0.83	5.03 ± 0.12	5.08 ± 0.13	5.14 ± 0.18			
Bi 209	0.108 ± 0.006	0.026 ± 0.011	0.042 ± 0.011	0.030 ± 0.005			
Th 232	4.80 ± 0.24	1.29 ± 0.12	1.34 ± 0.05	1.33 ± 0.08			
U 238	2.00 ± 0.21	0.43 ± 0.05	0.51 ± 0.06	0.50 ± 0.03			

Relative Abweichung der internationalen Standards

Isotop	JA2.H.1	JA2.H.2	JA2.H.3	JB3.H.1	JB3.H.2	JB3.H.3	JA2.B.1
As 75	382,26%	378,31%	389,14%	154,73%	156,66%	150,38%	450,23%
Zr 90	-1,06%	0,42%	-0,94%	-5,79%	-2,47%	-2,82%	-0,92%
Zr 91	-1,22%	1,09%	2,53%	-2,78%	-2,02%	0,25%	1,13%
Nb 93	-0,32%	2,95%	3,32%	-9,44%	-9,68%	-12,08%	5,77%
Mo 95	23,56%	26,60%	17,37%	6,83%	6,30%	20,55%	40,68%
Cd 111	222,41%	113,80%	137,80%	112,65%	102,34%	120,13%	137,23%
Cd 114	49,19%	28,74%	25,35%	21,28%	23,86%	24,72%	10,72%
Sn 118	-1,13%	-1,69%	-5,83%	4,82%	6,69%	4,67%	0,89%
Sn 120	-4,02%	-1,95%	-4,95%	10,61%	2,46%	6,76%	-3,62%
Sb 121	40,67%	39,60%	39,01%	24,28%	34,08%	17,81%	54,01%
Sb 123	95,31%	96,44%	99,36%	102,68%	159,55%	131,70%	74,67%
Hf 178	3,15%	0,38%	-0,75%	-3,62%	1,65%	-2,79%	3,89%
Ta 181	95,85%	89,86%	91,78%	130,37%	101,64%	79,89%	112,37%
W 182	67,99%	65,38%	67,42%	46,89%	40,58%	49,20%	88,32%
Pb 208	-9,19%	-8,59%	-11,10%	-19,92%	-18,64%	-22,71%	-2,45%
Bi 209	58,28%	24,54%	55,52%	-2,14%	28,96%	-3,13%	35,34%
Th 232	-6,00%	-8,17%	-5,17%	-2,13%	0,55%	-3,17%	-2,71%
U 238	-5,03%	4,56%	7,38%	11,41%	11,13%	8,55%	-0,81%

Isotop	JA2.B.2	JA2.B.3	JB3.B.1	JB3.B.2	JB3.B.3	JA2.T.1	JA2.T.2
As 75	359,26%	373,47%	193,88%	192,90%	207,48%	449,09%	454,59%
Zr 90	-0,78%	-1,32%	-5,65%	-6,01%	-6,45%	12,90%	16,93%
Zr 91	0,97%	0,27%	-4,49%	-4,83%	-4,43%	13,76%	17,55%
Nb 93	11,09%	8,98%	-1,84%	-11,74%	-10,37%	8,97%	12,95%
Mo 95	55,52%	49,67%	23,71%	17,95%	13,06%	61,65%	57,96%
Cd 111	115,28%	194,87%	178,46%	145,96%	166,59%	157,83%	116,11%
Cd 114	44,40%	18,26%	35,76%	36,09%	37,28%	35,45%	58,31%
Sn 118	2,25%	-8,04%	18,81%	2,10%	5,37%	3,85%	-1,61%
Sn 120	0,79%	-2,29%	12,99%	6,27%	5,49%	-5,06%	-1,80%
Sb 121	58,95%	51,31%	22,11%	27,92%	25,39%	48,45%	60,70%
Sb 123	87,08%	74,18%	66,33%	71,80%	52,08%	54,78%	78,00%
Hf 178	1,40%	2,87%	-6,19%	-2,08%	-3,18%	11,35%	10,43%
Ta 181	117,88%	101,54%	217,06%	109,38%	108,12%	61,44%	80,64%
W 182	87,60%	82,11%	90,94%	53,86%	52,66%	90,56%	86,63%

Isotop	JA2.B.2	JA2.B.3	JB3.B.1	JB3.B.2	JB3.B.3	JA2.T.1	JA2.T.2
Pb 208	-0,34%	-3,69%	-11,74%	-13,92%	-16,25%	-10,00%	-8,96%
Bi 209	30,55%	50,27%	-9,46%	-1,61%	-6,41%	33,65%	34,55%
Th 232	-2,08%	-8,68%	-6,43%	-4,61%	-1,65%	-7,43%	-7,45%
U 238	-1,52%	-3,69%	2,85%	-11,04%	-11,10%	-8,78%	-9,38%

Isotop	JA2.T.3	JB3.T.1	JB3.T.2	JB3.T.3
As 75	416,57%	230,50%	215,39%	159,67%
Zr 90	13,51%	0,38%	1,41%	-2,88%
Zr 91	15,98%	1,72%	4,47%	-0,38%
Nb 93	9,19%	-9,31%	-13,36%	-13,98%
Mo 95	48,60%	11,76%	25,34%	14,22%
Cd 111	198,04%	134,57%	118,97%	124,82%
Cd 114	11,04%	23,77%	18,84%	10,76%
Sn 118	-0,61%	10,96%	5,75%	12,01%
Sn 120	-1,77%	3,29%	6,68%	7,67%
Sb 121	96,32%	46,96%	58,72%	70,71%
Sb 123	66,63%	61,78%	65,18%	50,73%
Hf 178	12,06%	5,69%	8,16%	9,54%
Ta 181	70,15%	97,01%	83,22%	88,14%
W 182	87,30%	68,31%	58,12%	71,74%
Pb 208	-7,37%	-9,77%	-9,03%	-7,91%
Bi 209	54,58%	12,11%	81,28%	28,53%
Th 232	-4,62%	1,20%	5,84%	4,70%
U 238	-9,28%	-11,43%	6,86%	3,53%

Regression

Zusatz: 0,5 Vol.-% H₃BO₄

Isotop	m	σm	rel. Fehler(m)	b	σb	rel. Fehler(b)	R ²
As 75	305,8057	2,1950	0,72%	-0,1830	0,0215	-11,75%	0,999897
Zr 90	47,5978	0,1573	0,33%	-0,1211	0,0945	-78,05%	0,999978
Zr 91	206,1310	1,7116	0,83%	0,2626	0,2350	89,49%	0,999862
Nb 93	30,8853	0,0990	0,32%	-0,0881	0,0185	-20,99%	0,999979
Mo 95	164,7116	4,0007	2,43%	-0,0741	0,0706	-95,36%	0,998821
Cd 111	218,1598	14,3015	6,56%	-0,0638	0,0407	-63,79%	0,991478
Cd 114	81,5052	1,9628	2,41%	-0,0170	0,0141	-82,63%	0,998841
Sn 118	83,8750	0,6183	0,74%	-0,0005	0,0210	-3835,42%	0,999891
Sn 120	59,4876	0,3998	0,67%	0,0393	0,0190	48,22%	0,999910
Sb 121	87,7913	8,2284	9,37%	-0,0077	0,0538	-702,44%	0,982734
Sb 123	102,2914	3,1702	3,10%	0,0070	0,0175	249,18%	0,998083
Hf 178	20,5103	0,3505	1,71%	0,1935	0,0948	49,00%	0,999416
Ta 181	18,5962	0,2217	1,19%	-0,0550	0,0073	-13,32%	0,999716
W 182	33,7511	0,4904	1,45%	0,0641	0,0407	63,44%	0,999578
Pb 208	23,3925	0,1861	0,80%	-0,0031	0,0454	-1465,93%	0,999873
Bi 209	16,2014	0,2164	1,34%	-0,0016	0,0076	-469,92%	0,999643
Th 232	35,9170	0,6914	1,93%	0,0945	0,0534	56,56%	0,999259
U 238	55,4439	0,7812	1,41%	0,0016	0,0401	2446,73%	0,999603

Zusatz: 0,5 Vol.-% TMAH

Isotop	m	σm	rel. Fehler(m)	b	σb	rel. Fehler(b)	R ²
As 75	234,9715	2,7041	1,15%	0,0294	0,0325	110,50%	0,999735
Zr 90	46,4051	0,2684	0,58%	0,0349	0,1647	471,64%	0,999933
Zr 91	206,4704	1,4212	0,69%	0,2302	0,1949	84,67%	0,999905
Nb 93	29,8244	0,5857	1,96%	-0,0451	0,1126	-249,84%	0,999229

Isotop	m	σm	rel. Fehler(m)	b	σb	rel. Fehler(b)	R ²
Mo 95	160,1039	1,6679	1,04%	0,0160	0,0296	184,84%	0,999783
Cd 111	209,7291	4,9846	2,38%	-0,0056	0,0137	-245,90%	0,998872
Cd 114	86,6358	2,9434	3,40%	-0,0257	0,0201	-77,91%	0,997697
Sn 118	86,6866	1,3142	1,52%	-0,0856	0,0442	-51,66%	0,999541
Sn 120	61,6904	0,9614	1,56%	-0,0598	0,0452	-75,50%	0,999515
Sb 121	92,5307	0,7829	0,85%	-0,0027	0,0048	-176,65%	0,999857
Sb 123	112,0406	0,5795	0,52%	-0,0141	0,0030	-21,38%	0,999946
Hf 178	22,2447	0,3511	1,58%	-0,0211	0,0902	-428,34%	0,999502
Ta 181	31,7173	7,8909	24,88%	-0,7795	0,3167	-40,63%	0,889844
W 182	35,9891	0,7618	2,12%	-0,0172	0,0606	-351,75%	0,999105
Pb 208	24,6682	0,5818	2,36%	-0,0428	0,1352	-316,26%	0,998889
Bi 209	16,4759	0,2674	1,62%	0,0121	0,0091	74,92%	0,999473
Th 232	39,2499	1,4982	3,82%	-0,0343	0,1098	-320,33%	0,997094
U 238	58,2211	2,8239	4,85%	-0,0215	0,1390	-647,11%	0,995317

CPS02091997(1)Konzentrationen [$\mu\text{g/g}$]

Isotop	JA-2.T.1	JA-2.T.2	JA-2.T.3	JB-3.T.1	JB-3.T.2	JB-3.T.3	BB 63.T.1
As 75	2.93 \pm 0.08	3.06 \pm 0.30	3.31 \pm 0.15	4.41 \pm 0.16	4.47 \pm 0.25	4.6 \pm 0.08	4.36 \pm 0.23
Zr 90	80.18 \pm 1.99	83.46 \pm 1.48	77.1 \pm 0.53	67.52 \pm 0.8	68.91 \pm 0.93	67.13 \pm 1.87	145.33 \pm 3.48
Zr 91	76.31 \pm 1.11	80.99 \pm 2.04	75.8 \pm 0.63	64.19 \pm 1.26	64.89 \pm 1.47	64.24 \pm 1.72	141.27 \pm 2.47
Nb 93	8.44 \pm 0.06	8.51 \pm 0.14	8.51 \pm 0.14	1.97 \pm 0.06	1.96 \pm 0.11	1.96 \pm 0.07	47.10 \pm 0.43
Mo 95	0.58 \pm 0.04	0.55 \pm 0.04	0.59 \pm 0.04	0.98 \pm 0.07	1.06 \pm 0.06	0.97 \pm 0.10	1.28 \pm 0.16
Cd 111	0.07 \pm 0.02	0.07 \pm 0	0.08 \pm 0.01	0.08 \pm 0.02	0.06 \pm 0.03	0.07 \pm 0.04	0.14 \pm 0.03
Cd 114	0.06 \pm 0	0.07 \pm 0.01	0.06 \pm 0	0.07 \pm 0.02	0.06 \pm 0	0.07 \pm 0.01	0.07 \pm 0.02
Sn 118	1.32 \pm 0.04	1.35 \pm 0.04	1.36 \pm 0.07	0.83 \pm 0.04	0.78 \pm 0.03	0.8 \pm 0.03	1.40 \pm 0.07
Sn 120	1.40 \pm 0.06	1.45 \pm 0.03	1.38 \pm 0.03	0.89 \pm 0.01	0.85 \pm 0.04	0.87 \pm 0.02	1.44 \pm 0.04
Sb 121	0.15 \pm 0.01	0.12 \pm 0.01	0.13 \pm 0.02	0.12 \pm 0.01	0.10 \pm 0.02	0.10 \pm 0.01	0.13 \pm 0.01
Sb 123	0.15 \pm 0.02	0.18 \pm 0.02	0.16 \pm 0.03	0.15 \pm 0.01	0.15 \pm 0.01	0.14 \pm 0.02	0.13 \pm 0.02
Hf 177	2.30 \pm 0.05	2.34 \pm 0.09	2.15 \pm 0.04	2.04 \pm 0.05	2.16 \pm 0.03	2.15 \pm 0.03	3.74 \pm 0.07
Hf 178	2.18 \pm 0.07	2.24 \pm 0.04	2.02 \pm 0.04	2.02 \pm 0.05	2.02 \pm 0.04	2.01 \pm 0.07	3.66 \pm 0.05
Ta 181	7.82 \pm 0.67	8.14 \pm 0.69	7.61 \pm 0.64	1.62 \pm 0.15	1.74 \pm 0.16	1.89 \pm 0.19	31.34 \pm 2.66
W 182	1.32 \pm 0.01	1.33 \pm 0.07	1.37 \pm 0.03	1.50 \pm 0.04	1.45 \pm 0.03	1.51 \pm 0.03	0.42 \pm 0.04
Pb 206	18.05 \pm 0.12	18.19 \pm 0.17	17.95 \pm 0.09	4.77 \pm 0.11	4.85 \pm 0.08	4.58 \pm 0.07	4.20 \pm 0.07
Pb 207	16.59 \pm 0.20	16.86 \pm 0.26	16.57 \pm 0.22	4.32 \pm 0.14	4.37 \pm 0.12	4.32 \pm 0.04	3.88 \pm 0.08
Pb 208	17.32 \pm 0.14	17.69 \pm 0.21	17.35 \pm 0.17	4.64 \pm 0.07	4.73 \pm 0.05	4.57 \pm 0.10	4.13 \pm 0.07
Bi 209	0.085 \pm 0.003	0.086 \pm 0.006	0.091 \pm 0.004	0.014 \pm 0.002	0.015 \pm 0.002	0.017 \pm 0.003	0.034 \pm 0.002
Th 232	3.97 \pm 0.16	4.26 \pm 0.05	3.71 \pm 0.09	1.15 \pm 0.04	1.17 \pm 0.02	1.17 \pm 0.03	5.83 \pm 0.09
U 238	2.41 \pm 0.10	2.46 \pm 0.07	2.38 \pm 0.10	0.53 \pm 0.03	0.51 \pm 0.02	0.54 \pm 0.01	1.80 \pm 0.08

Isotop	BB 63.T.2	BB 63.T.3	JA-2.B.1	JA-2.B.2	JA-2.B.3	JB-3.B.1	JB-3.B.2
As 75	5.06 \pm 0.52	2.75 \pm 0.18	2.96 \pm 0.27	3.46 \pm 0.28	2.99 \pm 0.24	5.10 \pm 0.46	4.69 \pm 0.51
Zr 90	149.05 \pm 2.86	141.44 \pm 2.02	75.12 \pm 0.63	77.73 \pm 0.65	77.94 \pm 0.68	58.67 \pm 0.88	60.19 \pm 0.77
Zr 91	146.02 \pm 3.01	141.38 \pm 1.57	76.9 \pm 0.89	80.05 \pm 0.99	80.38 \pm 1.53	60.12 \pm 1.93	60.47 \pm 1.05
Nb 93	53.32 \pm 1.00	46.43 \pm 0.60	8.28 \pm 0.06	8.63 \pm 0.08	8.71 \pm 0.07	1.96 \pm 0.05	1.93 \pm 0.02
Mo 95	1.43 \pm 0.11	1.33 \pm 0.10	0.60 \pm 0.01	2.04 \pm 0.11	0.58 \pm 0.06	1.17 \pm 0.07	1.08 \pm 0.11
Cd 111	0.13 \pm 0.05	0.12 \pm 0.01	0.07 \pm 0.03	0.11 \pm 0.03	0.08 \pm 0.05	0.06 \pm 0.04	0.06 \pm 0.03
Cd 114	0.09 \pm 0.01	0.09 \pm 0.01	0.09 \pm 0.01	0.08 \pm 0.01	0.09 \pm 0.02	0.09 \pm 0.01	0.07 \pm 0.02
Sn 118	1.47 \pm 0.09	1.43 \pm 0.05	1.41 \pm 0.04	1.34 \pm 0.04	1.33 \pm 0.05	0.83 \pm 0.02	0.84 \pm 0.05
Sn 120	1.50 \pm 0.06	1.43 \pm 0.04	1.41 \pm 0.06	1.42 \pm 0.06	1.37 \pm 0.04	0.82 \pm 0.03	0.83 \pm 0.04
Sb 121	0.10 \pm 0.02	0.09 \pm 0.01	0.16 \pm 0.01	0.17 \pm 0.01	0.16 \pm 0.01	0.12 \pm 0.02	0.11 \pm 0.03
Sb 123	0.17 \pm 0.02	0.14 \pm 0.02	0.15 \pm 0.03	0.15 \pm 0.01	0.14 \pm 0.01	0.14 \pm 0.01	0.13 \pm 0.01
Hf 177	3.80 \pm 0.07	3.67 \pm 0.08	1.98 \pm 0.05	1.99 \pm 0.08	2.01 \pm 0.03	1.64 \pm 0.01	1.71 \pm 0.03
Hf 178	3.69 \pm 0.06	3.58 \pm 0.07	1.96 \pm 0.04	1.96 \pm 0.05	2.00 \pm 0.07	1.64 \pm 0.06	1.69 \pm 0.03
Ta 181	36.18 \pm 3.11	31.78 \pm 2.67	2.27 \pm 0.12	2.38 \pm 0.17	2.41 \pm 0.13	0.47 \pm 0.03	0.47 \pm 0.03
W 182	0.45 \pm 0.02	0.41 \pm 0.03	1.30 \pm 0.03	1.23 \pm 0.05	1.31 \pm 0.03	1.35 \pm 0.03	1.44 \pm 0.02

Isotop	BB 63.T.2	BB 63.T.3	JA-2.B.1	JA-2.B.2	JA-2.B.3	JB-3.B.1	JB-3.B.2
Pb 206	4.48 ± 0.05	4.29 ± 0.09	16.73 ± 0.24	17.01 ± 0.11	17.30 ± 0.15	4.46 ± 0.04	4.41 ± 0.04
Pb 207	3.99 ± 0.08	3.86 ± 0.06	16.50 ± 0.22	16.72 ± 0.11	16.75 ± 0.34	4.40 ± 0.05	4.28 ± 0.04
Pb 208	4.27 ± 0.03	4.14 ± 0.07	17.28 ± 0.10	17.45 ± 0.14	17.32 ± 0.23	4.63 ± 0.05	4.51 ± 0.05
Bi 209	0.031 ± 0.002	0.028 ± 0.002	0.085 ± 0.005	0.084 ± 0.007	0.093 ± 0.006	0.016 ± 0.003	0.016 ± 0.001
Th 232	5.77 ± 0.19	5.80 ± 0.13	3.90 ± 0.04	3.63 ± 0.11	3.64 ± 0.11	1.16 ± 0.03	1.14 ± 0.02
U 238	1.81 ± 0.08	1.82 ± 0.03	2.22 ± 0.06	2.27 ± 0.09	2.33 ± 0.09	0.51 ± 0.03	0.51 ± 0.02

Isotop	JB-3.B.3	BB 63.B.1	BB 63.B.1	BB 63.B.2	BB 63.B.3
As 75	5.33 ± 0.28	3.19 ± 0.33	3.04 ± 0.23	2.95 ± 0.24	2.94 ± 0.16
Zr 90	58.70 ± 0.91	133.26 ± 1.32	133.25 ± 1.09	135.23 ± 1.99	133.18 ± 1.52
Zr 91	61.23 ± 1.40	139.22 ± 1.58	136.62 ± 1.81	140.03 ± 1.80	139.31 ± 2.39
Nb 93	1.89 ± 0.04	59.49 ± 0.56	58.06 ± 0.59	56.32 ± 0.37	53.39 ± 1.14
Mo 95	1.08 ± 0.07	1.48 ± 0.12	1.52 ± 0.11	1.50 ± 0.20	1.53 ± 0.09
Cd 111	0.11 ± 0.03	0.18 ± 0.04	0.15 ± 0.02	0.15 ± 0.06	0.11 ± 0.04
Cd 114	0.09 ± 0.01	0.13 ± 0.02	0.13 ± 0.02	0.13 ± 0.02	0.12 ± 0.02
Sn 118	0.78 ± 0.05	1.41 ± 0.03	1.43 ± 0.06	1.40 ± 0.06	1.40 ± 0.09
Sn 120	0.84 ± 0.05	1.47 ± 0.06	1.52 ± 0.04	1.50 ± 0.04	1.47 ± 0.05
Sb 121	0.11 ± 0.01	0.14 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.13 ± 0.02
Sb 123	0.12 ± 0.02	0.18 ± 0.01	0.15 ± 0.03	0.12 ± 0.02	0.13 ± 0.03
Hf 177	1.71 ± 0.08	3.18 ± 0.03	3.19 ± 0.16	3.18 ± 0.04	3.10 ± 0.07
Hf 178	1.73 ± 0.05	3.09 ± 0.04	3.16 ± 0.05	3.03 ± 0.06	2.99 ± 0.05
Ta 181	0.45 ± 0.03	12.28 ± 0.66	10.21 ± 0.58	9.99 ± 0.53	10.75 ± 0.58
W 182	1.39 ± 0.04	0.49 ± 0.02	0.47 ± 0.03	0.47 ± 0.02	0.43 ± 0.01
Pb 206	4.58 ± 0.03	4.76 ± 0.06	4.71 ± 0.13	4.13 ± 0.04	4.08 ± 0.06
Pb 207	4.36 ± 0.03	4.41 ± 0.15	4.52 ± 0.12	3.82 ± 0.09	3.80 ± 0.05
Pb 208	4.62 ± 0.08	4.70 ± 0.07	4.74 ± 0.10	3.99 ± 0.03	4.15 ± 0.04
Bi 209	0.020 ± 0.002	0.027 ± 0.001	0.031 ± 0.002	0.024 ± 0.004	0.029 ± 0.002
Th 232	1.13 ± 0.02	5.68 ± 0.08	5.64 ± 0.13	5.55 ± 0.16	5.36 ± 0.07
U 238	0.55 ± 0.02	1.81 ± 0.04	1.80 ± 0.11	1.82 ± 0.10	1.86 ± 0.06

Relative Abweichung der internationalen Standards

Isotop	JA-2.T.1	JA-2.T.2	JA-2.T.3	JB-3.T.1	JB-3.T.2	JB-3.T.3	BB 63.T.1	BB 63.T.2
As 75	244%	260%	290%	139%	143%	150%		
Zr 90	-31%	-28%	-34%	-31%	-30%	-31%	-25%	-23%
Zr 91	-34%	-30%	-35%	-34%	-34%	-34%	-27%	-24%
Nb 93	-11%	-10%	-10%	-20%	-21%	-20%	-19%	-8%
Mo 95	-4%	-9%	-1%	-10%	-3%	-11%		
Cd 111	-10%	-12%	8%	-1%	-30%	-15%	80%	68%
Cd 114	-17%	-15%	-24%	-11%	-31%	-14%	-6%	14%
Sn 118	-21%	-20%	-19%	-11%	-18%	-15%		
Sn 120	-17%	-14%	-18%	-5%	-9%	-7%		
Sb 121	6%	-17%	-6%	0%	-20%	-20%		
Sb 123	10%	31%	16%	26%	23%	19%		
Hf 177	-19%	-18%	-25%	-24%	-19%	-19%	-27%	-25%
Hf 178	-24%	-22%	-29%	-24%	-24%	-25%	-28%	-28%
Ta 181	878%	918%	851%	977%	1060%	1161%	747%	878%
W 182	33%	35%	38%	41%	37%	42%		
Pb 206	-6%	-5%	-7%	-14%	-13%	-18%	8%	15%
Pb 207	-14%	-12%	-14%	-23%	-22%	-23%	-1%	2%
Pb 208	-10%	-8%	-10%	-17%	-15%	-18%	6%	10%
Bi 209	22%	23%	30%	-38%	-34%	-25%	35%	25%
Th 232	-21%	-15%	-26%	-10%	-8%	-8%	-6%	-7%
U 238	9%	11%	8%	10%	7%	13%	13%	13%

Isotop	BB 63.T.3	JA-2.B.1	JA-2.B.2	JA-2.B.3	JB-3.B.1	JB-3.B.2	JB-3.B.3	BB 63.B.1
As 75		248%	307%	252%	177%	155%	190%	
Zr 90	-27%	-35%	-33%	-33%	-40%	-38%	-40%	-31%
Zr 91	-27%	-34%	-31%	-31%	-39%	-38%	-37%	-28%

Isotop	BB 63.T.3	JA-2.B.1	JA-2.B.2	JA-2.B.3	JB-3.B.1	JB-3.B.2	JB-3.B.3	BB 63.B.1
Nb 93	-20%	-13%	-9%	-8%	-21%	-22%	-23%	3%
Mo 95		0%	240%	-4%	7%	-1%	-1%	
Cd 111	53%	-16%	44%	7%	-32%	-23%	32%	131%
Cd 114	13%	14%	9%	15%	7%	-11%	16%	66%
Sn 118		-16%	-20%	-21%	-12%	-10%	-17%	
Sn 120		-16%	-15%	-18%	-13%	-12%	-11%	
Sb 121		12%	20%	16%	-2%	-11%	-10%	
Sb 123		8%	4%	-3%	13%	9%	1%	
Hf 177	-28%	-31%	-31%	-30%	-39%	-36%	-36%	-38%
Hf 178	-30%	-32%	-31%	-30%	-38%	-37%	-35%	-39%
Ta 181	759%	183%	198%	201%	210%	215%	203%	232%
W 182		31%	25%	32%	27%	36%	32%	
Pb 206	10%	-13%	-11%	-10%	-20%	-21%	-18%	22%
Pb 207	-1%	-14%	-13%	-13%	-21%	-23%	-22%	13%
Pb 208	6%	-10%	-9%	-10%	-17%	-19%	-17%	21%
Bi 209	12%	21%	21%	33%	-29%	-30%	-11%	6%
Th 232	-6%	-23%	-28%	-28%	-9%	-10%	-11%	-8%
U 238	14%	0%	3%	5%	5%	5%	14%	13%

Isotop	BB 63.B.1	BB 63.B.2	BB 63.B.3
As 75			
Zr 90	-31%	-30%	-31%
Zr 91	-29%	-27%	-28%
Nb 93	0%	-3%	-8%
Mo 95			
Cd 111	87%	89%	43%
Cd 114	67%	68%	50%
Sn 118			
Sn 120			
Sb 121			
Sb 123			
Hf 177	-37%	-38%	-39%
Hf 178	-38%	-41%	-41%
Ta 181	176%	170%	191%
W 182			
Pb 206	21%	6%	5%
Pb 207	16%	-2%	-3%
Pb 208	22%	2%	6%
Bi 209	23%	-4%	15%
Th 232	-9%	-11%	-14%
U 238	12%	14%	16%

Regression

Zusatz: 0,5 Vol.-% TMAH

Isotop	m	σm	rel. Fehler (m)	b	σb	rel. Fehler (b)	R²
As 75	499,3667	6,9269	1,39%	0,0743	0,0387	52,13%	0,999615
Zr 90	91,2875	0,4253	0,47%	0,4452	0,1312	29,46%	0,999957
Zr 91	388,3733	2,7476	0,71%	0,7873	0,1973	25,06%	0,999900
Nb 93	60,6138	0,3479	0,57%	-0,0692	0,0330	-47,72%	0,999934
Mo 95	259,1050	4,0183	1,55%	0,0304	0,0438	144,30%	0,999519
Cd 111	196,7486	10,4825	5,33%	-0,0052	0,0306	-589,66%	0,994355
Cd 114	73,8328	0,9193	1,25%	0,0100	0,0070	69,87%	0,999690
Sn 118	85,4535	2,0205	2,36%	0,0254	0,0669	263,86%	0,998883
Sn 120	61,1224	0,6106	1,00%	0,0011	0,0285	2592,07%	0,999800
Sb 121	81,4027	1,9025	2,34%	0,0121	0,0131	108,56%	0,998909

Isotop	m	σm	rel. Fehler (m)	b	σb	rel. Fehler (b)	R ²
Sb 123	103,4141	1,5382	1,49%	0,0182	0,0083	45,38%	0,999558
Hf 177	35,4472	0,3451	0,97%	0,0333	0,0552	165,75%	0,999810
Hf 178	23,3849	0,3224	1,38%	0,0952	0,0776	81,44%	0,999620
Ta 181	39,3850	3,3129	8,41%	-0,6796	0,0994	-14,63%	0,986047
W 182	35,9357	0,2184	0,61%	-0,0180	0,0174	-96,87%	0,999926
Pb 206	30,6978	0,1008	0,33%	-0,1264	0,0190	-15,07%	0,999978
Pb 207	35,0904	0,2567	0,73%	-0,0485	0,0420	-86,60%	0,999893
Pb 208	14,9545	0,1097	0,73%	-0,0783	0,0423	-53,98%	0,999892
Bi 209	9,5862	0,1156	1,21%	-0,0017	0,0069	-417,21%	0,999709
Th 232	17,0015	0,1205	0,71%	0,0840	0,0197	23,50%	0,999900
U 238	17,4215	0,0669	0,38%	0,0278	0,0109	39,04%	0,999971

Zusatz: 0,5 Vol.-% H₃BO₄

Isotop	m	σm	re.I Fehler (m)	b	σb	rel. Fehler (b)	R ²
As 75	513,0295	23,5295	4,59%	-0,0108	0,1310	-1214,92%	0,995811
Zr 90	92,1773	0,5993	0,65%	0,1486	0,1846	124,21%	0,999915
Zr 91	398,3959	2,3031	0,58%	0,2016	0,1639	81,29%	0,999933
Nb 93	60,1889	0,3735	0,62%	0,0254	0,0353	138,69%	0,999923
Mo 95	263,1346	4,7615	1,81%	-0,0492	0,0523	-106,16%	0,999346
Cd 111	205,5897	8,2459	4,01%	-0,0388	0,0241	-62,15%	0,996793
Cd 114	77,3687	0,5557	0,72%	-0,0383	0,0043	-11,26%	0,999897
Sn 118	83,5220	0,2002	0,24%	0,0197	0,0068	34,50%	0,999989
Sn 120	61,4512	1,3832	2,25%	-0,0387	0,0648	-167,69%	0,998988
Sb 121	83,7766	1,4461	1,73%	-0,0298	0,0103	-34,37%	0,999404
Sb 123	95,0794	2,2042	2,32%	0,0188	0,0129	68,35%	0,998926
Hf 177	34,9514	0,0513	0,15%	0,0562	0,0083	14,78%	0,999996
Hf 178	23,3413	0,1339	0,57%	0,1053	0,0322	30,61%	0,999934
Ta 181	24,0942	1,2683	5,26%	-0,0881	0,0338	-38,32%	0,994488
W 182	34,6194	0,3132	0,90%	0,0160	0,0257	160,92%	0,999836
Pb 206	30,0312	0,1311	0,44%	0,0195	0,0248	127,03%	0,999962
Pb 207	34,9979	0,0289	0,08%	-0,0190	0,0047	-24,87%	0,999999
Pb 208	14,8849	0,0279	0,19%	-0,0209	0,0107	-51,16%	0,999993
Bi 209	9,5555	0,0331	0,35%	-0,0008	0,0020	-236,74%	0,999976
Th 232	16,2318	0,0896	0,55%	0,0478	0,0155	32,50%	0,999939
U 238	15,5751	0,2423	1,56%	0,0123	0,0442	360,65%	0,999516

Nomenklatur:

JA-2.Y.z und JB-3.Y.z analog CPS13051997
BB 63.Y.z: hausinterner Standard BB63 mit Zusatz**CPS05091997**

Regression

Zusatz: 2% TMAH

Isotop	m	σm	rel Fehler(m)	b	σb	rel.Fehler(b)	R ²
Zr 90	78,4654	5,1876	6,61%	-3,4958	2,0690	-59,19%	0,991334
Zr 91	321,0881	21,7939	6,79%	-2,4137	2,0634	-85,49%	0,990870
Nb 93	77,6344	7,0530	9,08%	-0,8440	0,5789	-68,59%	0,983761
Sn 118	107,2266	9,9416	9,27%	-0,4617	0,2985	-64,65%	0,983098

Isotop	m	σm	rel Fehler(m)	b	σb	rel.Fehler(b)	R²
Sn 120	79,1520	7,3165	9,24%	-0,4545	0,2970	-65,35%	0,983198
Sb 121	113,2769	12,3177	10,87%	-0,0197	0,0634	-321,99%	0,976898
Sb 123	147,6960	16,8062	11,38%	-0,0223	0,0666	-298,09%	0,974758
Hf 177	30,9973	0,5424	1,75%	-0,0185	0,1000	-541,32%	0,999388
Hf 178	20,7357	0,3574	1,72%	0,0001	0,0982	89202,81%	0,999406
Ta 181	13,8969	0,0393	0,28%	-0,0155	0,0016	-10,59%	0,999984
W 182	54,6834	0,6841	1,25%	-0,0621	0,0363	-58,45%	0,999687

Zusatz: 5% TMAH

Isotop	m	σm	rel Fehler(m)	b	σb	rel.Fehler(b)	R²
Zr 90	75,0654	1,0027	1,34%	0,2827	1,0027	354,68%	0,999643
Zr 91	311,8802	2,2723	0,73%	1,0717	2,2723	212,02%	0,999894
Nb 93	73,9396	0,7466	1,01%	-0,0363	0,7466	-2055,18%	0,999796
Sn 118	100,3390	0,5571	0,56%	-0,0157	0,5571	-3543,22%	0,999938
Sn 120	73,8217	0,3533	0,48%	-0,0174	0,3533	-2035,70%	0,999954
Sb 121	104,2243	1,4788	1,42%	0,0568	1,4788	2605,38%	0,999598
Sb 123	131,8998	3,2568	2,47%	0,0635	3,2568	5125,47%	0,998782
Hf 177	31,3571	0,2138	0,68%	0,0410	0,2138	521,92%	0,999907
Hf 178	21,2592	0,1810	0,85%	0,0316	0,1810	572,81%	0,999855
Ta 181	15,0243	0,3925	2,61%	-0,0372	0,3925	-1055,99%	0,998637
W 182	55,1676	0,3475	0,63%	-0,0372	0,3475	-934,56%	0,999921

CPS08091997

Regression

Zusatz: 2 Vol.-% TMAH

Isotop	m	σm	rel Fehler(m)	b	σb	rel.Fehler(b)	R²
Zr 90	52,9521	-0,0514	-0,10%	1,1156	0,6013	53,90%	0,999113
Zr 91	227,8578	0,2219	0,10%	4,2538	0,5288	12,43%	0,999303
Nb 93	63,2200	-0,1109	-0,18%	1,1696	0,1071	9,16%	0,999316
Sn 118	101,5017	-0,0664	-0,07%	1,6105	0,0461	2,86%	0,999497
Sn 120	73,4715	-0,0818	-0,11%	1,7455	0,0693	3,97%	0,998872
Sb 121	79,4273	0,0419	0,05%	1,4793	0,0100	0,68%	0,999307
Sb 123	100,9541	0,0310	0,03%	1,0669	0,0058	0,54%	0,999777
Hf 177	31,7592	0,0305	0,10%	0,5138	0,0918	17,87%	0,999477
Hf 178	21,4179	0,0244	0,11%	0,3508	0,0930	26,52%	0,999464
Ta 181	19,1781	0,0497	0,26%	0,7468	0,0207	2,77%	0,996977
W 182	63,9263	-0,0468	-0,07%	1,6260	0,0734	4,52%	0,998708

Zusatz: 5 Vol.-% TMAH

Isotop	m	σm	rel Fehler(m)	b	σb	rel.Fehler(b)	R²
Zr 90	75,5397	-3,0603	-4,05%	2,6997	1,1066	40,99%	0,997452
Zr 91	225,3344	1,6888	0,75%	17,5852	2,1167	12,04%	0,987966
Nb 93	58,6901	0,2098	0,36%	3,9100	0,3682	9,42%	0,991201
Sn 118	115,9166	-0,1747	-0,15%	2,3869	0,0616	2,58%	0,999153
Sn 120	73,1747	-0,0792	-0,11%	1,4440	0,0575	3,98%	0,999222
Sb 121	28,4543	0,1426	0,50%	5,2583	0,0845	1,61%	0,936066
Sb 123	34,6067	0,1424	0,41%	6,2195	0,0823	1,32%	0,939322

Isotop	m	σm	rel Fehler(m)	b	σb	rel.Fehler(b)	R ²
Hf 177	37,2133	-0,3337	-0,90%	1,8465	0,2959	16,02%	0,995100
Hf 178	30,6879	-0,7715	-2,51%	4,3627	0,8942	20,50%	0,961149
Ta 181	19,6263	-0,0271	-0,14%	0,7896	0,0238	3,01%	0,996773
W 182	54,8358	0,0858	0,16%	1,8398	0,0933	5,07%	0,997754

CPS09091997

Regression

Zusatz: 2 Vol.-% TMAH

Isotop	m	σm	rel Fehler(m)	b	σb	rel Fehler(b)	R ²
Zr 90	88,8715	1,3405	1,51%	0,4741	0,4243	89,49%	0,999545
Zr 91	387,8257	7,5307	1,94%	0,7155	0,5425	75,83%	0,999246
Nb 93	108,0320	1,3308	1,23%	-0,0210	0,0704	-334,65%	0,999697
Sn 118	99,5093	1,8858	1,90%	-0,0501	0,0548	-109,24%	0,999282
Sn 120	72,1832	0,9915	1,37%	-0,0364	0,0395	-108,55%	0,999623
Sb 121	81,2169	1,6121	1,98%	0,0367	0,0107	29,27%	0,999213
Sb 123	104,3785	2,2749	2,18%	0,0359	0,0118	32,86%	0,999051
Hf 177	30,1611	0,5046	1,67%	0,0014	0,0954	6710,73%	0,999440
Hf 178	20,1682	0,2928	1,45%	-0,0034	0,0828	-2418,88%	0,999579
Ta 181	21,5586	0,4525	2,10%	0,0324	0,0114	35,32%	0,999119
W 182	66,6147	1,0790	1,62%	-0,0591	0,0469	-79,36%	0,999476

Zusatz: 5 Vol.-% TMAH

Isotop	m	σm	rel Fehler(m)	b	σb	rel Fehler(b)	R ²
Zr 90	89,9304	1,2018	1,34%	0,2879	0,3779	131,26%	0,999643
Zr 91	392,7078	1,4430	0,37%	0,5501	0,1032	18,75%	0,999973
Nb 93	107,5497	0,5011	0,47%	-0,0247	0,0267	-108,04%	0,999957
Sn 118	100,6157	0,6586	0,65%	-0,0371	0,0189	-50,77%	0,999914
Sn 120	74,2530	0,9899	1,33%	-0,0769	0,0388	-50,44%	0,999645
Sb 121	78,6870	1,3822	1,76%	0,0267	0,0096	36,09%	0,999383
Sb 123	106,3505	1,1673	1,10%	0,0181	0,0061	33,70%	0,999759
Hf 177	31,0170	0,2010	0,65%	0,0560	0,0367	65,51%	0,999916
Hf 178	20,5408	0,1647	0,80%	0,0544	0,0454	83,34%	0,999871
Ta 181	23,2676	1,3770	5,92%	-0,0389	0,0355	-91,37%	0,993044
W 182	64,0568	0,5875	0,92%	0,0057	0,0261	460,68%	0,999832

Zusatz: 10 Vol.-% TMAH

Isotop	m	σm	rel Fehler(m)	b	σb	rel Fehler(b)	R ²
Zr 90	72,1555	6,1521	8,53%	4,3565	2,1418	49,16%	0,985669
Zr 91	314,4649	26,3282	8,37%	4,3275	2,1052	48,65%	0,986174
Nb 93	64,6491	7,1054	10,99%	-0,5781	0,6753	-116,81%	0,976411
Sn 118	84,0995	2,3336	2,77%	0,0519	0,0779	150,13%	0,998462
Sn 120	59,4149	1,5797	2,66%	0,0331	0,0751	226,97%	0,998588
Sb 121	39,6418	3,8483	9,71%	-0,0660	0,0604	-91,39%	0,981501
Sb 123	51,8928	5,1820	9,99%	-0,0760	0,0629	-82,80%	0,980446
Hf 177	52,2584	6,4463	12,34%	1,0700	0,5999	56,07%	0,970466
Hf 178	34,6286	4,3319	12,51%	1,0746	0,6079	56,57%	0,969652
Ta 181	29,4471	1,3218	4,49%	-0,0263	0,0265	-100,66%	0,995986
W 182	87,8870	2,9181	3,32%	0,0745	0,0927	124,31%	0,997800

Ergebnisse der Probenmessungen

CPS28081997

Konzentrationen [$\mu\text{g}/\text{g}$]

Isotop	KLU-96-01	KLU-96-07	KLU-96-11	KLU-96-12	TOL-96-01	TOL-96-02/2	TOL-96-03
As 75	9.19 \pm 0.17	10.57 \pm 0.21	10.61 \pm 0.21	9.08 \pm 0.21	8.94 \pm 0.23	10.59 \pm 0.38	10.43 \pm 0.20
Zr 90	62.63 \pm 0.75	56.04 \pm 0.44	60.52 \pm 0.92	79.04 \pm 1.60	161.31 \pm 1.75	58.58 \pm 0.22	99.04 \pm 2.40
Zr 91	67.02 \pm 1.64	58.41 \pm 0.96	66.21 \pm 1.52	83.32 \pm 1.76	171.61 \pm 3.43	62.71 \pm 0.96	103.53 \pm 1.54
Nb 93	1.76 \pm 0.05	1.35 \pm 0.03	1.71 \pm 0.04	2.10 \pm 0.06	5.52 \pm 0.07	1.76 \pm 0.05	3.15 \pm 0.07
Mo 95	0.66 \pm 0.04	0.68 \pm 0.02	0.73 \pm 0.03	0.79 \pm 0.04	1.58 \pm 0.04	0.72 \pm 0.04	1.15 \pm 0.11
Cd 111	0.13 \pm 0.01	0.11 \pm 0.01	0.13 \pm 0.01	0.13 \pm 0.01	0.13 \pm 0.02	0.14 \pm 0.02	0.16 \pm 0.03
Cd 114	0.10 \pm 0	0.09 \pm 0	0.09 \pm 0.01	0.08 \pm 0	0.07 \pm 0.01	0.09 \pm 0	0.10 \pm 0
Sn 118	0.72 \pm 0.01	0.65 \pm 0.01	0.71 \pm 0.03	0.86 \pm 0.02	1.5 \pm 0.04	0.84 \pm 0.03	1.02 \pm 0.04
Sn 120	0.71 \pm 0	0.64 \pm 0.02	0.70 \pm 0.03	0.83 \pm 0.02	1.49 \pm 0.02	0.72 \pm 0.01	1.03 \pm 0.02
Sb 121	0.18 \pm 0.02	0.16 \pm 0.01	0.15 \pm 0.01	0.22 \pm 0.02	0.27 \pm 0.02	0.09 \pm 0	0.21 \pm 0.02
Sb 123	0.38 \pm 0	0.44 \pm 0.02	0.38 \pm 0.03	0.36 \pm 0.01	0.42 \pm 0	0.34 \pm 0.02	0.42 \pm 0.01
Hf 178	1.72 \pm 0.08	1.54 \pm 0.04	1.62 \pm 0.05	2.09 \pm 0.02	3.98 \pm 0.07	1.56 \pm 0.02	2.52 \pm 0.10
Ta 181	0.31 \pm 0.01	0.21 \pm 0.01	0.25 \pm 0.01	0.34 \pm 0.02	0.79 \pm 0.03	0.22 \pm 0.02	0.45 \pm 0.03
W 182	0.37 \pm 0.02	0.19 \pm 0.02	0.22 \pm 0.01	0.31 \pm 0.01	0.56 \pm 0.03	0.26 \pm 0.01	0.35 \pm 0.04
Pb 208	2.43 \pm 0.15	2.38 \pm 0.04	1.89 \pm 0.15	2.80 \pm 0.14	4.43 \pm 0.20	1.67 \pm 0.07	2.70 \pm 0.12
Bi 209	0.042 \pm 0.005	0.026 \pm 0.008	0.023 \pm 0.002	0.045 \pm 0.007	0.026 \pm 0.002	0.05 \pm 0.008	0.037 \pm 0.003
Th 232	0.78 \pm 0.08	0.66 \pm 0.07	0.57 \pm 0.09	0.81 \pm 0.11	2.01 \pm 0.14	0.83 \pm 0.05	1.44 \pm 0.13
U 238	0.71 \pm 0.24	0.84 \pm 0.08	0.60 \pm 0.10	0.78 \pm 0.14	1.60 \pm 0.11	1.25 \pm 0.04	1.69 \pm 0.19

Isotop	BAK-95-17	BAK-95-24	SCH-96-01	SCH-96-04	GAM-96-12	GAM-96-28	KOM-96-02
As 75	8.40 \pm 0.19	8.48 \pm 0.29	9.74 \pm 0.22	12.16 \pm 0.34	10.12 \pm 0.24	10.32 \pm 0.32	8.71 \pm 0.45
Zr 90	86.35 \pm 1.44	64.82 \pm 1.89	58.72 \pm 1.39	43.33 \pm 0.84	60.20 \pm 0.46	41.23 \pm 0.59	64.06 \pm 0.80
Zr 91	90.97 \pm 1.64	69.22 \pm 1.87	62.44 \pm 1.29	46.01 \pm 1.03	64.12 \pm 2.08	43.1 \pm 0.66	67.8 \pm 0.98
Nb 93	4.89 \pm 0.09	2.82 \pm 0.04	1.58 \pm 0.06	1.43 \pm 0.08	1.64 \pm 0.05	1.14 \pm 0.03	1.55 \pm 0.04
Mo 95	0.97 \pm 0.05	0.76 \pm 0.09	0.75 \pm 0.07	0.75 \pm 0.01	0.81 \pm 0.02	0.74 \pm 0.08	0.96 \pm 0.08
Cd 111	0.13 \pm 0.02	0.11 \pm 0.02	0.09 \pm 0.01	0.15 \pm 0.01	0.12 \pm 0.01	0.10 \pm 0.02	0.13 \pm 0.02
Cd 114	0.08 \pm 0.01	0.08 \pm 0	0.05 \pm 0.01	0.11 \pm 0.01	0.09 \pm 0	0.08 \pm 0.01	0.10 \pm 0
Sn 118	0.89 \pm 0.03	0.84 \pm 0.07	0.81 \pm 0.04	0.70 \pm 0.08	0.81 \pm 0.04	0.58 \pm 0.02	0.78 \pm 0.01
Sn 120	0.83 \pm 0.02	0.73 \pm 0.02	0.70 \pm 0.04	0.64 \pm 0.02	0.71 \pm 0.02	0.55 \pm 0.03	0.72 \pm 0.02
Sb 121	0.08 \pm 0.01	0.08 \pm 0	0.12 \pm 0.01	0.10 \pm 0.01	0.12 \pm 0.01	0.08 \pm 0.01	0.12 \pm 0.01
Sb 123	0.28 \pm 0.01	0.31 \pm 0	0.27 \pm 0.01	0.27 \pm 0.03	0.23 \pm 0.01	0.23 \pm 0.01	0.29 \pm 0.01
Hf 178	2.17 \pm 0.11	1.66 \pm 0.11	1.55 \pm 0.08	1.25 \pm 0.07	1.75 \pm 0.03	1.18 \pm 0.03	1.75 \pm 0.06
Ta 181	0.64 \pm 0.04	0.43 \pm 0.04	0.27 \pm 0.01	0.28 \pm 0.03	0.30 \pm 0.01	0.22 \pm 0.02	0.25 \pm 0.03
W 182	0.28 \pm 0.03	0.20 \pm 0	0.22 \pm 0.03	0.23 \pm 0.02	0.25 \pm 0.01	0.25 \pm 0.02	0.28 \pm 0.02
Pb 208	2.42 \pm 0.12	1.91 \pm 0.01	1.81 \pm 0.07	2.55 \pm 0.13	2.59 \pm 0.11	1.54 \pm 0.07	2.30 \pm 0.07
Bi 209	0.028 \pm 0.007	0.034 \pm 0.013	0.011 \pm 0.006	0.023 \pm 0.004	0.019 \pm 0.012	0.008 \pm 0.005	0.023 \pm 0.007
Th 232	1.28 \pm 0.22	1.10 \pm 0.18	0.78 \pm 0.22	1.25 \pm 0.33	1.62 \pm 0.15	0.78 \pm 0.13	0.91 \pm 0.10
U 238	1.59 \pm 0.22	1.68 \pm 0.39	1.31 \pm 0.36	1.35 \pm 0.47	0.92 \pm 0.13	0.66 \pm 0.08	0.71 \pm 0.02

Isotop	KOM-96-06	KOM-96-11	KIZ-96-01/1	KIZ-96-24	KIZ-96-24/1	ESO-96-04	ESO-96-08
As 75	9.88 \pm 0.22	8.07 \pm 0.26	9.21 \pm 0.30	7.77 \pm 0.24	9.00 \pm 0.28	7.92 \pm 0.32	8.94 \pm 0.32
Zr 90	53.45 \pm 0.67	110.24 \pm 1.52	60.97 \pm 2.01	68.13 \pm 1.06	64.21 \pm 0.90	60.68 \pm 0.71	52.42 \pm 0.74
Zr 91	56.19 \pm 1.55	117.77 \pm 2.57	65.69 \pm 1.79	71.68 \pm 1.71	65.47 \pm 1.20	63.54 \pm 1.47	55.17 \pm 1.80
Nb 93	1.26 \pm 0.07	2.50 \pm 0.08	2.73 \pm 0.05	2.79 \pm 0.08	2.72 \pm 0.12	2.93 \pm 0.15	1.68 \pm 0.06
Mo 95	0.79 \pm 0.08	1.73 \pm 0.10	0.81 \pm 0.06	1.18 \pm 0.05	1.08 \pm 0.06	0.92 \pm 0.07	0.71 \pm 0.07
Cd 111	0.15 \pm 0.02	0.15 \pm 0.03	0.14 \pm 0.01	0.13 \pm 0.01	0.17 \pm 0.04	0.15 \pm 0.02	0.16 \pm 0.01
Cd 114	0.09 \pm 0	0.09 \pm 0.01	0.10 \pm 0.01	0.08 \pm 0.01	0.10 \pm 0.02	0.09 \pm 0.01	0.10 \pm 0.01
Sn 118	0.68 \pm 0.02	1.07 \pm 0.01	0.89 \pm 0.03	0.76 \pm 0.04	0.89 \pm 0.06	0.66 \pm 0.02	0.67 \pm 0.01
Sn 120	0.68 \pm 0.04	1.04 \pm 0.02	0.85 \pm 0.02	0.76 \pm 0.02	0.88 \pm 0.04	0.64 \pm 0.03	0.69 \pm 0.02
Sb 121	0.12 \pm 0.01	0.41 \pm 0.01	0.09 \pm 0.01	0.12 \pm 0.02	0.11 \pm 0.01	0.13 \pm 0.02	0.08 \pm 0.01
Sb 123	0.26 \pm 0.01	0.51 \pm 0.01	0.24 \pm 0.01	0.24 \pm 0.03	0.24 \pm 0.01	0.25 \pm 0.02	0.24 \pm 0.03
Hf 178	1.55 \pm 0.12	3.32 \pm 0.09	1.64 \pm 0.01	1.95 \pm 0.14	1.83 \pm 0.02	1.57 \pm 0.05	1.43 \pm 0.05

Isotop	KOM-96-06	KOM-96-11	KIZ-96-01/1	KIZ-96-24	KIZ-96-24/1	ESO-96-04	ESO-96-08
Ta 181	0.24 ± 0.02	0.45 ± 0.04	0.39 ± 0.02	0.47 ± 0.02	0.39 ± 0.02	0.44 ± 0.02	0.27 ± 0.02
W 182	0.24 ± 0	0.50 ± 0.02	0.28 ± 0.02	0.28 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.20 ± 0.02	0.16 ± 0.02
Pb 208	2.12 ± 0.12	4.37 ± 0.15	2.18 ± 0.04	2.45 ± 0.09	2.32 ± 0.03	4.24 ± 0.14	2.47 ± 0.04
Bi 209	0.012 ± 0.004	0.028 ± 0.001	0.020 ± 0.003	0.024 ± 0.001	0.031 ± 0.005	0.041 ± 0.013	0.039 ± 0.003
Th 232	1.12 ± 0.10	1.94 ± 0.06	1.07 ± 0.07	1.67 ± 0.03	1.44 ± 0.03	1.14 ± 0.16	0.75 ± 0.07
U 238	0.76 ± 0.07	1.08 ± 0.17	0.78 ± 0.16	1.16 ± 0.26	1.43 ± 0.28	1.20 ± 0.39	0.89 ± 0.04

Isotop	ACH-96-02	ACH-96-03	ICH-96-02	ICH-96-10	ICH-96-19	ICH-96-31	ICH-96-05
As 75	8.36 ± 0.27	7.58 ± 0.30	7.13 ± 0.38	7.37 ± 0.34	7.35 ± 0.62	7.22 ± 0.22	9.09 ± 0.24
Zr 90	72.46 ± 0.58	90.31 ± 1.65	144.58 ± 2.97	117.6 ± 3.28	72.82 ± 0.81	97.48 ± 1.03	117.94 ± 2.46
Zr 91	74.71 ± 2.02	95.79 ± 1.85	153.15 ± 3.35	123.91 ± 3.63	76.62 ± 1.75	101.87 ± 1.88	121.84 ± 2.28
Nb 93	4.09 ± 0.15	5.71 ± 0.13	8.82 ± 0.19	18.08 ± 0.65	3.26 ± 0.13	5.71 ± 0.16	18.54 ± 0.62
Mo 95	0.85 ± 0.07	1.26 ± 0.12	1.43 ± 0.08	1.46 ± 0.10	1.07 ± 0.10	1.28 ± 0.14	1.48 ± 0.11
Cd 111	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.02	0.15 ± 0	0.13 ± 0.04	0.17 ± 0.02	0.14 ± 0.02
Cd 114	0.10 ± 0.01	0.11 ± 0	0.11 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.10 ± 0.02
Sn 118	0.79 ± 0.01	0.85 ± 0.02	1.14 ± 0.07	1.05 ± 0.06	0.73 ± 0.04	0.88 ± 0.02	1.19 ± 0.08
Sn 120	0.79 ± 0.02	0.86 ± 0.03	1.11 ± 0.03	1.04 ± 0.03	0.74 ± 0.04	0.92 ± 0.02	1.16 ± 0.07
Sb 121	0.09 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.10 ± 0	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.08 ± 0
Sb 123	0.24 ± 0.03	0.22 ± 0.02	0.2 ± 0.03	0.23 ± 0.03	0.19 ± 0.01	0.2 ± 0.03	0.23 ± 0.04
Hf 178	1.89 ± 0.13	2.06 ± 0.05	3.28 ± 0.25	2.65 ± 0.06	1.78 ± 0.07	2.42 ± 0.08	2.61 ± 0.07
Ta 181	0.51 ± 0.04	0.7 ± 0.05	1.02 ± 0.08	2.19 ± 0.09	0.42 ± 0.02	0.77 ± 0.06	2.20 ± 0.12
W 182	0.24 ± 0.02	0.28 ± 0.03	0.30 ± 0.04	0.37 ± 0.02	0.17 ± 0	0.31 ± 0	0.33 ± 0.03
Pb 208	3.04 ± 0.14	3.75 ± 0.11	4.94 ± 0.27	2.06 ± 0.05	3.01 ± 0.14	3.92 ± 0.22	1.82 ± 0.07
Bi 209	0.025 ± 0.011	0.046 ± 0.001	0.053 ± 0.013	0.017 ± 0.004	0.018 ± 0.004	0.050 ± 0.004	0.027 ± 0.002
Th 232	0.97 ± 0.07	1.31 ± 0.11	1.64 ± 0.15	1.66 ± 0.13	0.93 ± 0.07	1.63 ± 0.04	1.80 ± 0.09
U 238	1.28 ± 0.16	0.99 ± 0.21	1.05 ± 0.22	0.86 ± 0.20	0.59 ± 0.09	1.00 ± 0.30	0.90 ± 0.34

Isotop	BAK-95-31	JA-2.1	JA-2.2	JA-2.3	JA-2.4	JB-3
As 75	8.65 ± 0.18	9.95 ± 0.21	7.56 ± 0.27	8.19 ± 0.17	7.71 ± 0.15	10.86 ± 0.34
Zr 90	71.09 ± 1.10	106.13 ± 0.71	116.08 ± 2.5	108.30 ± 1.93	109.41 ± 1.77	83.29 ± 1.33
Zr 91	72.15 ± 2.10	112.21 ± 3.1	126.17 ± 2.97	115.19 ± 3.43	115.02 ± 3.24	84.98 ± 1.82
Nb 93	4.27 ± 0.13	10.71 ± 0.43	11.36 ± 0.36	10.88 ± 0.37	10.86 ± 0.44	2.50 ± 0.11
Mo 95	1.01 ± 0.02	0.84 ± 0.02	0.78 ± 0.08	0.89 ± 0.05	0.92 ± 0.13	1.35 ± 0.15
Cd 111	0.17 ± 0.03	0.14 ± 0.02	0.15 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.19 ± 0.03	0.21 ± 0.05
Cd 114	0.09 ± 0	0.10 ± 0.01	0.11 ± 0	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.12 ± 0.01
Sn 118	0.80 ± 0.03	1.71 ± 0.02	1.83 ± 0.05	1.83 ± 0.04	1.88 ± 0.04	1.18 ± 0.07
Sn 120	0.77 ± 0.04	1.77 ± 0.07	1.78 ± 0.03	1.82 ± 0.06	1.83 ± 0.10	1.15 ± 0.06
Sb 121	0.10 ± 0.04	0.19 ± 0.01	0.21 ± 0.02	0.21 ± 0.02	0.21 ± 0.01	0.19 ± 0.01
Sb 123	0.22 ± 0.03	0.39 ± 0.02	0.35 ± 0.04	0.33 ± 0.03	0.28 ± 0.01	0.33 ± 0.01
Hf 178	1.81 ± 0.17	2.21 ± 0.05	2.36 ± 0.05	2.32 ± 0.07	2.24 ± 0.10	2.00 ± 0.05
Ta 181	0.59 ± 0.03	1.24 ± 0.06	1.38 ± 0.07	1.39 ± 0.06	1.37 ± 0.07	0.29 ± 0.02
W 182	0.25 ± 0.05	1.33 ± 0.03	1.39 ± 0.03	1.46 ± 0.05	1.41 ± 0.06	1.51 ± 0.07
Pb 208	2.97 ± 0.13	15.32 ± 0.62	15.20 ± 0.46	15.72 ± 0.71	15.43 ± 0.50	4.15 ± 0.19
Bi 209	0.032 ± 0.009	0.093 ± 0.006	0.086 ± 0.012	0.103 ± 0.011	0.089 ± 0.008	0.034 ± 0.007
Th 232	1.91 ± 0.06	4.26 ± 0.14	4.69 ± 0.19	4.22 ± 0.14	4.78 ± 0.29	1.34 ± 0.14
U 238	0.92 ± 0.28	1.94 ± 0.14	2.48 ± 0.07	2.20 ± 0.34	2.49 ± 0.14	1.02 ± 0.05

Relative Abweichung der internationalen Standards

Isotop	JA-2.1	JA-2.2	JA-2.3	JA-2.4	JB-3
As 75	1070,66%	789,50%	864,10%	807,20%	490,01%
Zr 90	8,51%	0,07%	6,64%	5,68%	14,84%
Zr 91	3,27%	8,77%	0,70%	0,84%	13,11%
Nb 93	13,14%	20,00%	14,91%	14,63%	1,31%
Mo 95	39,21%	30,27%	48,25%	52,59%	24,10%
Cd 111	80,02%	94,19%	114,51%	145,16%	157,28%
Cd 114	23,57%	45,74%	49,52%	46,76%	49,41%
Sn 118	1,64%	8,72%	9,06%	11,88%	25,28%
Sn 120	5,32%	6,13%	8,59%	9,12%	21,94%

Isotop	JA-2.1	JA-2.2	JA-2.3	JA-2.4	JB-3
Sb 121	36,80%	49,60%	47,86%	47,35%	60,81%
Sb 123	179,66%	153,09%	136,52%	100,77%	176,33%
Hf 178	22,87%	17,58%	18,76%	21,78%	24,92%
Ta 181	55,18%	72,47%	73,29%	70,63%	91,23%
W 182	34,51%	39,99%	47,29%	42,88%	42,29%
Pb 208	20,20%	20,85%	18,10%	19,62%	25,56%
Bi 209	32,93%	23,00%	47,17%	27,31%	45,67%
Th 232	15,27%	6,80%	16,10%	4,92%	5,17%
U 238	12,16%	12,18%	0,41%	12,71%	111,99%

CPS02091997(2)Konzentrationen [$\mu\text{g/g}$]

Isotop	KLU-96-01	KLU-96-07	KLU-96-11	KLU-96-12	TOL-96-01	TOL-96-02/2	TOL-96-03
As 75	6.94 ± 1.63	6.40 ± 1.40	6.23 ± 1.33	5.85 ± 1.25	5.73 ± 1.22	6.01 ± 1.28	5.67 ± 1.24
Zr 90	63.47 ± 4.40	56.73 ± 3.92	62.93 ± 4.43	82.46 ± 5.68	163.86 ± 11.45	59.50 ± 4.17	99.27 ± 6.88
Zr 91	67.79 ± 5.75	59.12 ± 4.76	65.12 ± 5.31	87.26 ± 7.03	172.19 ± 13.82	62.68 ± 5.19	104.67 ± 8.50
Nb 93	3.96 ± 0.89	2.53 ± 0.58	3.20 ± 0.72	4.43 ± 0.99	10.65 ± 2.38	3.16 ± 0.71	6.15 ± 1.37
Mo 95	0.68 ± 0.06	0.72 ± 0.06	0.77 ± 0.06	0.84 ± 0.08	1.85 ± 0.18	0.87 ± 0.07	1.24 ± 0.13
Cd 111	0.19 ± 0.02	0.16 ± 0.01	0.15 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.14 ± 0.01	0.17 ± 0.04
Cd 114	0.16 ± 0.01	0.16 ± 0.02	0.14 ± 0.02	0.14 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.15 ± 0.02	0.13 ± 0.02
Sn 118	2.00 ± 0.49	2.27 ± 0.53	1.95 ± 0.44	1.68 ± 0.38	2.24 ± 0.51	1.83 ± 0.41	2.06 ± 0.47
Sn 120	1.92 ± 0.43	2.20 ± 0.45	1.92 ± 0.39	1.66 ± 0.33	2.17 ± 0.44	1.70 ± 0.34	2.04 ± 0.41
Sb 121	0.24 ± 0.03	0.23 ± 0.03	0.19 ± 0.03	0.29 ± 0.04	0.42 ± 0.06	0.12 ± 0.02	0.27 ± 0.04
Sb 123	0.46 ± 0.06	0.46 ± 0.07	0.39 ± 0.06	0.41 ± 0.06	0.53 ± 0.09	0.38 ± 0.06	0.45 ± 0.07
Hf 177	1.54 ± 0.02	1.36 ± 0.04	1.50 ± 0.03	1.85 ± 0.04	3.54 ± 0.09	1.46 ± 0.03	2.28 ± 0.05
Hf 178	1.51 ± 0.04	1.33 ± 0.02	1.47 ± 0.04	1.84 ± 0.04	3.60 ± 0.03	1.44 ± 0.07	2.27 ± 0.04
Ta 181	0.34 ± 0.04	0.19 ± 0.02	0.25 ± 0.03	0.38 ± 0.04	0.80 ± 0.08	0.24 ± 0.02	0.50 ± 0.05
W 182	0.57 ± 0.11	0.32 ± 0.06	0.35 ± 0.07	0.48 ± 0.1	0.93 ± 0.19	0.41 ± 0.08	0.46 ± 0.09
Pb 206	2.67 ± 0.05	2.49 ± 0.05	2.06 ± 0.04	3.05 ± 0.07	4.89 ± 0.08	1.84 ± 0.05	2.82 ± 0.05
Pb 207	2.59 ± 0.03	2.41 ± 0.05	1.97 ± 0.05	2.93 ± 0.07	4.76 ± 0.05	1.79 ± 0.07	2.71 ± 0.04
Pb 208	2.63 ± 0.06	2.47 ± 0.08	2.00 ± 0.04	2.98 ± 0.04	4.76 ± 0.06	1.80 ± 0.03	2.77 ± 0.07
Bi 209	0.041 ± 0.003	0.027 ± 0.002	0.022 ± 0.001	0.04 ± 0.001	0.019 ± 0.002	0.046 ± 0.002	0.03 ± 0.001
Th 232	0.68 ± 0.03	0.55 ± 0.01	0.43 ± 0.01	0.71 ± 0.02	2.00 ± 0.03	0.53 ± 0.01	1.14 ± 0.03
U 238	0.39 ± 0.03	0.40 ± 0.02	0.30 ± 0.01	0.46 ± 0.01	1.23 ± 0.06	0.36 ± 0.01	0.70 ± 0.04

Isotop	BAK-95-17	BAK-95-24	SCH-96-01	SCH-96-04	GAM-96-12	GAM-96-28	KOM-96-02
As 75	5.67 ± 1.21	5.79 ± 1.23	5.88 ± 1.27	6.31 ± 1.37	5.64 ± 1.21	6.43 ± 1.41	5.87 ± 1.26
Zr 90	87.24 ± 6.09	66.05 ± 4.63	58.84 ± 4.15	45.23 ± 3.23	64.69 ± 4.55	40.52 ± 2.94	66.45 ± 4.62
Zr 91	90.10 ± 7.22	68.83 ± 5.58	61.70 ± 5.08	46.69 ± 3.87	68.70 ± 5.52	42.20 ± 3.47	68.65 ± 5.63
Nb 93	9.38 ± 2.09	5.45 ± 1.22	3.04 ± 0.69	2.89 ± 0.64	3.34 ± 0.75	2.11 ± 0.48	2.83 ± 0.63
Mo 95	1.12 ± 0.08	0.81 ± 0.08	0.73 ± 0.05	0.69 ± 0.08	0.81 ± 0.09	0.63 ± 0.05	0.97 ± 0.08
Cd 111	0.15 ± 0.02	0.13 ± 0.01	0.10 ± 0.02	0.16 ± 0.03	0.12 ± 0.02	0.09 ± 0.02	0.14 ± 0.02
Cd 114	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.11 ± 0.01
Sn 118	1.53 ± 0.36	1.32 ± 0.30	1.22 ± 0.28	1.09 ± 0.25	1.28 ± 0.29	0.96 ± 0.22	1.19 ± 0.27
Sn 120	1.52 ± 0.31	1.31 ± 0.26	1.20 ± 0.24	1.12 ± 0.23	1.26 ± 0.26	1.00 ± 0.21	1.24 ± 0.25
Sb 121	0.09 ± 0.01	0.10 ± 0.03	0.15 ± 0.02	0.14 ± 0.03	0.16 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.14 ± 0.02
Sb 123	0.31 ± 0.05	0.30 ± 0.04	0.29 ± 0.04	0.27 ± 0.04	0.22 ± 0.04	0.25 ± 0.04	0.31 ± 0.05
Hf 177	1.94 ± 0.03	1.57 ± 0.03	1.40 ± 0.01	1.13 ± 0.03	1.64 ± 0.03	1.09 ± 0.01	1.64 ± 0.06
Hf 178	1.89 ± 0.02	1.56 ± 0.05	1.42 ± 0.03	1.13 ± 0.01	1.65 ± 0.02	1.05 ± 0.02	1.67 ± 0.02
Ta 181	0.69 ± 0.07	0.46 ± 0.05	0.32 ± 0.03	0.32 ± 0.03	0.32 ± 0.03	0.25 ± 0.03	0.26 ± 0.03
W 182	0.39 ± 0.08	0.33 ± 0.07	0.29 ± 0.06	0.33 ± 0.07	0.36 ± 0.08	0.32 ± 0.06	0.44 ± 0.09
Pb 206	2.58 ± 0.04	2.11 ± 0.03	1.93 ± 0.03	2.66 ± 0.06	2.83 ± 0.04	1.67 ± 0.03	2.50 ± 0.04
Pb 207	2.50 ± 0.03	2.04 ± 0.06	1.87 ± 0.03	2.58 ± 0.04	2.66 ± 0.03	1.58 ± 0.01	2.34 ± 0.04
Pb 208	2.51 ± 0.04	2.07 ± 0.05	1.88 ± 0.02	2.66 ± 0.04	2.79 ± 0.07	1.63 ± 0.02	2.45 ± 0.05
Bi 209	0.017 ± 0.002	0.018 ± 0.001	0.009 ± 0.001	0.016 ± 0.001	0.012 ± 0.001	0.009 ± 0.001	0.013 ± 0.001
Th 232	1.23 ± 0.03	0.93 ± 0.04	0.56 ± 0.03	0.65 ± 0.01	0.98 ± 0.01	0.66 ± 0.01	0.97 ± 0.01

Isotop	BAK-95-17	BAK-95-24	SCH-96-01	SCH-96-04	GAM-96-12	GAM-96-28	KOM-96-02
U 238	0.60 ± 0.01	0.44 ± 0.01	0.28 ± 0.01	0.32 ± 0.01	0.33 ± 0.01	0.34 ± 0.01	0.45 ± 0.01

Isotop	KOM-96-06	KOM-96-11	KIZ-96-01/1	KIZ-96-24	KIZ-96-24/1	ESO-96-04	ESO-96-08
As 75	6.15 ± 1.32	6.36 ± 1.37	5.86 ± 1.25	5.13 ± 1.11	5.47 ± 1.21	5.43 ± 1.16	5.84 ± 1.25
Zr 90	55.67 ± 4.05	117.55 ± 8.12	64.76 ± 4.56	70.15 ± 4.84	65.44 ± 4.60	60.99 ± 4.41	54.37 ± 3.82
Zr 91	57.72 ± 4.75	124.74 ± 10.0	67.20 ± 5.41	73.33 ± 5.90	68.23 ± 5.48	63.90 ± 5.27	56.39 ± 4.52
Nb 93	2.41 ± 0.54	4.78 ± 1.07	4.93 ± 1.10	5.30 ± 1.18	4.93 ± 1.10	5.37 ± 1.21	3.15 ± 0.71
Mo 95	0.75 ± 0.08	1.96 ± 0.15	0.86 ± 0.07	1.21 ± 0.09	1.10 ± 0.12	0.92 ± 0.10	0.67 ± 0.06
Cd 111	0.13 ± 0.02	0.17 ± 0.02	0.13 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.16 ± 0.04	0.12 ± 0.02	0.11 ± 0.01
Cd 114	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.01
Sn 118	1.09 ± 0.25	1.39 ± 0.32	1.26 ± 0.29	1.16 ± 0.27	1.21 ± 0.28	0.94 ± 0.21	0.95 ± 0.22
Sn 120	1.11 ± 0.22	1.40 ± 0.28	1.26 ± 0.25	1.20 ± 0.24	1.21 ± 0.25	0.99 ± 0.20	0.98 ± 0.20
Sb 121	0.14 ± 0.02	0.58 ± 0.08	0.09 ± 0.02	0.16 ± 0.03	0.16 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.08 ± 0.02
Sb 123	0.29 ± 0.05	0.64 ± 0.09	0.23 ± 0.04	0.26 ± 0.04	0.26 ± 0.04	0.33 ± 0.05	0.24 ± 0.04
Hf 177	1.41 ± 0.02	2.98 ± 0.02	1.51 ± 0.01	1.71 ± 0.01	1.60 ± 0.02	1.43 ± 0.05	1.25 ± 0.01
Hf 178	1.39 ± 0.04	3.01 ± 0.03	1.54 ± 0.02	1.72 ± 0.01	1.61 ± 0.03	1.44 ± 0.02	1.25 ± 0.02
Ta 181	0.22 ± 0.02	0.45 ± 0.05	0.38 ± 0.04	0.42 ± 0.04	0.39 ± 0.04	0.41 ± 0.04	0.26 ± 0.03
W 182	0.34 ± 0.07	0.85 ± 0.17	0.43 ± 0.09	0.48 ± 0.10	0.34 ± 0.08	0.24 ± 0.05	0.17 ± 0.04
Pb 206	2.29 ± 0.05	4.71 ± 0.08	2.36 ± 0.05	2.61 ± 0.05	2.51 ± 0.04	4.34 ± 0.08	2.69 ± 0.05
Pb 207	2.17 ± 0.04	4.54 ± 0.11	2.29 ± 0.02	2.51 ± 0.07	2.36 ± 0.04	4.22 ± 0.04	2.60 ± 0.07
Pb 208	2.23 ± 0.07	4.63 ± 0.10	2.30 ± 0.05	2.54 ± 0.04	2.34 ± 0.03	4.17 ± 0.05	2.64 ± 0.05
Bi 209	0.011 ± 0.001	0.022 ± 0.001	0.010 ± 0	0.018 ± 0.002	0.024 ± 0.002	0.033 ± 0.001	0.025 ± 0.001
Th 232	0.90 ± 0.03	2.04 ± 0.06	0.94 ± 0.02	1.38 ± 0.02	0.97 ± 0.02	0.76 ± 0.02	0.44 ± 0.02
U 238	0.43 ± 0.01	0.75 ± 0.03	0.46 ± 0.02	0.75 ± 0.03	0.52 ± 0.02	0.41 ± 0.02	0.27 ± 0.01

Isotop	ACH-96-02	ACH-96-03	ICH-96-02	ICH-96-10	ICH-96-19	ICH-96-31	ICH-96-05
As 75	5.68 ± 1.24	5.22 ± 1.12	5.19 ± 1.11	5.09 ± 1.10	5.46 ± 1.16	5.36 ± 1.15	6.18 ± 1.32
Zr 90	72.50 ± 5.05	90.57 ± 6.37	146.03 ± 10.10	119.99 ± 8.77	73.65 ± 5.17	99.64 ± 7.01	116.52 ± 8.13
Zr 91	76.07 ± 6.14	94.66 ± 7.74	155.95 ± 12.52	128.18 ± 10.82	77.93 ± 6.34	104.97 ± 8.65	122.87 ± 9.87
Nb 93	7.53 ± 1.68	10.45 ± 2.35	17.10 ± 3.81	36.06 ± 8.06	6.12 ± 1.37	11.26 ± 2.52	36.90 ± 8.23
Mo 95	0.85 ± 0.08	1.35 ± 0.13	1.44 ± 0.14	1.52 ± 0.12	1.03 ± 0.08	1.30 ± 0.11	1.67 ± 0.18
Cd 111	0.13 ± 0.02	0.12 ± 0.04	0.18 ± 0.02	0.13 ± 0.01	0.10 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.15 ± 0.03
Cd 114	0.10 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.10 ± 0.01
Sn 118	1.05 ± 0.24	1.08 ± 0.25	1.35 ± 0.31	1.32 ± 0.30	0.99 ± 0.22	1.05 ± 0.24	1.42 ± 0.32
Sn 120	1.05 ± 0.21	1.10 ± 0.22	1.42 ± 0.29	1.33 ± 0.27	1.01 ± 0.20	1.08 ± 0.22	1.44 ± 0.29
Sb 121	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.10 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.07 ± 0.02
Sb 123	0.27 ± 0.04	0.25 ± 0.03	0.21 ± 0.03	0.23 ± 0.05	0.23 ± 0.04	0.20 ± 0.03	0.24 ± 0.04
Hf 177	1.63 ± 0.04	1.96 ± 0.03	3.00 ± 0.02	2.43 ± 0.07	1.58 ± 0.02	2.18 ± 0.02	2.40 ± 0.04
Hf 178	1.64 ± 0.02	1.96 ± 0.02	3.07 ± 0.06	2.46 ± 0.07	1.61 ± 0.01	2.20 ± 0.04	2.34 ± 0.03
Ta 181	0.55 ± 0.05	0.81 ± 0.08	1.19 ± 0.12	2.83 ± 0.28	0.54 ± 0.05	0.94 ± 0.10	2.85 ± 0.29
W 182	0.38 ± 0.08	0.43 ± 0.09	0.42 ± 0.09	0.50 ± 0.11	0.22 ± 0.04	0.44 ± 0.09	0.53 ± 0.11
Pb 206	3.19 ± 0.11	4.11 ± 0.10	5.33 ± 0.10	2.21 ± 0.04	3.32 ± 0.05	4.33 ± 0.07	1.94 ± 0.03
Pb 207	3.09 ± 0.04	3.91 ± 0.06	5.10 ± 0.07	2.14 ± 0.02	3.17 ± 0.05	4.19 ± 0.08	1.90 ± 0.02
Pb 208	3.13 ± 0.06	3.96 ± 0.06	5.13 ± 0.12	2.14 ± 0.03	3.16 ± 0.05	4.16 ± 0.06	1.96 ± 0.04
Bi 209	0.022 ± 0.001	0.043 ± 0.003	0.041 ± 0.003	0.011 ± 0	0.013 ± 0.002	0.040 ± 0.002	0.015 ± 0
Th 232	0.77 ± 0.02	1.06 ± 0.04	1.45 ± 0.04	1.66 ± 0.04	0.74 ± 0.02	1.50 ± 0.04	1.67 ± 0.04
U 238	0.39 ± 0.01	0.52 ± 0.02	0.56 ± 0.03	0.58 ± 0.02	0.35 ± 0.01	0.55 ± 0.03	0.56 ± 0.02

Isotop	BAK-95-31	JB-3.1	JB-3.2	JB-3.3	JB-3.4	JB-3.5
As 75	5.89 ± 1.31	6.96 ± 1.48	6.97 ± 1.50	7.12 ± 1.56	7.56 ± 1.62	7.85 ± 1.69
Zr 90	72.46 ± 5.06	86.61 ± 6.13	87.69 ± 6.14	85.47 ± 5.89	90.15 ± 6.49	91.62 ± 6.53
Zr 91	76.83 ± 6.17	90.93 ± 7.40	90.53 ± 7.43	90.95 ± 7.37	94.93 ± 7.79	95.5 ± 7.75
Nb 93	8.60 ± 1.92	5.22 ± 1.17	4.89 ± 1.09	4.64 ± 1.04	4.81 ± 1.08	4.96 ± 1.11
Mo 95	0.97 ± 0.07	1.33 ± 0.11	1.35 ± 0.10	1.45 ± 0.13	1.50 ± 0.12	1.54 ± 0.12
Cd 111	0.13 ± 0.03	0.15 ± 0.02	0.18 ± 0.03	0.15 ± 0.03	0.15 ± 0.03	0.17 ± 0.05
Cd 114	0.09 ± 0.01	0.15 ± 0.01	0.13 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.12 ± 0.01	0.12 ± 0.01
Sn 118	1.01 ± 0.23	1.93 ± 0.44	1.72 ± 0.39	1.50 ± 0.34	1.53 ± 0.35	1.52 ± 0.35
Sn 120	0.99 ± 0.20	1.90 ± 0.39	1.67 ± 0.34	1.53 ± 0.31	1.56 ± 0.31	1.51 ± 0.30
Sb 121	0.09 ± 0.02	0.19 ± 0.03	0.19 ± 0.03	0.19 ± 0.04	0.21 ± 0.03	0.23 ± 0.03
Sb 123	0.21 ± 0.04	0.36 ± 0.06	0.36 ± 0.05	0.38 ± 0.06	0.41 ± 0.06	0.37 ± 0.06

Isotop	BAK-95-31	JB-3.1	JB-3.2	JB-3.3	JB-3.4	JB-3.5
Hf 177	1.68 ± 0.02	1.76 ± 0.03	1.82 ± 0.06	1.79 ± 0.02	1.81 ± 0.05	1.89 ± 0.06
Hf 178	1.73 ± 0.04	1.73 ± 0.03	1.80 ± 0.01	1.82 ± 0.01	1.80 ± 0.01	1.92 ± 0.04
Ta 181	0.76 ± 0.08	0.33 ± 0.04	0.34 ± 0.03	0.31 ± 0.03	0.30 ± 0.03	0.36 ± 0.04
W 182	0.41 ± 0.08	2.54 ± 0.51	2.65 ± 0.53	2.66 ± 0.54	2.63 ± 0.53	2.70 ± 0.54
Pb 206	3.27 ± 0.08	4.23 ± 0.08	4.30 ± 0.08	4.32 ± 0.08	4.46 ± 0.09	4.68 ± 0.07
Pb 207	3.13 ± 0.03	4.03 ± 0.10	4.11 ± 0.04	4.16 ± 0.09	4.31 ± 0.06	4.51 ± 0.05
Pb 208	3.17 ± 0.06	4.04 ± 0.07	4.25 ± 0.09	4.23 ± 0.06	4.40 ± 0.10	4.52 ± 0.09
Bi 209	0.024 ± 0.001	0.019 ± 0.001	0.021 ± 0.001	0.019 ± 0.001	0.019 ± 0.001	0.018 ± 0
Th 232	1.65 ± 0.02	1.16 ± 0.04	1.20 ± 0.05	1.19 ± 0.03	1.21 ± 0.02	1.28 ± 0.04
U 238	0.68 ± 0.02	0.46 ± 0.02	0.49 ± 0.01	0.48 ± 0.02	0.47 ± 0.01	0.51 ± 0.02

Relative Abweichung der internationalen Standards

Isotope	JB-3.1	JB-3.2	JB-3.3	JB-3.4	JB-3.5
As 75	278,05%	278,95%	286,78%	310,92%	326,84%
Zr 90	-11,45%	-10,34%	-12,61%	-7,83%	-6,32%
Zr 91	-7,02%	-7,44%	-7,00%	-2,93%	-2,35%
Nb 93	111,32%	97,88%	87,84%	94,57%	100,99%
Mo 95	22,11%	23,42%	32,90%	37,17%	41,40%
Cd 111	90,78%	123,76%	85,21%	87,32%	112,41%
Cd 114	80,89%	62,73%	43,18%	44,57%	50,96%
Sn 118	105,81%	82,65%	59,59%	63,09%	61,94%
Sn 120	101,84%	78,00%	62,97%	65,57%	60,94%
Sb 121	61,00%	58,89%	55,89%	75,81%	94,29%
Sb 123	198,72%	198,93%	213,32%	238,78%	207,52%
Hf 177	-34,25%	-31,99%	-33,10%	-32,21%	-29,37%
Hf 178	-35,23%	-32,74%	-31,95%	-32,43%	-28,22%
Ta 181	122,69%	126,42%	109,47%	100,12%	138,13%
W 182	139,45%	150,38%	151,00%	147,88%	154,56%
Pb 206	-24,27%	-22,85%	-22,58%	-20,09%	-16,05%
Pb 207	-27,80%	-26,29%	-25,39%	-22,77%	-19,24%
Pb 208	-27,54%	-23,75%	-24,11%	-21,08%	-19,09%
Bi 209	-18,13%	-9,67%	-16,30%	-17,82%	-22,95%
Th 232	-9,01%	-5,75%	-6,51%	-4,92%	0,62%
U 238	-3,70%	2,41%	-0,55%	-1,84%	7,02%

CPS13111997Konzentrationen [$\mu\text{g/g}$]

Isotop	KLU-96-01	KLU-96-07	KLU-96-11	KLU-96-12	TOL-96-01	TOL-96-02/2	TOL-96-03
As 75	1.17 ± 0.06	1.69 ± 0.05	1.54 ± 0.08	1.69 ± 0.19	2.72 ± 0.05	1.07 ± 0.06	1.57 ± 0.06
Mo 95	0.65 ± 0.04	0.75 ± 0.09	0.73 ± 0.05	0.90 ± 0.04	1.81 ± 0.14	0.86 ± 0.02	1.17 ± 0.08
Mo 98	0.74 ± 0.04	0.76 ± 0.03	0.68 ± 0.04	0.94 ± 0.02	1.88 ± 0.07	0.85 ± 0.04	1.17 ± 0.04
Cd 111	0.07 ± 0.03	0.10 ± 0.04	0.11 ± 0.02	0.16 ± 0.03	0.12 ± 0.03	0.11 ± 0.06	0.11 ± 0.03
Cd 112	0.17 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.16 ± 0.03	0.20 ± 0.02	0.28 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.19 ± 0.01
Cd 114	0.13 ± 0.04	0.10 ± 0	0.08 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.10 ± 0.02	0.11 ± 0.02	0.07 ± 0.01
Pb 206	3.10 ± 0.06	2.94 ± 0.08	2.32 ± 0.09	3.74 ± 0.08	5.62 ± 0.09	1.99 ± 0.03	2.97 ± 0.06
Pb 207	3.07 ± 0.14	2.85 ± 0.14	2.25 ± 0.11	3.59 ± 0.11	5.31 ± 0.16	1.92 ± 0.08	2.93 ± 0.11
Pb 208	3.00 ± 0.13	2.88 ± 0.12	2.21 ± 0.08	3.53 ± 0.07	5.36 ± 0.09	1.85 ± 0.05	3.03 ± 0.04
Bi 209	0.060 ± 0.008	0.027 ± 0.005	0.024 ± 0.003	0.06 ± 0.009	0.017 ± 0.002	0.055 ± 0.007	0.029 ± 0.003
Th 232	0.79 ± 0.03	0.51 ± 0.02	0.61 ± 0.04	1.00 ± 0.02	2.76 ± 0.12	0.79 ± 0.03	1.69 ± 0.04
U 238	0.41 ± 0.02	0.41 ± 0.06	0.35 ± 0.03	0.55 ± 0.06	1.27 ± 0.06	0.34 ± 0.05	0.74 ± 0.06

Isotop	2310	BAK-95-17	BAK-95-24	SCH-96-01	SCH-96-04	GAM-96-12	GAM-96-28
As 75	1.10 ± 0.03	0.81 ± 0.12	0.82 ± 0.03	1.39 ± 0.11	1.06 ± 0.06	1.68 ± 0.17	0.84 ± 0.05

Isotop	2310	BAK-95-17	BAK-95-24	SCH-96-01	SCH-96-04	GAM-96-12	GAM-96-28
Mo 95	0.91 ± 0.02	1.09 ± 0.14	0.79 ± 0.02	0.82 ± 0.09	0.64 ± 0.07	0.96 ± 0.06	0.73 ± 0.03
Mo 98	0.92 ± 0.02	1.11 ± 0.04	0.81 ± 0.05	0.78 ± 0.02	0.61 ± 0.02	0.92 ± 0.04	0.67 ± 0.01
Cd 111	0.15 ± 0.03	0.14 ± 0.04	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.02	0.13 ± 0.04	0.16 ± 0.04	0.13 ± 0.03
Cd 112	0.19 ± 0.02	0.19 ± 0.02	0.17 ± 0.03	0.14 ± 0.01	0.10 ± 0	0.16 ± 0.02	0.12 ± 0.02
Cd 114	0.13 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.05 ± 0.02	0.06 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.08 ± 0.02
Pb 206	2.29 ± 0.07	2.89 ± 0.07	2.34 ± 0.06	2.21 ± 0.10	1.94 ± 0.07	3.02 ± 0.11	1.77 ± 0.05
Pb 207	2.23 ± 0.07	2.86 ± 0.10	2.18 ± 0.07	2.13 ± 0.09	1.90 ± 0.12	2.82 ± 0.15	1.65 ± 0.09
Pb 208	2.21 ± 0.05	2.75 ± 0.05	2.25 ± 0.06	2.13 ± 0.07	1.90 ± 0.05	3.00 ± 0.06	1.76 ± 0.08
Bi 209	0.034 ± 0.003	0.017 ± 0.006	0.024 ± 0.004	0.014 ± 0.004	0.019 ± 0.001	0.023 ± 0.002	0.016 ± 0.001
Th 232	0.51 ± 0.03	2.00 ± 0.06	1.43 ± 0.05	0.84 ± 0.02	1.04 ± 0.04	1.44 ± 0.06	1.03 ± 0.05
U 238	0.30 ± 0.04	0.67 ± 0.06	0.52 ± 0.02	0.41 ± 0.02	0.45 ± 0.07	0.43 ± 0.05	0.52 ± 0.09

Isotop	KOM-96-02	KOM-96-06	KOM-96-11	KIZ-96-1/1	KIZ-96-24	KIZ-96-24/1	ESO-96-04
As 75	1.60 ± 0.06	1.32 ± 0.05	6.63 ± 0.14	0.83 ± 0.03	1.11 ± 0.07	1.04 ± 0.07	0.87 ± 0.03
Mo 95	1.09 ± 0.04	0.75 ± 0.06	2.11 ± 0.07	0.74 ± 0.08	1.25 ± 0.09	1.07 ± 0.05	0.92 ± 0.06
Mo 98	1.09 ± 0.04	0.85 ± 0.02	2.16 ± 0.13	0.85 ± 0.03	1.23 ± 0.02	1.04 ± 0.03	0.99 ± 0.02
Cd 111	0.38 ± 0.03	0.16 ± 0.03	0.19 ± 0.06	0.08 ± 0.02	0.13 ± 0.01	0.14 ± 0.02	0.09 ± 0.02
Cd 112	0.34 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.17 ± 0.02	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.02	0.17 ± 0.02
Cd 114	0.33 ± 0.04	0.11 ± 0.01	0.14 ± 0.02	0.08 ± 0.02	0.08 ± 0.01	0.13 ± 0.02	0.09 ± 0.01
Pb 206	3.61 ± 0.06	2.34 ± 0.13	5.11 ± 0.09	2.48 ± 0.04	3.05 ± 0.07	2.47 ± 0.05	4.84 ± 0.10
Pb 207	3.30 ± 0.12	2.17 ± 0.08	4.74 ± 0.15	2.30 ± 0.09	2.91 ± 0.15	2.39 ± 0.10	4.41 ± 0.21
Pb 208	3.52 ± 0.08	2.30 ± 0.06	4.96 ± 0.09	2.37 ± 0.03	2.94 ± 0.14	2.47 ± 0.05	4.57 ± 0.14
Bi 209	0.029 ± 0.005	0.014 ± 0.003	0.031 ± 0.008	0.014 ± 0.004	0.030 ± 0.005	0.030 ± 0.004	0.040 ± 0.006
Th 232	1.47 ± 0.03	1.32 ± 0.08	2.94 ± 0.16	1.45 ± 0.05	1.97 ± 0.11	1.30 ± 0.07	1.14 ± 0.05
U 238	0.65 ± 0.03	0.53 ± 0.10	1.02 ± 0.01	0.67 ± 0.07	0.96 ± 0.07	0.76 ± 0.10	0.65 ± 0.09

Isotop	ESO-96-08	ACH-96-02	ACH-96-03	ICH-96-02	ICH-96-10	ICH-96-19	ICH-96-31
As 75	0.59 ± 0.07	0.98 ± 0.08	0.82 ± 0.01	0.83 ± 0.08	0.74 ± 0.04	0.61 ± 0.02	0.82 ± 0.07
Mo 95	0.58 ± 0.04	0.92 ± 0.05	1.27 ± 0.12	1.53 ± 0.05	1.64 ± 0.06	0.89 ± 0.12	1.35 ± 0.12
Mo 98	0.66 ± 0.01	0.90 ± 0.07	1.24 ± 0.03	1.33 ± 0.06	1.45 ± 0.09	0.86 ± 0.03	1.43 ± 0.11
Cd 111	0.09 ± 0.03	0.15 ± 0.01	0.15 ± 0.07	0.13 ± 0.04	0.12 ± 0.05	0.11 ± 0.04	0.15 ± 0.04
Cd 112	0.16 ± 0.04	0.18 ± 0.05	0.21 ± 0.01	0.22 ± 0.02	0.21 ± 0.04	0.13 ± 0.03	0.18 ± 0.03
Cd 114	0.11 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.07 ± 0.03	0.09 ± 0.03
Pb 206	2.95 ± 0.10	3.48 ± 0.11	4.58 ± 0.09	5.75 ± 0.19	2.38 ± 0.10	3.68 ± 0.12	5.03 ± 0.10
Pb 207	2.80 ± 0.10	3.22 ± 0.10	4.18 ± 0.13	5.56 ± 0.29	2.31 ± 0.15	3.38 ± 0.11	4.72 ± 0.27
Pb 208	2.92 ± 0.05	3.35 ± 0.04	4.38 ± 0.12	5.66 ± 0.09	2.37 ± 0.07	3.41 ± 0.05	4.77 ± 0.05
Bi 209	0.035 ± 0.002	0.031 ± 0.004	0.058 ± 0.004	0.053 ± 0.004	0.016 ± 0.003	0.021 ± 0.005	0.052 ± 0.006
Th 232	0.72 ± 0.07	1.19 ± 0.04	1.65 ± 0.04	2.44 ± 0.07	2.58 ± 0.06	1.23 ± 0.04	2.29 ± 0.07
U 238	0.42 ± 0.05	0.58 ± 0.09	0.75 ± 0.05	0.91 ± 0.03	0.86 ± 0.03	0.84 ± 0.15	1.10 ± 0.13

Isotop	ICH-96-05	BAK-95-31	JA-2.1	JB-3.1	JA-2.2	JB-3.2	JA-2.3
As 75	0.76 ± 0.06	0.88 ± 0.03	0.79 ± 0.03	1.84 ± 0.04	1.12 ± 0.04	1.96 ± 0.07	1.14 ± 0.07
Mo 95	1.46 ± 0.10	0.86 ± 0.09	0.63 ± 0.03	1.37 ± 0.04	0.75 ± 0.03	1.32 ± 0.11	0.78 ± 0.01
Mo 98	1.42 ± 0.07	0.89 ± 0.10	0.61 ± 0.01	1.44 ± 0.05	0.73 ± 0.03	1.38 ± 0.05	0.74 ± 0.02
Cd 111	0.13 ± 0.04	0.10 ± 0.05	0.18 ± 0.03	0.15 ± 0.03	0.22 ± 0.03	0.09 ± 0.02	0.21 ± 0.06
Cd 112	0.16 ± 0.03	0.13 ± 0.03	0.32 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.34 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.30 ± 0.02
Cd 114	0.09 ± 0.02	0.13 ± 0.03	0.24 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.25 ± 0.07
Pb 206	2.21 ± 0.05	3.82 ± 0.09	19.74 ± 0.36	4.99 ± 0.14	18.96 ± 0.41	5.05 ± 0.11	19.52 ± 0.38
Pb 207	2.25 ± 0.08	3.66 ± 0.15	18.93 ± 0.62	4.72 ± 0.21	17.53 ± 0.59	4.85 ± 0.14	18.27 ± 0.71
Pb 208	2.20 ± 0.06	3.80 ± 0.15	19.28 ± 0.25	4.97 ± 0.07	18.77 ± 0.22	4.79 ± 0.16	19.02 ± 0.30
Bi 209	0.017 ± 0.008	0.025 ± 0.005	0.102 ± 0.011	0.029 ± 0.003	0.107 ± 0.009	0.027 ± 0.002	0.115 ± 0.005
Th 232	2.63 ± 0.06	2.63 ± 0.16	6.31 ± 0.12	1.95 ± 0.05	7.07 ± 0.15	1.95 ± 0.08	7.39 ± 0.17
U 238	1.15 ± 0.07	1.18 ± 0.15	2.28 ± 0.05	0.56 ± 0.03	2.24 ± 0.09	0.58 ± 0.05	2.44 ± 0.14

Relative Abweichung der internationalen Standards

Isotop	JA-2.1	JB-3.1	JA-2.2	JB-3.2	JA-2.3
As 75	-6,68%	0,10%	31,82%	6,69%	34,13%
Mo 95	4,41%	25,77%	25,00%	21,42%	29,61%

Isotop	JA-2.1	JB-3.1	JA-2.2	JB-3.2	JA-2.3
Mo 98	1,62%	32,29%	22,40%	26,94%	23,51%
Cd 111	136,34%	79,05%	184,04%	16,75%	169,59%
Cd 112	307,17%	125,63%	330,30%	120,62%	284,05%
Cd 114	212,29%	25,92%	190,39%	0,72%	215,51%
Pb 206	2,83%	-10,56%	-1,27%	-9,44%	1,64%
Pb 207	-1,39%	-15,43%	-8,68%	-13,15%	-4,86%
Pb 208	0,42%	-10,91%	-2,22%	-14,24%	-0,95%
Bi 209	46,21%	28,12%	52,86%	17,20%	63,81%
Th 232	25,49%	53,89%	40,59%	53,82%	46,89%
U 238	3,17%	17,59%	1,19%	20,43%	10,41%

CPS06011998Konzentrationen [$\mu\text{g}/\text{g}$]

Isotop	KLU-96-01	KLU-96-07	KLU-96-11	KLU-96-12	TOL-96-01	TOL-96-02/2	TOL-96-03
As 75	2.49 ± 0.07	2.49 ± 0.08	2.85 ± 0.12	2.79 ± 0.19	3.87 ± 0.11	2.36 ± 0.09	2.95 ± 0.16
Mo 95	0.77 ± 0.06	0.87 ± 0.04	0.81 ± 0.04	0.96 ± 0.02	2.04 ± 0.07	0.94 ± 0.03	1.29 ± 0.04
Mo 98	0.73 ± 0.03	0.89 ± 0.04	0.75 ± 0.02	1.03 ± 0.02	2.09 ± 0.07	0.94 ± 0.04	1.32 ± 0.04
Cd 111	0.17 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.14 ± 0.04	0.18 ± 0.02	0.22 ± 0.03	0.17 ± 0.02	0.20 ± 0.01
Cd 112	0.29 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.26 ± 0.01	0.31 ± 0.01	0.51 ± 0.04	0.25 ± 0.02	0.34 ± 0.03
Cd 114	0.12 ± 0.01	0.09 ± 0	0.11 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0
Pb 206	2.58 ± 0.04	2.42 ± 0.04	1.87 ± 0.02	2.97 ± 0.04	4.76 ± 0.07	1.58 ± 0.03	2.50 ± 0.05
Pb 207	2.78 ± 0.07	2.67 ± 0.08	2.05 ± 0.03	3.27 ± 0.03	5.20 ± 0.08	1.75 ± 0.02	2.77 ± 0.07
Pb 208	2.81 ± 0.07	2.61 ± 0.05	2.08 ± 0.03	3.25 ± 0.05	5.16 ± 0.09	1.72 ± 0.02	2.77 ± 0.04
Bi 209	0.037 ± 0.003	0.021 ± 0.002	0.017 ± 0.002	0.034 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.040 ± 0.002	0.023 ± 0.004
Th 232	0.52 ± 0.02	0.35 ± 0.01	0.43 ± 0.01	0.79 ± 0.02	2.18 ± 0.04	0.55 ± 0.01	1.08 ± 0.03
U 238	0.39 ± 0.01	0.39 ± 0.01	0.30 ± 0.02	0.50 ± 0.02	1.25 ± 0.02	0.33 ± 0.01	0.63 ± 0.01

Isotop	2310	BAK-95-17	BAK-95-24	SCH-96-01	SCH-96-04	GAM-96-12	GAM-96-25
As 75	2.61 ± 0.09	2.09 ± 0.10	2.46 ± 0.13	2.83 ± 0.07	2.5 ± 0.11	2.76 ± 0.06	2.65 ± 0.10
Mo 95	0.99 ± 0.04	1.21 ± 0.05	0.93 ± 0.03	0.88 ± 0.02	0.66 ± 0.02	0.99 ± 0.05	0.89 ± 0.03
Mo 98	0.98 ± 0.02	1.19 ± 0.03	0.87 ± 0.04	0.82 ± 0.05	0.66 ± 0.02	0.96 ± 0.03	0.90 ± 0.03
Cd 111	0.20 ± 0.02	0.20 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.12 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.15 ± 0.02
Cd 112	0.27 ± 0.02	0.32 ± 0.02	0.27 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.17 ± 0.01
Cd 114	0.14 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.10 ± 0	0.08 ± 0	0.08 ± 0	0.10 ± 0.01	0.08 ± 0.01
Pb 206	1.95 ± 0.04	2.33 ± 0.05	1.91 ± 0.04	1.81 ± 0.04	1.71 ± 0.02	2.60 ± 0.03	1.65 ± 0.03
Pb 207	2.07 ± 0.04	2.58 ± 0.04	2.08 ± 0.02	2.04 ± 0.02	1.86 ± 0.07	2.84 ± 0.04	1.80 ± 0.05
Pb 208	2.09 ± 0.05	2.53 ± 0.06	2.08 ± 0.03	2.00 ± 0.04	1.85 ± 0.04	2.88 ± 0.07	1.79 ± 0.03
Bi 209	0.022 ± 0.004	0.011 ± 0.001	0.012 ± 0.003	0.002 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.009 ± 0.003	0.005 ± 0.001
Th 232	0.34 ± 0.01	1.30 ± 0.02	0.90 ± 0.02	0.54 ± 0.01	0.66 ± 0.01	1.15 ± 0.04	0.65 ± 0.02
U 238	0.25 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.40 ± 0.01	0.27 ± 0.01	0.30 ± 0.01	0.37 ± 0.01	0.32 ± 0.01

Isotop	KOM-96-02	KOM-96-06	KOM-96-11	KIZ-96-1/1	KIZ-96-24	KIZ-96-24/1	ESO-96-04
As 75	3.08 ± 0.10	2.85 ± 0.07	7.96 ± 0.23	2.49 ± 0.07	2.28 ± 0.09	2.32 ± 0.12	2.26 ± 0.09
Mo 95	1.17 ± 0.04	0.78 ± 0.01	2.27 ± 0.08	0.86 ± 0.05	1.43 ± 0.05	1.17 ± 0.07	1.16 ± 0.03
Mo 98	1.11 ± 0.06	0.83 ± 0.03	2.26 ± 0.08	0.86 ± 0.04	1.47 ± 0.03	1.24 ± 0.04	1.12 ± 0.03
Cd 111	0.43 ± 0.02	0.18 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.15 ± 0.01	0.17 ± 0.04	0.16 ± 0.01
Cd 112	0.47 ± 0.02	0.21 ± 0.02	0.39 ± 0.02	0.23 ± 0.02	0.24 ± 0.02	0.26 ± 0.01	0.24 ± 0.01
Cd 114	0.33 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.13 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.01
Pb 206	3.10 ± 0.05	2.03 ± 0.05	4.48 ± 0.10	2.07 ± 0.03	2.62 ± 0.05	2.26 ± 0.02	4.17 ± 0.04
Pb 207	3.39 ± 0.08	2.13 ± 0.02	4.98 ± 0.09	2.26 ± 0.04	2.89 ± 0.03	2.48 ± 0.05	4.75 ± 0.08
Pb 208	3.37 ± 0.08	2.15 ± 0.03	4.87 ± 0.08	2.19 ± 0.03	2.84 ± 0.06	2.47 ± 0.06	4.55 ± 0.06
Bi 209	0.012 ± 0.002	0.003 ± 0.001	0.019 ± 0.003	0.004 ± 0.002	0.013 ± 0.002	0.020 ± 0.002	0.027 ± 0.003
Th 232	1.00 ± 0.02	0.86 ± 0.02	2.41 ± 0.05	1.03 ± 0.02	1.63 ± 0.03	1.06 ± 0.03	0.83 ± 0.02
U 238	0.43 ± 0.01	0.38 ± 0.01	0.92 ± 0.02	0.48 ± 0.01	0.80 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.42 ± 0.01

Isotop	ESO-96-08	ACH-96-02	ACH-96-03	ICH-96-02	ICH-96-10	ICH-96-19	ICH-96-31
As 75	2.15 ± 0.15	2.36 ± 0.07	2.18 ± 0.10	1.93 ± 0.11	2.04 ± 0.11	1.99 ± 0.05	2.15 ± 0.15
Mo 95	0.84 ± 0.02	1.09 ± 0.04	1.40 ± 0.04	1.53 ± 0.03	1.55 ± 0.06	0.94 ± 0.03	1.52 ± 0.05
Mo 98	0.75 ± 0.04	1.04 ± 0.04	1.35 ± 0.03	1.50 ± 0.04	1.54 ± 0.04	0.92 ± 0.05	1.50 ± 0.09
Cd 111	0.15 ± 0.02	0.19 ± 0.02	0.20 ± 0.01	0.26 ± 0.01	0.17 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.19 ± 0.02
Cd 112	0.23 ± 0.02	0.27 ± 0.03	0.31 ± 0.01	0.48 ± 0.05	0.38 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.36 ± 0.03
Cd 114	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.12 ± 0.02	0.14 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.07 ± 0	0.11 ± 0.01
Pb 206	2.59 ± 0.03	3.13 ± 0.04	3.93 ± 0.04	4.97 ± 0.10	2.09 ± 0.03	3.14 ± 0.04	4.22 ± 0.05
Pb 207	2.88 ± 0.08	3.55 ± 0.08	4.37 ± 0.07	5.68 ± 0.08	2.32 ± 0.02	3.54 ± 0.06	4.69 ± 0.05
Pb 208	2.81 ± 0.05	3.46 ± 0.05	4.29 ± 0.06	5.58 ± 0.07	2.25 ± 0.03	3.44 ± 0.05	4.60 ± 0.05
Bi 209	0.021 ± 0.003	0.021 ± 0.002	0.037 ± 0.003	0.036 ± 0.003	0.006 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.037 ± 0.004
Th 232	0.46 ± 0.01	0.78 ± 0.03	1.17 ± 0.05	1.61 ± 0.05	1.71 ± 0.03	0.82 ± 0.02	1.69 ± 0.04
U 238	0.26 ± 0.01	0.37 ± 0.01	0.50 ± 0.02	0.54 ± 0.02	0.53 ± 0.01	0.38 ± 0.01	0.60 ± 0.01

Isotop	ICH-96-05	BAK-95-31	JA-2.1	JB-3.1	JA-2.2	JB-3.2	JA-2.3
As 75	2.38 ± 0.10	2.45 ± 0.08	1.95 ± 0.09	3.70 ± 0.12	2.09 ± 0.05	3.82 ± 0.19	2.05 ± 0.08
Mo 95	1.73 ± 0.09	1.03 ± 0.05	0.69 ± 0.03	1.59 ± 0.06	0.79 ± 0.04	1.66 ± 0.08	0.74 ± 0.01
Mo 98	1.68 ± 0.06	1.02 ± 0.03	0.70 ± 0.03	1.53 ± 0.05	0.73 ± 0.03	1.66 ± 0.04	0.72 ± 0.03
Cd 111	0.23 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.26 ± 0.03	0.15 ± 0.03	0.26 ± 0.03	0.17 ± 0.01	0.27 ± 0.03
Cd 112	0.39 ± 0.02	0.29 ± 0.03	0.47 ± 0.02	0.29 ± 0.01	0.45 ± 0.02	0.27 ± 0.02	0.43 ± 0.02
Cd 114	0.12 ± 0.01	0.09 ± 0	0.21 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.23 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.21 ± 0.01
Pb 206	1.86 ± 0.04	3.10 ± 0.07	16.70 ± 0.29	4.25 ± 0.04	17.14 ± 0.20	4.31 ± 0.06	17.00 ± 0.16
Pb 207	2.10 ± 0.05	3.51 ± 0.06	18.43 ± 0.18	4.80 ± 0.10	18.48 ± 0.34	4.85 ± 0.06	19.05 ± 0.18
Pb 208	2.08 ± 0.07	3.40 ± 0.05	18.79 ± 0.31	4.76 ± 0.09	18.86 ± 0.32	4.79 ± 0.06	19.11 ± 0.34
Bi 209	0.012 ± 0.002	0.02 ± 0.003	0.081 ± 0.008	0.016 ± 0.001	0.083 ± 0.005	0.017 ± 0.002	0.087 ± 0.006
Th 232	1.67 ± 0.03	1.62 ± 0.03	4.82 ± 0.09	1.35 ± 0.03	4.99 ± 0.11	1.38 ± 0.04	5.22 ± 0.11
U 238	0.52 ± 0.01	0.62 ± 0.01	2.23 ± 0.05	0.45 ± 0.01	2.20 ± 0.04	0.46 ± 0.01	2.22 ± 0.04

Relative Abweichung der internationalen Standards

Isotop	JA-2.1	JB-3.1	JA-2.2	JB-3.2	JA-2.3
As 75	129,74%	101,27%	145,76%	107,87%	141,34%
Mo 95	15,53%	45,45%	31,13%	52,02%	23,54%
Mo 98	16,66%	40,30%	21,71%	52,60%	19,70%
Cd 111	234,43%	83,47%	234,91%	112,23%	245,12%
Cd 112	503,84%	252,70%	480,46%	233,55%	448,22%
Cd 114	174,73%	24,33%	188,96%	29,51%	174,60%
Pb 206	-13,00%	-23,87%	-10,75%	-22,80%	-11,48%
Pb 207	-4,01%	-13,92%	-3,73%	-13,15%	-0,80%
Pb 208	-2,12%	-14,63%	-1,77%	-14,22%	-0,49%
Bi 209	15,56%	-32,01%	17,98%	-26,04%	24,11%
Th 232	-4,27%	6,24%	-0,83%	8,93%	3,81%

CPS26011998

Konzentrationen [$\mu\text{g/g}$]

Isotop	KLU-96-01	KLU-96-07	KLU-96-11	KLU-96-12	TOL-96-01	TOL-96-02/2	TOL-96-03
As 75	4.78 ± 0.29	4.40 ± 0.20	5.92 ± 0.21	6.91 ± 0.13	8.82 ± 0.17	6.04 ± 0.11	5.94 ± 0.23

Isotop	2310	BAK-95-17	BAK-95-24	SCH-96-01	SCH-96-04	BAK-95-31	ICH-96-05
As 75	5.41 ± 0.12	5.41 ± 0.12	5.73 ± 0.12	5.50 ± 0.25	5.25 ± 0.35	5.23 ± 0.18	5.84 ± 0.24

Isotop	ICH-96-31	ICH-96-19	ICH-96-10	ICH-96-02	ACH-96-03	ACH-96-02	ESO-96-08
As 75	4.92 ± 0.16	5.02 ± 0.28	5.90 ± 0.24	5.06 ± 0.24	5.26 ± 0.15	5.75 ± 0.26	5.58 ± 0.29

Isotop	ESO-96-04	KIZ-96-24/1	KIZ-96-24	KIZ-96-1/1	KOM-96-11	KOM-96-06	KOM-96-02
As 75	5.44 ± 0.18	6.24 ± 0.12	5.74 ± 0.27	5.96 ± 0.19	11.07 ± 0.17	5.87 ± 0.13	5.98 ± 0.26

Isotop	GAM-96-28	GAM-96-12	JA-2.1	JB-3. 1	JA-2. 2	JB-3 2	JA-2.3
As 75	6.05 ± 0.19	5.51 ± 0.08	4.37 ± 0.31	7.35 ± 0.26	4.66 ± 0.11	7.47 ± 0.34	4.60 ± 0.10

Relative Abweichung der internationalen Standards

Isotope	JA-2.1	JB-3. 1	JA-2. 2	JB-3 2	JA-2.3
As 75	414%	300%	448%	306%	442%

CPS25021998

Konzentrationen [$\mu\text{g/g}$]

Isotope	BAK-95-31	ICH-96-05	ICH-96-31	ICH-96-19	ICH-96-10	ICH-96-02	ACH-96-03
Zr 90	88,26 ± 4,45	141,90 ± 5,75	136,84 ± 6,96	86,20 ± 3,45	148,02 ± 7,60	165,89 ± 7,33	111,2 ± 5,90
Zr 91	89,90 ± 6,16	142,03 ± 2,75	134,56 ± 4,47	88,69 ± 2,66	147,73 ± 8,21	164,95 ± 9,16	108,61 ± 5,06
Nb 93	4,65 ± 0,43	18,54 ± 0,59	6,27 ± 0,12	3,15 ± 0,13	18,67 ± 0,88	8,25 ± 0,54	5,41 ± 0,18
Mo 95	0,84 ± 0,07	1,34 ± 0,05	1,25 ± 0,08	0,72 ± 0,05	1,19 ± 0,05	1,11 ± 0,12	1,11 ± 0,06
Mo 98	0,87 ± 0,06	1,37 ± 0,11	1,22 ± 0,04	0,75 ± 0,02	1,26 ± 0,06	1,11 ± 0,05	1,16 ± 0,13
Cd 111	0,12 ± 0,03	0,19 ± 0,02	0,18 ± 0,01	0,10 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,18 ± 0,06	0,12 ± 0,03
Cd 112	0,15 ± 0,03	0,21 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,12 ± 0,02	0,18 ± 0,01	0,21 ± 0,03	0,17 ± 0,03
Cd 114	0,11 ± 0,01	0,09 ± 0	0,11 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,10 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,10 ± 0,01
Sn 117	0,81 ± 0,08	1,30 ± 0,08	0,94 ± 0,11	0,69 ± 0,04	1,21 ± 0,09	1,16 ± 0,04	0,82 ± 0,05
Sn 118	0,82 ± 0,06	1,18 ± 0,06	0,94 ± 0,03	0,68 ± 0,04	1,13 ± 0,05	1,03 ± 0,03	0,80 ± 0,05
Sn 120	0,77 ± 0,06	1,18 ± 0,05	0,89 ± 0,04	0,73 ± 0,04	1,08 ± 0,05	1,04 ± 0,08	0,81 ± 0,05
Sb 121	0,09 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,06 ± 0,02	0,04 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,11 ± 0,03
Sb 123	0,09 ± 0	0,06 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,07 ± 0,01	0,05 ± 0,02	0,07 ± 0,02	0,11 ± 0,02
Hf 177	2,55 ± 0,08	3,52 ± 0,09	3,37 ± 0,10	2,35 ± 0,11	3,59 ± 0,13	4,48 ± 0,22	2,91 ± 0,07
Hf 178	2,49 ± 0,07	3,51 ± 0,15	3,45 ± 0,08	2,38 ± 0,05	3,59 ± 0,14	4,41 ± 0,10	2,94 ± 0,05
Ta 181	1,30 ± 0,10	3,27 ± 0,20	1,28 ± 0,09	0,74 ± 0,05	3,29 ± 0,19	1,63 ± 0,10	1,22 ± 0,08
W 182	0,26 ± 0,02	0,30 ± 0,02	0,23 ± 0,02	0,16 ± 0,02	0,25 ± 0,02	0,20 ± 0,01	0,20 ± 0,02
W 183	0,24 ± 0,03	0,28 ± 0,04	0,20 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,24 ± 0,03	0,22 ± 0,02	0,18 ± 0,02
Pb 206	3,52 ± 0,07	2,17 ± 0,04	5,00 ± 0,14	4,00 ± 0,13	2,55 ± 0,10	5,88 ± 0,12	4,74 ± 0,23
Pb 207	3,43 ± 0,11	2,06 ± 0,09	4,74 ± 0,10	3,81 ± 0,08	2,53 ± 0,07	5,65 ± 0,24	4,54 ± 0,16
Pb 208	3,46 ± 0,11	2,16 ± 0,06	4,79 ± 0,08	3,83 ± 0,07	2,51 ± 0,06	5,78 ± 0,08	4,68 ± 0,21
Bi 209	0,019 ± 0,002	0,014 ± 0,002	0,053 ± 0,006	0,006 ± 0,001	0,009 ± 0,004	0,040 ± 0,003	0,053 ± 0,004
Th 232	2,23 ± 0,27	1,93 ± 0,07	1,95 ± 0,04	0,96 ± 0,03	1,98 ± 0,03	1,95 ± 0,04	1,79 ± 0,21
U 238	0,59 ± 0,02	0,55 ± 0,01	0,61 ± 0,03	0,41 ± 0,01	0,57 ± 0,02	0,58 ± 0,02	0,52 ± 0,03

Isotope	ACH-96-03	ESO-96-08	ESO-96-04	KIZ-96-24/1	KIZ-96-24	KIZ-96-01/1	KOM-96-11
Zr 90	90,35 ± 1,22	66,65 ± 4,15	71,38 ± 3,48	80,56 ± 6,24	91,10 ± 3,68	74,12 ± 5,77	146,08 ± 4,95
Zr 91	88,03 ± 1,38	65,76 ± 3,79	71,82 ± 3,14	80,35 ± 7,31	87,29 ± 1,62	73,46 ± 3,82	138,66 ± 3,81
Nb 93	4,05 ± 0,10	1,78 ± 0,19	2,78 ± 0,08	2,69 ± 0,15	3,23 ± 0,10	2,50 ± 0,20	2,59 ± 0,07
Mo 95	0,83 ± 0,05	0,59 ± 0,06	0,90 ± 0,14	1,06 ± 0,07	1,18 ± 0,10	0,76 ± 0,10	1,81 ± 0,06
Mo 98	0,86 ± 0,03	0,64 ± 0,02	0,90 ± 0,08	0,99 ± 0,10	1,17 ± 0,11	0,68 ± 0,03	1,78 ± 0,10
Cd 111	0,13 ± 0,02	0,14 ± 0,01	0,12 ± 0,02	0,14 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,14 ± 0,04	0,15 ± 0,01
Cd 112	0,16 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,21 ± 0,02
Cd 114	0,10 ± 0	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,10 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,12 ± 0,02
Sn 117	0,82 ± 0,03	0,69 ± 0,06	0,57 ± 0,04	0,74 ± 0,06	0,81 ± 0,10	0,70 ± 0,08	1,09 ± 0,08
Sn 118	0,76 ± 0,04	0,61 ± 0,04	0,62 ± 0,03	0,86 ± 0,06	0,81 ± 0,06	0,73 ± 0,07	1,06 ± 0,06
Sn 120	0,73 ± 0,04	0,63 ± 0,04	0,65 ± 0,03	0,85 ± 0,07	0,80 ± 0,05	0,77 ± 0,03	1,07 ± 0,07
Sb 121	0,10 ± 0,02	0,06 ± 0,01	0,11 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,12 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,54 ± 0,05
Sb 123	0,08 ± 0,03	0,06 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,13 ± 0,03	0,08 ± 0,01	0,49 ± 0,04
Hf 177	2,42 ± 0,07	1,88 ± 0,09	2,11 ± 0,12	2,37 ± 0,06	2,54 ± 0,08	2,25 ± 0,09	4,33 ± 0,24
Hf 178	2,43 ± 0,10	1,88 ± 0,03	2,14 ± 0,07	2,26 ± 0,09	2,46 ± 0,09	2,20 ± 0,06	4,38 ± 0,07
Ta 181	0,92 ± 0,07	0,51 ± 0,04	0,70 ± 0,04	0,70 ± 0,04	0,82 ± 0,05	0,65 ± 0,04	0,68 ± 0,07

Isotope	ACH-96-03	ESO-96-08	ESO-96-04	KIZ-96-24/1	KIZ-96-24	KIZ-96-01/1	KOM-96-11
W 182	0,17 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,15 ± 0,02	0,20 ± 0,02	0,26 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,41 ± 0,01
W 183	0,15 ± 0,01	0,12 ± 0,02	0,14 ± 0,02	0,19 ± 0,01	0,24 ± 0,03	0,18 ± 0,01	0,42 ± 0,01
Pb 206	3,83 ± 0,17	3,39 ± 0,11	5,29 ± 0,16	2,81 ± 0,10	3,20 ± 0,07	2,51 ± 0,05	5,31 ± 0,16
Pb 207	3,71 ± 0,12	3,19 ± 0,19	5,16 ± 0,27	2,78 ± 0,08	3,14 ± 0,10	2,36 ± 0,05	5,07 ± 0,12
Pb 208	3,73 ± 0,12	3,28 ± 0,12	5,00 ± 0,15	2,75 ± 0,06	3,20 ± 0,08	2,45 ± 0,08	5,23 ± 0,09
Bi 209	0,030 ± 0,003	0,025 ± 0,004	0,04 ± 0,005	0,025 ± 0,005	0,019 ± 0,003	0,005 ± 0,001	0,026 ± 0,003
Th 232	1,02 ± 0,02	0,61 ± 0,03	1,07 ± 0,04	1,38 ± 0,04	2,11 ± 0,07	1,65 ± 0,15	3,33 ± 0,05
U 238	0,40 ± 0,02	0,28 ± 0,01	0,46 ± 0,02	0,58 ± 0,03	0,84 ± 0,02	0,50 ± 0,03	0,97 ± 0,01

Isotope	KOM-96-06	KOM-96-02	GAM-96-28	GAM-96-12	SCH-96-04	SCH-96-01	BAK-95-24
Zr 90	64,58 ± 1,46	78,21 ± 1,62	44,92 ± 1,95	74,96 ± 0,88	52,87 ± 2,82	70,07 ± 5,97	72,46 ± 3,58
Zr 91	63,62 ± 1,70	78,63 ± 1,04	45,95 ± 1,55	71,44 ± 1,84	52,13 ± 3,42	69,27 ± 6,35	72,32 ± 4,19
Nb 93	1,30 ± 0,07	1,54 ± 0,05	0,94 ± 0,04	1,61 ± 0,07	1,39 ± 0,07	1,47 ± 0,14	2,67 ± 0,18
Mo 95	0,71 ± 0,08	0,79 ± 0,05	0,50 ± 0,02	0,73 ± 0,08	0,54 ± 0,06	0,68 ± 0,13	0,64 ± 0,07
Mo 98	0,59 ± 0,02	0,92 ± 0,02	0,49 ± 0,05	0,69 ± 0,03	0,56 ± 0,03	0,72 ± 0,05	0,66 ± 0,03
Cd 111	0,14 ± 0,02	0,44 ± 0,03	0,09 ± 0,03	0,17 ± 0,05	0,12 ± 0,03	0,15 ± 0,01	0,22 ± 0,01
Cd 112	0,13 ± 0,02	0,31 ± 0,02	0,11 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,12 ± 0,02
Cd 114	0,09 ± 0,02	0,29 ± 0,03	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,08 ± 0,01
Sn 117	0,54 ± 0,08	0,74 ± 0,11	0,48 ± 0,06	0,65 ± 0,05	0,56 ± 0,09	0,69 ± 0,12	0,61 ± 0,03
Sn 118	0,65 ± 0,03	0,74 ± 0,06	0,48 ± 0,02	0,77 ± 0,02	0,53 ± 0,03	0,71 ± 0,06	0,67 ± 0,06
Sn 120	0,58 ± 0,02	0,77 ± 0,03	0,48 ± 0,02	0,74 ± 0,06	0,54 ± 0,02	0,69 ± 0,03	0,67 ± 0,03
Sb 121	0,10 ± 0,01	0,15 ± 0,03	0,07 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,15 ± 0,02	0,10 ± 0,02
Sb 123	0,09 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,15 ± 0,02	0,10 ± 0,01
Hf 177	1,96 ± 0,07	2,44 ± 0,09	1,58 ± 0,04	2,47 ± 0,05	1,57 ± 0,09	2,18 ± 0,10	2,25 ± 0,06
Hf 178	1,98 ± 0,07	2,34 ± 0,07	1,53 ± 0,05	2,34 ± 0,05	1,56 ± 0,05	2,10 ± 0,05	2,31 ± 0,10
Ta 181	0,44 ± 0,03	0,43 ± 0,03	0,32 ± 0,03	0,45 ± 0,05	0,42 ± 0,03	0,44 ± 0,03	0,73 ± 0,06
W 182	0,17 ± 0,02	0,20 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,16 ± 0,03	0,17 ± 0,02	0,16 ± 0,03
W 183	0,17 ± 0,01	0,18 ± 0,03	0,14 ± 0,02	0,18 ± 0,04	0,17 ± 0,03	0,16 ± 0,03	0,18 ± 0
Pb 206	2,37 ± 0,08	3,90 ± 0,14	1,93 ± 0,07	3,39 ± 0,08	2,18 ± 0,08	2,46 ± 0,10	2,49 ± 0,07
Pb 207	2,33 ± 0,07	3,56 ± 0,10	1,73 ± 0,13	3,06 ± 0,10	2,01 ± 0,07	2,28 ± 0,08	2,29 ± 0,10
Pb 208	2,40 ± 0,05	3,60 ± 0,08	1,79 ± 0,04	3,20 ± 0,08	2,03 ± 0,05	2,38 ± 0,05	2,37 ± 0,03
Bi 209	0,005 ± 0,002	0,015 ± 0,001	0,004 ± 0,001	0,012 ± 0,002	0,011 ± 0,002	0,005 ± 0,001	0,018 ± 0,004
Th 232	1,20 ± 0,05	1,44 ± 0,03	0,92 ± 0,02	1,60 ± 0,07	1,50 ± 0,35	0,88 ± 0,05	1,38 ± 0,05
U 238	0,41 ± 0,03	0,46 ± 0,02	0,35 ± 0,02	0,43 ± 0,02	0,32 ± 0,01	0,31 ± 0	0,43 ± 0,01

Isotope	BAK-95-17	2310	TOL-96-03	TOL-96-02/2	TOL-96-01	KLU-96-12	KLU-96-11
Zr 90	103,89 ± 1,42	66,58 ± 4,75	124,19 ± 0,88	66,01 ± 4,93	196,39 ± 19,42	100,67 ± 1,97	74,92 ± 1,85
Zr 91	102,09 ± 4,59	65,10 ± 3,09	122,52 ± 6,02	66,78 ± 3,15	200,02 ± 21,44	101,41 ± 2,54	73,16 ± 3,41
Nb 93	4,94 ± 0,20	1,51 ± 0,09	3,34 ± 0,16	1,66 ± 0,09	5,53 ± 0,43	2,16 ± 0,07	1,98 ± 0,16
Mo 95	0,92 ± 0,03	0,80 ± 0,07	1,08 ± 0,11	0,72 ± 0,02	1,59 ± 0,09	0,90 ± 0,15	0,65 ± 0,03
Mo 98	0,91 ± 0,03	0,80 ± 0,05	1,09 ± 0,07	0,75 ± 0,08	1,60 ± 0,09	0,86 ± 0,09	0,63 ± 0,08
Cd 111	0,16 ± 0,02	0,17 ± 0,03	0,21 ± 0,03	0,16 ± 0,04	0,23 ± 0,06	0,17 ± 0,05	0,15 ± 0,05
Cd 112	0,15 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,22 ± 0,04	0,17 ± 0,03	0,15 ± 0,04
Cd 114	0,08 ± 0	0,14 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,12 ± 0,01
Sn 117	0,82 ± 0,09	0,77 ± 0,09	1,04 ± 0,11	0,75 ± 0,05	1,64 ± 0,18	0,94 ± 0,10	0,84 ± 0,10
Sn 118	0,79 ± 0,06	0,79 ± 0,05	1,01 ± 0,13	0,72 ± 0,05	1,68 ± 0,08	1,00 ± 0,05	0,79 ± 0,03
Sn 120	0,81 ± 0,05	0,85 ± 0,05	1,11 ± 0,04	0,77 ± 0,05	1,67 ± 0,12	0,96 ± 0,04	0,77 ± 0,03
Sb 121	0,07 ± 0,01	0,81 ± 0,07	0,21 ± 0,02	0,10 ± 0,01	0,37 ± 0,04	0,24 ± 0,02	0,16 ± 0,03
Sb 123	0,07 ± 0,01	0,83 ± 0,05	0,22 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,40 ± 0,03	0,24 ± 0,02	0,17 ± 0,01
Hf 177	2,92 ± 0,06	1,89 ± 0,09	3,36 ± 0,12	2,11 ± 0,07	5,59 ± 0,23	2,98 ± 0,11	2,16 ± 0,15
Hf 178	2,97 ± 0,14	1,97 ± 0,06	3,24 ± 0,11	2,15 ± 0,06	5,60 ± 0,13	3,01 ± 0,16	2,20 ± 0,07
Ta 181	1,33 ± 0,11	0,61 ± 0,04	1,04 ± 0,10	0,80 ± 0,05	1,55 ± 0,12	0,67 ± 0,05	4,46 ± 0,26
W 182	0,23 ± 0,01	0,32 ± 0,01	0,28 ± 0,03	0,15 ± 0,01	0,48 ± 0,01	0,17 ± 0,02	0,30 ± 0,02
W 183	0,26 ± 0,02	0,37 ± 0,05	0,28 ± 0,02	0,19 ± 0,01	0,50 ± 0,01	0,23 ± 0,04	0,30 ± 0,03
Pb 206	2,88 ± 0,15	2,47 ± 0,10	3,18 ± 0,11	1,98 ± 0,06	5,80 ± 0,14	3,65 ± 0,10	2,27 ± 0,06
Pb 207	2,81 ± 0,13	2,23 ± 0,09	3,11 ± 0,13	1,82 ± 0,07	5,56 ± 0,26	3,39 ± 0,16	2,22 ± 0,09
Pb 208	2,86 ± 0,18	2,33 ± 0,10	3,14 ± 0,06	1,87 ± 0,08	5,89 ± 0,25	3,63 ± 0,08	2,28 ± 0,07
Bi 209	0,025 ± 0,002	0,028 ± 0,003	0,030 ± 0,007	0,053 ± 0,006	0,020 ± 0,005	0,040 ± 0,004	0,022 ± 0,003
Th 232	1,91 ± 0,13	0,48 ± 0,03	1,64 ± 0,04	1,10 ± 0,19	3,25 ± 0,28	1,15 ± 0,03	0,60 ± 0,02
U 238	0,59 ± 0,02	0,26 ± 0,04	0,70 ± 0,03	0,35 ± 0,01	1,38 ± 0,05	0,49 ± 0,02	0,28 ± 0,02

Isotope	KLU-96-07	KLU-96-01	JB-3.1	JB-3.2	JB-3.3	JA-2.1	JB-3.4
Zr 90	$63,47 \pm 2,41$	$72,14 \pm 4,51$	$91,99 \pm 0,89$	$93,67 \pm 1,98$	$98,54 \pm 9,19$	$119,96 \pm 6,16$	$88,73 \pm 3,55$
Zr 91	$65,51 \pm 1,42$	$71,85 \pm 3,47$	$92,09 \pm 2,62$	$91,65 \pm 1,29$	$96,10 \pm 5,57$	$116,45 \pm 6,64$	$90,65 \pm 3,19$
Nb 93	$1,71 \pm 0,05$	$3,29 \pm 0,18$	$2,14 \pm 0,05$	$2,17 \pm 0,07$	$2,15 \pm 0,16$	$9,12 \pm 0,75$	$2,11 \pm 0,05$
Mo 95	$0,67 \pm 0,03$	$0,64 \pm 0,04$	$1,36 \pm 0,07$	$1,34 \pm 0,14$	$1,07 \pm 0,11$	$0,55 \pm 0,06$	$1,27 \pm 0,14$
Mo 98	$0,66 \pm 0,06$	$0,59 \pm 0,10$	$1,31 \pm 0,06$	$1,25 \pm 0,09$	$1,14 \pm 0,10$	$0,53 \pm 0,06$	$1,23 \pm 0,03$
Cd 111	$0,17 \pm 0,06$	$0,13 \pm 0,05$	$0,15 \pm 0,01$	$0,17 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,05$	$0,11 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,02$
Cd 112	$0,14 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,01$	$0,16 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,01$	$0,15 \pm 0,01$	$0,15 \pm 0,02$
Cd 114	$0,12 \pm 0,03$	$0,11 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0$	$0,09 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0$	$0,11 \pm 0,01$
Sn 117	$0,79 \pm 0,16$	$0,87 \pm 0,05$	$0,92 \pm 0,15$	$0,91 \pm 0,06$	$0,98 \pm 0,16$	$1,53 \pm 0,14$	$1,05 \pm 0,09$
Sn 118	$0,68 \pm 0,09$	$0,77 \pm 0,05$	$0,92 \pm 0,09$	$0,96 \pm 0,03$	$0,98 \pm 0,03$	$1,59 \pm 0,04$	$0,96 \pm 0,03$
Sn 120	$0,70 \pm 0,04$	$0,80 \pm 0,04$	$0,92 \pm 0,06$	$0,95 \pm 0,03$	$1,01 \pm 0,05$	$1,62 \pm 0,05$	$0,99 \pm 0,08$
Sb 121	$0,20 \pm 0,04$	$0,24 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,01$	$0,14 \pm 0,01$	$0,19 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,02$
Sb 123	$0,20 \pm 0,02$	$0,26 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,02$	$0,39 \pm 0,05$	$0,54 \pm 0,04$	$0,16 \pm 0,03$
Hf 177	$2,07 \pm 0,16$	$2,27 \pm 0,13$	$2,88 \pm 0,07$	$2,76 \pm 0,09$	$2,86 \pm 0,16$	$3,33 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,08$
Hf 178	$2,06 \pm 0,06$	$2,25 \pm 0,08$	$2,81 \pm 0,05$	$2,86 \pm 0,06$	$2,82 \pm 0,07$	$3,31 \pm 0,09$	$2,78 \pm 0,06$
Ta 181	$2,38 \pm 0,15$	$4,50 \pm 0,28$	$0,60 \pm 0,05$	$0,56 \pm 0,04$	$0,33 \pm 0,03$	$2,12 \pm 0,12$	$0,55 \pm 0,03$
W 182	$0,14 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,02$	$1,43 \pm 0,03$	$1,28 \pm 0,02$	$1,25 \pm 0,06$	$1,11 \pm 0,02$	$1,32 \pm 0,08$
W 183	$0,13 \pm 0,02$	$0,17 \pm 0,02$	$1,29 \pm 0,05$	$1,38 \pm 0,05$	$1,23 \pm 0,02$	$1,14 \pm 0,03$	$1,27 \pm 0,04$
Pb 206	$2,90 \pm 0,12$	$3,04 \pm 0,09$	$5,36 \pm 0,16$	$5,37 \pm 0,14$	$5,61 \pm 0,17$	$21,55 \pm 0,81$	$5,16 \pm 0,21$
Pb 207	$2,70 \pm 0,09$	$2,96 \pm 0,20$	$5,28 \pm 0,17$	$5,21 \pm 0,17$	$5,25 \pm 0,09$	$19,83 \pm 0,63$	$5,10 \pm 0,11$
Pb 208	$2,92 \pm 0,07$	$3,04 \pm 0,10$	$5,32 \pm 0,15$	$5,22 \pm 0,17$	$5,48 \pm 0,14$	$21,25 \pm 0,56$	$5,11 \pm 0,07$
Bi 209	$0,029 \pm 0,003$	$0,053 \pm 0,003$	$0,021 \pm 0,001$	$0,022 \pm 0,002$	$0,027 \pm 0,006$	$0,106 \pm 0,016$	$0,021 \pm 0,004$
Th 232	$0,49 \pm 0,02$	$0,69 \pm 0,03$	$1,59 \pm 0,03$	$1,72 \pm 0,06$	$1,86 \pm 0,10$	$7,98 \pm 0,31$	$1,78 \pm 0,06$
U 238	$0,41 \pm 0,02$	$0,41 \pm 0,03$	$0,48 \pm 0,01$	$0,49 \pm 0,02$	$0,49 \pm 0,03$	$2,50 \pm 0,09$	$0,45 \pm 0,03$

Relative Abweichung der internationalen Standards

Isotope	JB-3.1	JB-3.2	JB-3.3	JA-2.1	JB-3.4
Zr 90	-5,94%	-4,23%	0,75%	3,41%	-9,27%
Zr 91	-5,83%	-6,29%	-1,74%	0,39%	-7,31%
Nb 93	-13,23%	-12,34%	-13,13%	-3,72%	-14,58%
Mo 95	24,59%	23,39%	-2,24%	-8,35%	16,59%
Mo 98	20,50%	14,78%	4,49%	-12,03%	13,04%
Cd 111	80,03%	107,70%	120,45%	43,23%	124,81%
Cd 112	98,37%	96,34%	92,56%	88,43%	83,63%
Cd 114	17,60%	7,17%	14,72%	1,23%	32,03%
Sn 117	-1,98%	-2,96%	4,23%	-8,77%	11,72%
Sn 118	-2,48%	2,07%	3,95%	-5,54%	2,04%
Sn 120	-2,56%	1,52%	7,45%	-3,59%	5,22%
Sb 121	-1,38%	-2,84%	13,77%	38,28%	0,93%
Sb 123	31,27%	15,88%	225,81%	282,73%	34,27%
Hf 177	7,92%	3,20%	7,28%	16,53%	2,27%
Hf 178	5,10%	7,07%	5,67%	15,78%	4,12%
Ta 181	298,54%	274,63%	121,88%	164,91%	268,51%
W 182	34,60%	20,88%	17,51%	12,53%	24,41%
W 183	21,35%	30,15%	16,07%	15,39%	19,60%
Pb 206	-3,94%	-3,82%	0,55%	12,23%	-7,49%
Pb 207	-5,42%	-6,71%	-5,91%	3,29%	-8,67%
Pb 208	-4,67%	-6,37%	-1,84%	10,70%	-8,38%
Bi 209	-10,81%	-6,16%	16,46%	51,44%	-9,85%
Th 232	25,08%	35,42%	46,26%	58,65%	40,50%
U 238	-0,86%	1,43%	2,22%	13,08%	-6,21%

Übersicht von LLD, LOD und LOQ der Probenmessungen

LLD [ng/g in Lösung]

Isotop	CPS28081997	CPS02091997	CPS13111997	CPS06011998	CPS26011998	CPS25021998
As 75	0,748	0,378	0,259	0,148	0,161	
Zr 90	0,674	0,520				2,043
Zr 91	1,203	0,761				2,320
Nb 93	0,179	0,166				0,167
Mo 95	0,500	0,182	0,340	0,144		0,222
Mo 98			0,162	0,087		0,123
Cd 111	0,219	0,101	0,220	0,086		0,111
Cd 112			0,087	0,036		0,044
Cd 114	0,075	0,022	0,116	0,030		0,048
Sn 117						0,244
Sn 118	0,092	0,057				0,091
Sn 120	0,062	0,047				0,107
Sb 121	0,131	0,055				0,066
Sb 123	0,140	0,067				0,080
Hf 177		0,107				0,151
Hf 178	0,138	0,113				0,138
Ta 181	0,064	0,028				0,097
W 182	0,184	0,130				0,088
W 183						0,111
Pb 206		0,058	0,156	0,087		0,211
Pb 207		0,063	0,188	0,109		0,208
Pb 208	0,408	0,050	0,091	0,090		0,181
Bi 209	0,079	0,005	0,057	0,013		0,025
Th 232	0,754	0,143	0,475	0,267		0,253
U 238	1,384	0,045	0,198	0,025		0,052

LOD [ng/g in Lösung]

Isotop	CPS28081997	CPS02091997	CPS13111997	CPS06011998	CPS26011998	CPS25021998
As 75	1,165	0,570	0,384	0,196	0,204	
Zr 90	1,167	0,828				3,588
Zr 91	1,786	1,108				3,985
Nb 93	0,280	0,224				0,281
Mo 95	0,754	0,247	0,483	0,199		0,347
Mo 98			0,252	0,134		0,204
Cd 111	0,346	0,139	0,333	0,122		0,159
Cd 112			0,131	0,050		0,067
Cd 114	0,116	0,028	0,193	0,042		0,073
Sn 117						0,367
Sn 118	0,132	0,076				0,145
Sn 120	0,093	0,064				0,175
Sb 121	0,205	0,082				0,101
Sb 123	0,220	0,097				0,120
Hf 177		0,169				0,248
Hf 178	0,226	0,184				0,229
Ta 181	0,094	0,038				0,162
W 182	0,285	0,201				0,148
W 183						0,173
Pb 206		0,077	0,236	0,125		0,331
Pb 207		0,085	0,282	0,155		0,326
Pb 208	0,688	0,067	0,124	0,134		0,286
Bi 209	0,125	0,007	0,097	0,019		0,039
Th 232	1,132	0,241	0,816	0,468		0,437
U 238	2,202	0,073	0,272	0,041		0,088

LOQ [ng/g in Lösung]

Isotop	CPS28081997	CPS02091997	CPS13111997	CPS06011998	CPS26011998	CPS25021998
As 75	1,720	0,825	0,552	0,260	0,261	
Zr 90	1,824	1,239				5,649
Zr 91	2,562	1,571				6,204
Nb 93	0,415	0,301				0,433
Mo 95	1,094	0,333	0,673	0,272		0,514
Mo 98			0,371	0,196		0,312
Cd 111	0,514	0,191	0,485	0,170		0,223
Cd 112			0,189	0,069		0,098
Cd 114	0,170	0,035	0,296	0,058		0,107
Sn 117						0,530
Sn 118	0,186	0,101				0,217
Sn 120	0,135	0,086				0,264
Sb 121	0,304	0,117				0,147
Sb 123	0,325	0,138				0,174
Hf 177		0,251				0,376
Hf 178	0,344	0,278				0,351
Ta 181	0,133	0,052				0,249
W 182	0,419	0,296				0,226
W 183						0,256
Pb 206		0,103	0,342	0,175		0,492
Pb 207		0,115	0,407	0,217		0,484
Pb 208	1,062	0,089	0,169	0,194		0,425
Bi 209	0,186	0,009	0,150	0,026		0,057
Th 232	1,638	0,372	1,272	0,737		0,683
U 238	3,292	0,110	0,371	0,062		0,136

Protokolle der Bestückung des Autosamplers des ICPMS

Versuchsmessungen

#	x	y	rack	CPS09051997	CPS13051997	CPS28051997	CPS04061997	CPS05061997	CPS02091997(1)
1	1	1	2	Blank	Blank	Blank	Blank	Blank	Blank
2	1	2	2	K.A.O.1	K.A.O.1	V1.TM	Blank	K.A.H.1	K.A.T.3
3	1	3	2	K.A.O.2	K.B.O.1	V1.TM5	K.A.H.1	K.B.H.1	K.B.T.3
4	1	4	2	K.A.O.3	K.C.O.1	Blank	K.A.H.2	K.C.H.1	K.C.T.3
5	1	5	2	K.A.T.1	K.D.O.1	K.A.T.1	K.A.H.3	K.D.H.1	K.D.T.3
6	1	6	2	K.A.T.2	Blank	K.A.T.2	K.B.H.1	Blank	Blank
7	1	7	2	K.A.T.3	Blind 1	K.A.T.3	K.B.H.2	JA-2.H.1	JA-2.T.1
8	1	8	2	K.A.H.1	JA-2.O.1	K.B.T.1	K.B.H.3	JA-2.H.2	JA-2.T.2
9	1	9	2	K.A.H.2	JA-2.O.2	K.B.T.2	K.C.H.1	JA-2.H.3	JA-2.T.3
10	1	10	2	K.A.H.3	JA-2.O.3	K.B.T.3	K.C.H.2	JB-3.H.1	JB-3.T.1
11	1	11	2	K.A.B.1	JA-2.T.1	K.C.T.1	K.C.H.3	JB-3.H.2	JB-3.T.2
12	2	1	2	K.A.B.2	JA-2.T.2	K.C.T.2	K.D.H.1	JB-3.H.3	JB-3.T.3
13	2	2	2	K.A.B.3	JA-2.T.3	K.C.T.3	K.D.H.2	Blind 1	BB-63.T.1
14	2	3	2	Blank	JA-2.H.1	K.D.T.1	K.D.H.3	K.C.H.1	BB-63.T.2
15	2	4	2	K.B.O.1	Blind 2	K.D.T.2	Blank	Blank	BB-63.T.3
16	2	5	2	K.B.O.2	K.C.O.1	K.D.T.3	JA-2.H.1	Blank	Blind 2
17	2	6	2	K.B.O.3	Blind 3	Blank	JA-2.H.2	K.A.B.1	K.C.T.3
18	2	7	2	K.B.T.1	JA-2.H.2	JA-2.T.1	JA-2.H.3	K.B.B.1	Blank
19	2	8	2	K.B.T.2	JA-2.H.3	JA-2.T.2	JB-3.H.1	K.C.B.1	Blank
20	2	9	2	K.B.T.3	JA-2.B.1	JA-2.T.3	JB-3.H.2	K.D.B.1	K.A.B.2
21	2	10	2	K.B.H.1	JA-2.B.2	JB-3.T.1	JB-3.H.3	Blank	K.B.B.2
22	2	11	2	K.B.H.2	JA-2.B.3	JB-3.T.2	Blind 2	JA-2.B.1	K.C.B.2
23	3	1	2	K.B.H.3	JB-3.O.1	JB-3.T.3	K.C.H.1	JA-2.B.2	K.D.B.2
24	3	2	2	K.B.B.1	JB-3.O.2	Blind 1	K.C.H.2	JA-2.B.3	Blind 3
25	3	3	2	K.B.B.2	Blind 4	K.C.T.1	K.C.H.3	JB-3.B.1	JA-2.B.1
26	3	4	2	K.B.B.3	K.C.O.1	K.C.T.2	Blank	JB-3.B.2	JA-2.B.2
27	3	5	2	Blank	Blind 1	K.C.T.3	Blank	JB-3.B.3	JA-2.B.3
28	3	6	2	K.C.O.1	JB-3.O.3		K.A.B.1	Blind 2	JB-2.B.1
29	3	7	2	K.C.O.2	JB-3.T.1		K.A.B.2	K.C.B.1	JB-2.B.2
30	3	8	2	K.C.O.3	JB-3.T.2		K.A.B.3	Blank	JB-2.B.3
31	3	9	2	K.C.T.1	JB-3.T.3		K.B.B.1	Blank	BB-63.B.1
32	3	10	2	K.C.T.2	JB-3.H.1		K.B.B.2	K.A.T.1	BB-63.B.1
33	3	11	2	K.C.T.3	JB-3.H.2		K.B.B.3	K.B.T.1	BB-63.B.2
34	4	1	2	K.C.H.1	JB-3.H.3		K.C.B.1	K.C.T.1	BB-63.B.3
35	4	2	2	K.C.H.2	Blind 2		K.C.B.2	K.D.T.1	Blind 1
36	4	3	2	K.C.H.3	K.C.O.1		K.C.B.3	Blank	K.C.B.2
37	4	4	2	K.C.B.1	Blind 3		K.D.B.1	JA-2.T.1	
38	4	5	2	K.C.B.2	JB-3.B.1		K.D.B.2	JA-2.T.2	
39	4	6	2	K.C.B.3	JB-3.B.2		K.D.B.3	JA-2.T.3	
40	4	7	2	Blank	JB-3.B.3		Blank	JB-3.T.1	
41	4	8	2	K.D.O.1	Blank		JA-2.B.1	JB-3.T.2	
42	4	9	2	K.D.O.2	K.C.T.1		JA-2.B.2	JB-3.T.3	
43	4	10	2	K.D.O.3	K.C.T.2		JA-2.B.3	Blind 3	
44	4	11	2	K.D.T.1	K.C.T.3		JB-3.B.1	K.C.T.1	
45	1	1	3	K.D.T.2	Blind 4		JB-3.B.2		
46	1	2	3	K.D.T.3	K.C.O.1		JB-3.B.3		
47	1	3	3	K.D.H.1	Blind 1		Blind		
48	1	4	3	K.D.H.2	V1.TM		K.C.B.1		
49	1	5	3	K.D.H.3	V1.BS		K.C.B.2		
50	1	6	3	K.D.B.1	K.A.H.2		K.C.B.3		
51	1	7	3	K.D.B.2	K.A.H.3		Blank		
52	1	8	3	K.D.B.3	K.A.B.1		BS		
53	1	9	3	Blank	K.B.T.3				
54	1	10	3		K.B.H.1				
55	1	11	3		K.B.H.2				
56	2	1	3		K.D.O.2				
57	2	2	3		K.D.O.2				
58	2	3	3		K.D.T.1				

#	x	y	rack	CPS09051997	CPS13051997	CPS28051997	CPS04061997	CPS05061997	CPS02091997(1)
59	2	4	3		Blind 2				
60	2	5	3		K.C.O.1 (=QC 5)				

#	x	y	rack	CPS05091997	CPS08091997	CPS09091997
1	1	1	2	Blank	Blank	Blank
2	1	2	2	Blank	Blank	Blank
3	1	3	2	KAT2	KAT2	KAT2
4	1	4	2	KBT2	KBT2	KBT2
5	1	5	2	KCT2	KCT2	KCT2
6	1	6	2	KDT2	KDT2	KDT2
7	1	7	2	Blank	Blank	Blank
8	1	8	2	Blank	Blank	Blank
9	1	9	2	KAT5	KAT5	KAT5
10	1	10	2	KBT5	KBT5	KBT5
11	1	11	2	KCT5	KCT5	KCT5
12	2	1	2	KDT5	KDT5	KDT5
13	2	2	2	Blank	Blank	Blank
14	2	3	2	Blank	Blank	Blank
15	2	4	2	KAT10	KAT10	KAT10
16	2	5	2	KBT10	KBT10	KBT10
17	2	6	2	KCT10	KCT10	KCT10
18	2	7	2	KDT10	KDT10	KDT10

Probenmessungen

#	indication	x	y	rack	CPS28081997	CPS02091997(2)	CPS13111997	CPS06011998	CPS26011998
1	Blank 1	1	1	2	Blank	Blank	Blank	Blank	Blank
2	KA	1	2	2	KAH3	KAH2	NA	A	A
3	KB	1	3	2	KBH3	KBH2	NB	B	B
4	KC (=QC0 !)	1	4	2	KCH3	KCH2	NC	C	C
5	KD	1	5	2	KDH3	KDH2	ND	D	D
6	Blank 2	1	6	2	Blank	Blank	Blank	Blank	Blank
7	Blind 1	1	7	2	Blind	V2.Blind 1	Blind 1	Blind 1	Blank
8	Sample 1	1	8	2	KLU-96-01	KLU-96-01	KLU-96-01	KLU-96-01	KLU-96-01
9	Sample 2	1	9	2	KLU-96-07	KLU-96-07	KLU-96-07	KLU-96-07	KLU-96-07
10	Sample 3	1	10	2	KLU-96-11	KLU-96-11	KLU-96-11	KLU-96-11	KLU-96-11
11	STD1	1	11	2	V1.JA-2.H.1	V1.JB-3.H.1	JA-2	JA-2	JA-3
12	Sample 4	2	1	2	KLU-96-12	KLU-96-12	KLU-96-12	KLU-96-12	KLU-96-13
13	Sample 5	2	2	2	TOL-96-01	TOL-96-01	TOL-96-01	TOL-96-01	TOL-96-02
14	Sample 6	2	3	2	TOL-96-02/2	TOL-96-02/2	TOL-96-02/2	TOL-96-02/2	TOL-96-02/3
15	Blind 2	2	4	2	Blind	V2.Blind 1	Blind 2	Blind 2	Blank
16	QC1	2	5	2	KCH3	KCH2	NC	C	KCH2
17	Blind 3	2	6	2	Blind	V2.Blind 1	Blind 1	Blind 1	Blank
18	Sample 7	2	7	2	TOL-96-03	TOL-96-03	TOL-96-03	TOL-96-03	TOL-96-04
19	Sample 8	2	8	2	BAK-95-17	BAK-95-17	2310	2310	2311
20	Sample 9	2	9	2	BAK-95-24	BAK-95-24	BAK-95-17	BAK-95-17	BAK-95-17
21	STD2	2	10	2	V1.JA-2.H.1	V1.JB-3.H.1	JB-3	BAK-95-24	BAK-95-24
22	Sample 10	2	11	2	SCH-96-01	SCH-96-01	BAK-95-24	JB-3	JB-4
23	Sample 11	3	1	2	SCH-96-04	SCH-96-04	SCH-96-01	SCH-96-01	SCH-96-01
24	Sample 12	3	2	2	GAM-96-12	GAM-96-12	SCH-96-04	SCH-96-04	SCH-96-04
25	Blind 4	3	3	2	Blind	V2.Blind 1	Blind 2	Blind 2	Blank
26	QC2	3	4	2	KCH3	KCH2	NC	C	KCH2
27	Blind 5	3	5	2	Blind	V2.Blind 2	Blind 1	Blind 1	Blank
28	Sample 13	3	6	2	GAM-96-28	GAM-96-28	GAM-96-12	GAM-96-12	BAK-95-31
29	Sample 14	3	7	2	KOM-96-02	KOM-96-02	GAM-96-28	GAM-96-28	ICH-96-05
30	Sample 15	3	8	2	KOM-96-06	KOM-96-06	KOM-96-02	KOM-96-02	ICH-96-31
31	STD3	3	9	2	V1.JA-2.H.1	V1.JB3.H.1	JA-2	JA-2	JA-2
32	Sample 16	3	10	2	KOM-96-11	KOM-96-11	KOM-96-06	KOM-96-06	ICH-96-19
33	Sample 17	3	11	2	KIZ-96-01/1	KIZ-96-01/1	KOM-96-11	KOM-96-11	ICH-96-10
34	Sample 18	4	1	2	KIZ-96-24	KIZ-96-24	KIZ-96-01/1	KIZ-96-01/1	ICH-96-02
35	Blind 6	4	2	2	Blind	V2.Blind 2	Blind 2	Blind 2	Blank
36	QC3	4	3	2	KCH3	KCH2	NC	C	KCH2

#	indication	x	y	rack	CPS28081997	CPS02091997(2)	CPS13111997	CPS06011998	CPS26011998
37	Blind 7	4	4	2	Blind	V2.Blind 2	Blind 1	Blind 1	Blank
38	Sample 19	4	5	2	KIZ-96-24/1	KIZ-96-24/1	KIZ-96-24	KIZ-96-24	ACH-96-03
39	Sample 20	4	6	2	ESO-96-04	ESO-96-04	KIZ-96-24/1	KIZ-96-24/1	ACH-96-02
40	Sample 21	4	7	2	ESO-96-08	ESO-96-08	ESO-96-04	ESO-96-04	ESO-96-08
41	STD4	4	8	2	V1.JA-2.H.1	V1.JB-3.H.2	JB-3	JB-3	V1.JB-3.H.2
42	Sample 22	4	9	2	ACH-96-02	ACH-96-02	ESO-96-08	ESO-96-08	JB-3
43	Sample 23	4	10	2	ACH-96-03	ACH-96-03	ACH-96-02	ACH-96-02	KIZ-96-24/1
44	Sample 24	4	11	2	ICH-96-02	ICH-96-02	ACH-96-03	ACH-96-03	KIZ-96-24
45	Blind 8	1	1	3	Blind	V2.Blind 2	Blind 2	Blind 2	Blank
46	QC4	1	2	3	KCH3	KCH2	NC	C	KCH2
47	Blind 9	1	3	3	Blind	V2.Blind 3	Blind 1	Blind 2	Blank
48	Sample 25	1	4	3	ICH-96-10	ICH-96-10	ICH-96-02	ICH-96-02	KIZ-96-01/1
49	Sample 26	1	5	3	ICH-96-19	ICH-96-19	ICH-96-10	ICH-96-10	KOM-96-11
50	Sample 27	1	6	3	ICH-96-31	ICH-96-31	ICH-96-19	ICH-96-19	KOM-96-06
51	STD5	1	7	3	V1.JB-3.H1	V1.JB-3.H.2	V1.JB-3.H.2	JA-2	JA-2
52	Sample 28	1	8	3	ICH-96-05	ICH-96-05	ICH-96-31	ICH-96-31	KOM-96-02
53	Sample 29	1	9	3	BAK-95-31	BAK-95-31	ICH-96-05	ICH-96-05	GAM-96-28
54	Sample 30	1	10	3	Blank	V1.Blind	BAK-95-31	BAK-95-31	GAM-96-12
55	Blind 10	1	11	3	KCH3 (=QC5)	V2.Blind 3	Blind 2	Blank	Blank
56	QC5	2	1	3		KCH2	NC	C	KCH2
57		2	2	3			Blank	Blank	
58		2	3	3			KAO3	NA	
59		2	4	3			KBO3	NB	
60		2	5	3			KCO3	NC	
61		2	6	3			KDO3	ND	
62		2	7	3				C (=QC6)	

Konzentrationen der Hauptelemente und ‚herkömmlichen‘ Spurenelemente

Konzentrationen [Gew.-%]

Probe	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Summe
2310	50,83	1,12	16,93	3,07	6,85	0,18	7,17	10,38	2,76	0,57	0,15	0,58	100,00
ACH-96-02	51,78	0,95	16,15	2,97	5,91	0,16	7,98	9,72	2,89	1,17	0,29	0,66	100,00
ACH-96-03	54,28	1,44	16,17	3,46	5,56	0,15	5,88	7,89	3,73	1,10	0,35	0,54	100,00
BAK-95-17	51,62	1,16	16,43	2,03	6,58	0,16	8,35	8,96	3,41	1,02	0,29	0,60	100,00
BAK-95-24	49,80	1,03	16,26	2,47	6,93	0,17	9,86	9,70	2,88	0,70	0,21	0,60	100,00
BAK-95-31	50,45	1,09	16,16	2,25	6,91	0,17	9,18	9,36	3,22	0,95	0,26	0,27	100,00
ESO-96-04	53,74	0,88	18,27	2,31	5,81	0,15	5,56	8,68	3,21	1,17	0,22	0,67	100,00
ESO-96-08	51,31	0,99	18,03	2,42	6,52	0,17	6,60	9,89	2,96	0,89	0,23	0,59	100,00
GAM-96-12	55,95	0,82	20,21	2,35	4,78	0,14	3,05	8,63	3,25	0,70	0,12	0,46	100,00
GAM-96-28	49,99	0,83	17,96	2,60	7,99	0,20	6,26	10,97	2,38	0,66	0,13	0,21	100,00
ICH-96-02	55,57	1,20	16,94	2,05	5,94	0,15	4,86	7,53	3,78	1,51	0,48	0,60	100,00
ICH-96-05	47,89	1,87	16,98	3,91	6,51	0,17	7,46	9,93	3,61	1,23	0,48	0,35	100,00
ICH-96-10	48,32	1,82	16,60	3,81	6,59	0,17	8,73	8,60	3,47	1,40	0,51	0,38	100,00
ICH-96-19	50,96	0,90	20,44	3,14	5,13	0,14	4,93	9,88	3,21	1,06	0,25	0,40	100,00
ICH-96-31	55,42	0,93	17,91	2,53	5,00	0,13	4,68	8,22	3,53	1,33	0,30	0,69	100,00
KIZ-96-01/1	50,24	1,23	19,04	5,37	5,62	0,19	5,26	9,35	2,77	0,77	0,17	0,73	100,00
KIZ-96-24	55,40	1,04	17,66	3,11	5,56	0,18	4,21	8,28	3,22	1,11	0,18	0,47	100,00
KIZ-96-24/1	52,28	1,30	18,15	4,34	5,85	0,19	4,48	9,25	3,07	0,88	0,19	0,85	100,00
KLU-96-01	53,56	0,94	15,82	2,66	6,12	0,17	7,30	9,36	2,94	0,94	0,18	0,30	100,00
KLU-96-07	53,35	0,84	14,55	2,58	5,87	0,16	9,41	9,56	2,77	0,74	0,15	0,43	100,00
KLU-96-11	52,37	0,96	15,75	2,30	6,76	0,17	8,19	9,75	2,96	0,63	0,16	0,40	100,00
KLU-96-12	54,00	1,11	18,08	2,89	5,61	0,16	5,03	8,14	3,60	1,19	0,22	0,40	100,00
KOM-96-02	54,19	0,76	16,15	1,88	6,54	0,17	7,40	9,45	2,57	0,81	0,12	0,70	100,00
KOM-96-06	51,90	0,83	16,38	2,03	7,50	0,18	8,23	9,72	2,42	0,68	0,11	0,56	100,00
KOM-96-11	61,54	0,83	16,63	2,21	4,47	0,14	2,85	6,30	3,45	1,41	0,14	0,32	100,00
SCH-96-01	51,08	0,90	16,32	3,79	5,99	0,18	8,15	10,49	2,36	0,58	0,13	0,45	100,00
SCH-96-04	50,99	0,78	18,16	2,92	6,45	0,18	6,92	10,41	2,50	0,57	0,11	0,55	100,00
TOL-96-01	51,93	1,61	17,79	2,29	7,31	0,16	4,41	8,43	3,52	2,00	0,57	0,79	100,00
TOL-96-02	50,97	0,95	13,56	2,16	7,23	0,17	9,77	11,72	2,39	0,86	0,21	0,63	100,00
TOL-96-03	50,67	1,21	14,51	3,57	6,28	0,18	9,06	10,14	2,72	1,28	0,35	0,36	100,00

Konzentrationen [µg/g]

Probe	Sc	V	Cr	Co	Ni	Zn	Sr	Zr	Ga	Ba	Li	Be	Sc	V	Co	Ni
2310	38,22	319,82	232,32	32,18	33,19	82,47	301,72	70,40	17,10	168,96	8,2	0,4	42,1	348,4	36,8	37,0
ACH-96-02	30,34	245,76	340,82	37,42	113,27	78,88	536,01	94,05	17,19	377,23	5,4	0,6	25,4			82,5
ACH-96-03	24,47	218,23	194,77	30,59	38,75	94,84	602,68	130,53	16,32	293,69	9,6	1,1	26,3	276,8	33,2	48,5
BAK-95-17	29,23	237,33	351,21	38,30	130,51	75,58	533,12	108,34	16,13	348,18	7,7	0,9	31,8	273,0	38,8	146,2
BAK-95-24	33,59	261,19	495,29	46,13	169,44	76,70	423,60	82,21	17,04	241,12	6,0	0,6	31,3	228,7	41,5	164,0
BAK-95-31	30,11	253,96	395,49	44,17	155,59	76,29	506,91	91,35	17,06	401,52	9,2	1,0	35,7	321,3	47,2	184,9
ESO-96-04	26,90	233,94	122,80	34,00	60,38	76,62	650,56	80,18	17,76	500,36	8,1	0,7	24,9			60,9
ESO-96-08	30,42	264,67	188,62	34,48	69,97	82,14	600,32	70,98	17,24	374,19	3,1	0,5	26,9			54,7
GAM-96-12	21,48	176,95	10,23	17,39	0,10	69,55	299,69	81,83	20,46	218,88		0,4	11,6	1080,5	17,3	8,4
GAM-96-28	41,16	314,22	79,31	40,16	30,12	80,31	332,29	54,21	17,07	328,27	1,5	0,3	32,1			22,8
ICH-96-02	23,28	196,37	74,90	26,32	30,37	93,12	603,27	179,16	18,22	590,11	11,5	1,0	21,0	38,7		
ICH-96-05	27,28	264,70	130,33	45,46	68,70	85,87	697,10	146,49	19,20	320,26	4,2	0,9	19,6	1176,4	36,0	68,3
ICH-96-10	24,26	237,56	189,04	46,50	186,00	85,93	693,47	148,60	18,20	407,39	6,2	1,2	22,5	159,2		
ICH-96-19	25,28	221,45	33,37	30,34	45,50	74,83	730,08	94,04	20,22	459,08	7,1	0,7	21,5	38,4		
ICH-96-31	24,40	202,36	67,11	26,44	63,05	80,33	568,43	130,16	18,30	456,57	12,3	0,9	21,3	50,4		
KIZ-96-01/1	26,28	303,25	15,16	30,32	2,02	79,86	374,01	86,93	17,18	313,36	14,2	0,5	25,2			8,6
KIZ-96-24	22,28	249,15	24,31	27,35	2,03	72,92	332,19	100,27	19,24	424,36	8,5	0,6	24,1			9,9
KIZ-96-24/1	33,44	328,28	21,28	27,36	0,10	81,06	339,43	91,19	17,22	327,27	11,7	0,6	33,9			8,1
KLU-96-01	32,91	254,32	255,32	31,92	92,75	84,77	340,09	86,77	18,95	343,09	11,2	0,5	30,6			67,3

Probe	Sc	V	Cr	Co	Ni	Zn	Sr	Zr	Ga	Ba	Li	Be	Sc	V	Co	Ni
KLU-96-07	35,90	243,33	498,63	39,89	165,55	77,79	311,15	76,79	15,96	279,23	8,9	0,5	32,4			131,1
KLU-96-11	36,84	260,84	319,58	35,84	108,52	80,64	285,73	84,62	17,92	226,99	8,2	0,5	33,9			79,0
KLU-96-12	21,00	259,02	31,00	33,00	31,00	87,01	397,02	104,01	18,00	434,03	14,3	0,7	23,7			29,4
KOM-96-02	35,32	248,24	311,81	33,30	89,81	75,68	220,99	86,78	15,14	236,13	6,8	0,3	41,9			106,3
KOM-96-06	37,14	268,03	369,41	41,16	119,46	81,31	240,92	74,28	16,06	226,87	5,2	0,3	34,5			99,0
KOM-96-11	20,18	172,53	16,14	21,19	0,10	72,64	237,10	148,31	17,15	369,26	1,4	0,5	959,0	962,4	13,8	6,1
SHM-96-01	36,34	259,44	338,19	43,41	103,98	78,74	217,04	74,70	15,14	190,80	9,6	0,4	37,8			87,0
SHM-96-04	34,06	285,48	117,20	37,06	54,09	81,14	287,48	60,10	18,03	241,40	6,1	0,4	47,0			51,9
TOL-96-01	22,36	274,37	167,67	30,49	45,73	100,60	367,86	202,22	19,31	474,56	14,6	1,3	23,1	298,7	28,8	47,0
TOL-96-02	38,38	272,72	422,21	40,40	100,00	75,76	294,94	79,80	16,16	231,31	7,1	0,5	42,7	305,3	41,5	106,1
TOL-96-03	35,84	274,77	436,05	40,82	176,21	88,60	306,63	129,42	15,93	320,57	7,9	0,8	22,7	1208,0	37,4	132,6

Probe	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	
2310	56,7	91,3	7,6	312,5	22,3	70,7	1,4	0,2	166,8	4,3	12,0	2,1	10,8	3,4	1,1	3,5	0,6	3,9	0,8	2,4	0,3	
ACH-96-02	34,9		21,0	315,1	21,0			3,9	0,4		8,8	24,0	3,3	14,7	3,6	1,1	3,3	0,5	3,0	0,6	1,9	0,3
ACH-96-03	38,9	112,2	15,4	677,9	22,2	140,1	7,2	0,4	288,6	12,7	30,7	4,9	21,6	5,4	1,5	4,6	0,7	4,0	0,8	2,2	0,3	
BAK-95-17	53,6	84,4	20,7	571,9	21,5	113,7	5,2	0,7	342,5	10,9	26,5	4,1	18,7	4,6	1,4	4,1	0,7	3,8	0,8	2,2	0,3	
BAK-95-24	62,5	71,0	13,8	447,7	19,7	85,6	2,9	0,5	240,2	7,5	19,3	3,0	13,8	3,7	1,2	3,4	0,6	3,4	0,7	1,9	0,3	
BAK-95-31	75,0	92,6	18,1	549,2	20,6	101,0	4,6	0,8	383,3	10,8	24,8	3,8	17,1	4,3	1,3	3,9	0,6	3,6	0,7	2,1	0,3	
ESO-96-04	44,7		20,0	430,8	18,1			3,1	0,5		7,9	21,3	2,8	12,4	3,0	1,0	2,6	0,4	2,3	0,5	1,4	0,2
ESO-96-08	30,1		14,3	600,1	18,7			1,7	0,4		6,1	17,7	2,5	12,1	3,2	1,0	2,8	0,4	2,6	0,5	1,6	0,2
GAM-96-12	26,6	70,0	41,2	230,0	16,1			1,2	0,1	45,9	1,0	12,8	1,9	8,6	2,8	1,0	2,9	0,5	3,6	0,8	2,3	0,4
GAM-96-28	32,2		10,9	280,6	16,9			0,9	0,4		4,4	13,1	1,9	9,5	2,7	0,9	2,7	0,4	2,8	0,6	1,8	0,3
ICH-96-02	29,6	0,0	19,8	640,7	21,7			8,2	0,3		19,1	46,3	6,4	28,2	6,3	1,8	5,4	0,8	4,7	0,9	2,6	0,4
ICH-96-05	53,8	92,0	63,6	504,0	15,2			12,4	0,2	78,4	3,5	38,4	5,5	21,0	5,0	1,9	5,0	0,7	3,9	0,8	1,9	0,3
ICH-96-10	22,4		19,5	781,8	20,1			15,3	0,3		17,0	38,4	5,3	25,3	5,6	1,8	5,0	0,7	4,1	0,8	2,2	0,3
ICH-96-19	46,5		17,9	845,8	14,6			3,6	0,2		8,2	19,0	2,9	14,0	3,5	1,2	3,1	0,5	2,8	0,6	1,6	0,2
ICH-96-31	33,4		21,9	607,6	16,4			5,6	0,5		13,2	28,7	4,0	19,1	4,5	1,3	4,1	0,6	3,4	0,7	2,0	0,3
KIZ-96-01/1	10,1		14,0	371,3	20,6			2,9	0,5		5,9	15,2	2,3	12,0	3,4	1,1	3,3	0,5	3,3	0,7	2,2	0,3
KIZ-96-24	11,8		20,7	345,1	20,4			3,1	0,8		6,5	16,6	2,8	12,7	3,3	1,1	3,1	0,5	3,1	0,8	2,0	0,3
KIZ-96-24/1	15,5		16,4	361,0	22,7			3,2	0,6		7,0	18,1	2,6	13,1	3,9	1,3	3,5	0,6	3,9	0,8	2,2	0,3
KLU-96-01	43,0		14,6	327,9	17,8			1,3	0,5		6,5	15,5	2,5	12,2	3,4	1,1	3,2	0,5	3,4	0,7	2,0	0,3
KLU-96-07	34,9		11,2	306,0	14,7			1,2	0,4		5,7	13,5	2,2	10,6	3,0	0,9	2,8	0,5	2,9	0,6	1,7	0,2
KLU-96-11	39,4		9,1	295,0	18,3			1,3	0,4		5,7	15,0	2,5	11,9	3,3	1,0	3,1	0,6	3,4	0,7	2,0	0,3
KLU-96-12	49,5		18,3	419,2	21,1			1,8	0,6		9,0	21,7	3,4	16,2	4,2	1,3	3,7	0,6	3,9	0,8	2,4	0,3
KOM-96-02	16,8		15,3	241,8	27,2			2,0	1,0		3,8	9,8	1,7	10,9	2,5	0,7	3,0	0,4	2,8	0,6	2,0	0,3
KOM-96-06	26,8		13,1	239,9	18,2			1,1	0,6		3,9	9,9	1,6	8,7	2,5	0,7	2,6	0,4	2,8	0,6	1,8	0,3
KOM-96-11	24,4	73,5	59,2	167,2	17,3			1,7	1,8	78,1	1,2	16,6	2,2	9,5	3,0	0,8	3,3	0,6	3,8	0,8	2,2	0,3
SHM-96-01	56,6		14,7	224,9	20,5			1,6	0,7		3,7	9,7	1,6	8,6	2,5	0,8	2,7	0,5	2,8	0,7	2,2	0,3
SHM-96-04	33,7		12,2	319,4	18,8			1,4	0,6		5,5	13,5	1,9	9,7	3,1	1,0	2,9	0,6	3,3	0,6	1,9	0,4
TOL-96-01	205,4	105,1	57,8	375,1	32,2	201,0	5,4	1,7	488,7	16,4	41,0	6,2	28,5	6,9	1,8	6,1	1,0	5,7	1,2	3,5	0,5	
TOL-96-02	117,4	81,2	19,7	302,5	19,2	78,6	1,7	0,5	228,8	6,2	16,0	2,6	13,4	3,7	1,1	3,5	0,6	3,5	0,7	2,0	0,3	
TOL-96-03	151,3	90,9	103,1	250,8	17,9			2,3	1,0	80,3	2,1	26,5	4,1	17,2	4,6	1,5	4,4	0,7	4,4	0,8	2,0	0,3

Probe	Yb	Lu	Hf	Ta	Tl	Pb	Th	U
2310	2,2	0,3	1,9	0,2	0,1	2,2	0,3	0,3
ACH-96-02	1,7	0,3	2,4	0,2	0,1	3,3	0,7	0,4
ACH-96-03	1,9	0,3	3,2	0,4	0,0	2,7	1,2	0,4
BAK-95-17	2,0	0,3	2,7	0,4	0,1	2,8	1,5	0,6
BAK-95-24	1,8	0,3	2,1	0,4	0,0	2,3	0,9	0,4
BAK-95-31	1,8	0,3	2,4	0,2	0,1	3,5	1,5	0,6
ESO-96-04	1,3	0,2	2,0	0,2	0,1	4,3	0,7	0,4
ESO-96-08	1,5	0,2	1,8	0,1	0,1	2,7	0,4	0,3
GAM-96-12	2,5	0,4	2,3	0,1	0,1	3,5	1,0	0,3
GAM-96-28	1,7	0,3	1,5	0,1	0,0	1,7	0,6	0,3
ICH-96-02	2,5	0,4	4,3	0,5	0,1	5,6	1,5	0,6
ICH-96-05	1,8	0,3	3,5	1,1	0,0	2,7	1,7	0,5
ICH-96-10	1,8	0,3	3,4	0,5	0,0	2,2	1,6	0,6
ICH-96-19	1,5	0,2	2,3	0,2	0,0	3,4	0,8	0,4
ICH-96-31	1,8	0,3	3,4	0,3	0,1	4,8	1,8	0,8

Probe	Yb	Lu	Hf	Ta	Tl	Pb	Th	U
KIZ-96-01/1	2,0	0,3	2,0	0,2	0,1	1,9	1,0	0,5
KIZ-96-24	1,7	0,3	2,1	0,1	0,1	2,7	1,6	0,8
KIZ-96-24/1	2,4	0,3	2,2	0,2	0,1	2,6	0,9	0,6
KLU-96-01	1,9	0,3	2,2	0,1	0,2	3,3	0,6	0,4
KLU-96-07	1,6	0,3	2,0	0,1	0,1	3,1	0,5	0,4
KLU-96-11	2,0	0,3	2,2	0,1	0,1	2,5	0,4	0,3
KLU-96-12	2,2	0,4	2,8	0,1	0,1	3,7	0,7	0,4
KOM-96-02	1,8	0,3	2,1	0,1	0,1	2,1	0,8	0,4
KOM-96-06	1,7	0,3	1,7	0,1	0,1	1,9	0,8	0,3
KOM-96-11	2,5	0,4	4,0	0,2	0,2	5,7	1,7	0,7
SHM-96-01	1,9	0,3	1,9	0,1	0,0	1,6	0,6	0,3
SHM-96-04	2,4	0,3	1,7	0,1	0,0	2,3	0,6	0,4
TOL-96-01	3,2	0,5	4,7	0,4	0,1	7,6	2,6	1,3
TOL-96-02	1,9	0,3	2,0	0,1	0,1	2,1	0,6	0,3
TOL-96-03	2,2	0,4	2,9	0,2	0,1	3,6	1,2	0,6

grau unterlegte Konzentrationen wurden mittels XRF bestimmt.

Die Ergebnisse stammen von Messungen von Dorendorf et al. (1997) und Churikova et al. (1997a,b).

ICPMS „Performance Logging“

CPS13111997

VG PlasmaQuad 2+ Performance Logging and Routine Maintenance

Date:	13.11.1997	Name of Operator:	A. Heuser
-------	------------	-------------------	-----------

Original Files in Folder:	Heuser13
---------------------------	----------

argon consumption		sample type	Basalt	cone-skimmer pair	Pt
-------------------	--	-------------	--------	-------------------	----

Experiment Log

<input type="checkbox"/> V-Groove	<input type="checkbox"/> Laser Ablation
<input checked="" type="checkbox"/> Meinhardt	<input checked="" type="checkbox"/> S-Option
<input type="checkbox"/> MCN	<input type="checkbox"/> DSX
<input type="checkbox"/> DIN	

Instrument Log

Vacuum

	Pumping Modus	Operating Modus
Expansion		0,95
Intermediate		<10 ⁻⁴
Analyser		1,4*10 ⁻⁶

Lens Settings

Extraction (2.0)	2,22
Collector (7.8)	5,87
L1 (7.7)	9,78
L2 (5.4)	5,46
L3 (5.0)	4,56
L4 (3.8)	6,33
Pole Bias (4.5)	4,70

Response of Tune Solution 10ppb

	PC mode	Analog mode
⁹ Be		
²⁴ Mg		
⁵⁹ Co		
⁷⁰ (Ce ²⁺)		
¹¹⁵ In	400000	
¹⁴⁰ Ce	3000	
¹⁵⁶ (¹⁴⁰ Ce ¹⁶ O)		
²⁰⁸ Pb		
²³⁸ U		

Multiplier Settings

HT1	3,8
HT2	7,0

Gas Panel

Cool gas	13,75 l/min
Aux gas	1,85 l/min
Neb gas	0,877 l/min

ICP Generator

Incident power	1350 W
Reflected power	1 W

Tick Box

		Problems	Solution???
Resolution	<input type="checkbox"/> OK		
Peak Shape	<input type="checkbox"/> OK		
Mass calibration	<input type="checkbox"/> OK		
Deflector calibration	<input type="checkbox"/> OK		

Any further suggestions:

CPS06011998**VG PlasmaQuad 2+ Performance Logging and Routine Maintenance**

Date: 6.1.1998

Name of Operator: A. Heuser

Original Files in Folder: Heuser14

argon consumption

sample type

Basalt

cone-skimmer pair

Pt

Experiment Log

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> V-Groove | <input type="checkbox"/> Laser Ablation |
| <input type="checkbox"/> Meinhardt | <input type="checkbox"/> S-Option |
| <input type="checkbox"/> MCN | <input type="checkbox"/> DSX |
| <input type="checkbox"/> DIN | |

Instrument Log**Vacuum**

	Pumping Modus	Operating Modus
Expansion		$1,8 \cdot 10^0$
Intermediate		
Analyser		$4 \cdot 10^{-6}$

Response of Tune Solution 10ppb

	PC mode	Analog mode
⁹ Be		
²⁴ Mg		
⁵⁹ Co		
⁷⁰ (Ce ²⁺)		
¹¹⁵ In 20ppb	$6 \cdot 10^5$	
¹⁴⁰ Ce		
¹⁵⁶ ¹⁴⁰ (Ce ¹⁶ O)		
²⁰⁸ Pb		
²³⁸ U		

Background at 220:

Lens Settings

Extraction (2.0)	2,32
Collector (7.8)	4,70
L1 (7.7)	9,46
L2 (5.4)	5,35
L3 (5.0)	4,58
L4 (3.8)	5,26
Pole Bias (4.5)	4,42

Multiplier Settings

HT1	3,78
HT2	5,86

Gas Panel

Cool gas	$12,5 \text{ l/min}$
Aux gas	$1,1 \text{ l/min}$
Neb gas	$0,908 \text{ l/min}$

ICP Generator

Incident power	1348 W
Reflected power	0 W

Tick Box

		Problems	Solution???
Resolution	<input type="checkbox"/> OK		
Peak Shape	<input type="checkbox"/> OK		
Mass calibration	<input type="checkbox"/> OK		
Deflector calibration	<input type="checkbox"/> OK		

Any further suggestions:

CPS26011998**VG PlasmaQuad 2+ Performance Logging and Routine Maintenance**

Date: 26.01.1998

Name of Operator: A. Heuser

Original Files in Folder: Heuser15

argon consumption

sample type

Basalt

cone-skimmer
pair

Pt

Experiment Log

- | | |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> V-Groove | <input type="checkbox"/> Laser Ablation |
| <input type="checkbox"/> Meinhardt | <input checked="" type="checkbox"/> S-Option |
| <input type="checkbox"/> MCN | <input type="checkbox"/> DSX |
| <input type="checkbox"/> DIN | |

Instrument Log**Vacuum**

	Pumping Modus	Operating Modus
Expansion		1,1 mbar
Intermediate		<10 ⁻⁴
Analyser		2,6*10 ⁻⁶ mbar

Lens Settings

Extraction (2.0)	3,00
Collector (7.8)	3,25
L1 (7.7)	8,38
L2 (5.4)	5,50
L3 (5.0)	3,76
L4 (3.8)	4,88
Pole Bias (4.5)	4,25

Response of Tune Solution

	PC mode	Analog mode
⁹ Be		
²⁴ Mg		
⁵⁹ Co		
⁷⁰ (Ce ²⁺)		
¹¹⁵ In 20 ppb	10 ⁶	
¹⁴⁰ Ce		
¹⁵⁶ ¹⁴⁰ (Ce ¹⁶ O)		
²⁰⁸ Pb		
²³⁸ U		
⁷⁵ As	3*10 ⁴	

Multiplier Settings

HT1	3,78
HT2	7,82

Gas Panel

Cool gas	12,5 l/min
Aux gas	1,15 l/min
Neb gas	1,084 l/min

ICP Generator

Incident power	1250 W
Reflected power	2 W

Tick Box

		Problems	Solution???
Resolution	<input type="checkbox"/> OK		
Peak Shape	<input type="checkbox"/> OK		
Mass calibration	<input type="checkbox"/> OK		
Deflector calibration	<input type="checkbox"/> OK		

Any further suggestions:

CPS25021998**VG PlasmaQuad 2+ Performance Logging and Routine Maintenance**

Date: 25.2.1998

Name of Operator: A. Heuser

Original Files in Folder: Heuser16

argon consumption

sample type

Basalt

cone-skimmer pair

Pt

Experiment Log

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> V-Groove | <input type="checkbox"/> Laser Ablation |
| <input type="checkbox"/> Meinhardt | <input type="checkbox"/> S-Option |
| <input type="checkbox"/> MCN | <input type="checkbox"/> DSX |
| <input type="checkbox"/> DIN | |

Instrument Log**Vacuum**

	Pumping Modus	Operating Modus
Expansion		1,5 mbar
Intermediate		
Analyser		$2,5 \cdot 10^{-6}$ mbar

Response of Tune Solution

	PC mode	Analog mode
⁹ Be		
²⁴ Mg		
⁵⁹ Co		
⁷⁰ (Ce ²⁺)		
¹¹⁵ In	20 ppb	$8 \cdot 10^5$
¹⁴⁰ Ce		
¹⁵⁶ ¹⁴⁰ (Ce ¹⁶ O)		
²⁰⁸ Pb		
²³⁸ U		

Background at 220:

Lens Settings

Extraction (2.0)	2,25
Collector (7.8)	6,36
L1 (7.7)	8,16
L2 (5.4)	6,06
L3 (5.0)	5,00
L4 (3.8)	3,97
Pole Bias (4.5)	5,54

Multiplier Settings

HT1	3,78
HT2	9,44

Gas Panel

Cool gas	13 l/min
Aux gas	1,1 l/min
Neb gas	1,14 l/min

ICP Generator

Incident power	1370 W
Reflected power	0 W

Tick Box

		Problems	Solution???
Resolution	<input type="checkbox"/> OK		
Peak Shape	<input type="checkbox"/> OK		
Mass calibration	<input type="checkbox"/> OK		
Deflector calibration	<input type="checkbox"/> OK		

Any further suggestions: