



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Metalle in Wasser, Sedimenten und Fischgeweben des
Lafnitz-Flusses“

verfasst von / submitted by

Konstantin Moser, BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien, 2021 / Vienna 2021

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 862

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Chemie

Betreut von / Supervisor:

Mag. Dr. Franz Jirsa, Privatdoz.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist während einer Pandemie entstanden, die Gesellschaft und Individuum an so manche Grenze gebracht hat.

Ich möchte mich bei Andi und Jakob bedanken, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind, wenn ich Hilfe bei den Analysen gebraucht habe, oder wenn ich Fragen hatte. Ich möchte mich bei Franz bedanken, der mir den Rahmen für diese Arbeit zur Verfügung gestellt hat und ohne den sie nie zustande gekommen wäre. Ich möchte mich auch bei der Arbeitsgruppe als Ganzes für den produktiven und menschlichen Umgang miteinander bedanken.

Weiters möchte ich mich bei Bianca bedanken, die mich vor vielen Jahren mit ihrer eigenen Art zu unterrichten für dieses Studium begeistern konnte.

Zu guter Letzt möchte ich mich noch bei meinen Eltern bedanken, für die Unterstützung während dieser Arbeit, während des Studiums und für noch so viel mehr.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	5
1.1 Grundlagen zur Ökotoxikologie.....	5
1.1.1 Bioakkumulation.....	5
1.2 Schwermetalle.....	6
1.2.1 Was sind Schwermetalle	6
1.2.2 Beispiele von Schwermetallen	12
1.3 (Süßwasser)Fische und Schwermetalle	24
1.3.1 Aufnahme	24
1.3.2 Speicherung.....	25
1.3.3 Ausscheidung.....	26
1.3.4 Schadwirkung	26
1.3.5 Der Fisch als Bioindikator	27
1.4 Zielsetzung der Arbeit	28
2. Methoden und Materialien	29
2.1 Das Untersuchungsgebiet: Die Lafnitz.....	29
2.2 Nase, <i>Chondrostoma nasus</i>	30
2.3 Döbel/Aitel, <i>Squalius cephalus</i>	31
2.4 Probennahmestellen	32
2.5 Probenvorbereitung	33
2.5.1 Verwendete Chemikalien und Materialien	33
2.5.2 Wasser	33
2.5.3 Sediment.....	33
2.5.4 Fisch.....	34
2.6 Analysen	34
2.6.1 Wasser	34
2.6.2 Säurebindungsvermögen - SBV	34
2.6.3 Flammen-Atomabsorptionsspektroskopie – Flammen-AAS	35
2.6.4 Total-Reflexions Röntgen-Fluoreszenz Spektroskopie - TXRF	35
2.6.5 Ammonium – NH_4^+	36
2.6.6 Totale gelöste Feststoffe - TDS.....	37
2.7 Sediment.....	37
2.7.1 Verbrennungsverlust (LOI)	37
2.7.2 Kaltdampf Atomabsorptionsspektroskopie – CV-AAS.....	37
2.7.3 TXRF	38
2.7.4 Graphitrohr Atomabsorptionsspektroskopie - GF-AAS.....	39

2.8 Fisch.....	40
2.8.1 CV-AAS.....	40
2.8.2 TXRF.....	40
2.8.3 GF-AAS.....	40
2.9 Berechnung des Biokonzentrationsfaktors (BCF).....	41
2.10 Statistische Auswertung.....	41
3. Ergebnisse.....	41
3.1 Wasser.....	42
3.1.1 pH.....	42
3.1.2 Totaler Stickstoffgehalt – TN.....	43
3.1.3 Gelöster organischer Kohlenstoff – DOC.....	43
3.1.4 Temperatur.....	44
3.1.5 Leitfähigkeit.....	45
3.1.6 Totale gelöste Feststoffe – TDS.....	46
3.1.7 Säurebindungsvermögen – SBV.....	47
3.1.8 Magnesium – Mg^{2+}	48
3.1.9 Natrium – Na^{+}	49
3.1.10 Kalium – K^{+}	50
3.1.11 Calcium – Ca^{2+}	51
3.1.12 Eisen – Fe^{x+}	52
3.1.13 Strontium – Sr^{2+}	53
3.1.14 Zink – Zn^{2+}	53
3.1.15 Ammonium – NH_4^{+}	54
3.1.16 Chlorid – Cl^{-}	55
3.1.17 Nitrat – NO_3^{-}	56
3.1.18 Nitrit – NO_2^{-}	57
3.1.19 Sulfat – SO_4^{2-}	58
3.2 Sediment.....	59
3.2.1 Verbrennungsverlust – LOI.....	59
3.2.2 Quecksilber – Hg.....	60
3.2.3 Chrom – Cr.....	61
3.2.4 Zink – Zn.....	62
3.2.5 Nickel – Ni.....	63
3.2.6 Arsen – As.....	64
3.2.7 Kupfer – Cu.....	65
3.2.8 Blei – Pb.....	66

3.2.9 Cadmium – Cd	67
3.2.10 Silber – Ag.....	68
3.2.11 Korrelation des LOI mit Cd und Cu	69
3.3 Fische	69
3.3.1 Quecksilber – Hg.....	70
3.3.2 Eisen – Fe	71
3.3.3 Zink – Zn.....	72
3.3.4 Selen – Se.....	73
3.3.5 Cadmium – Cd	74
3.3.6 Silber – Ag.....	75
3.3.7 Kupfer – Cu	76
3.3.8 Nickel – Ni.....	77
3.3.9 Arsen – As	78
3.3.10 Blei – Pb	79
3.3.11 Chrom – Cr.....	80
3.3.12 Biokonzentrationsfaktoren – Leber/Sediment und Muskel/Sediment	81
4. Diskussion.....	82
4.1 Düngemiteleintrag ins Wasser	82
4.2 Zusammenhang LOI und Schwermetallgehalt.....	83
4.3 Belastung des Sediments, Häufigkeit in der Erdkruste	84
4.4 Fischbelastung	85
5. Zusammenfassung.....	88
6. Abstract	89
7. Literaturverzeichnis.....	90
Anhang	96
8. Einzelergebnisse	98

1. Einleitung

1.1 Grundlagen zur Ökotoxikologie

Um über die ökotoxikologische Fragestellung einer Schwermetallbelastung sprechen zu können, ist es nötig einige Begriffe im Kopf zu haben. Sei es nun, um das Gedächtnis eines im Bereich der Ökotoxikologie versierten Lesers aufzufrischen, oder um einem interessierten Laien das nötige Verständnis zu vermitteln – nachfolgend werden einige wichtige Begriffe der Ökotoxikologie beschrieben und diskutiert.

1.1.1 Bioakkumulation

(Beek, B. (2000). S3-4)

Die Bioakkumulation beschreibt die Tendenz von Schadstoffen sich in Organismen relativ zu ihrer Umgebung anzureichern. Sie setzt sich zusammen aus den Begriffen

1. Biokonzentration

Die Biokonzentration beschreibt die direkte Aufnahme eines Schadstoffes aus dem umgebenden Wasser. Sie beschreibt das Verhältnis der Konzentration innerhalb eines Organismus zu der Konzentration im umgebenden Wasser.

2. Biomagnifikation

Die Biomagnifikation beschreibt die Aufnahme eines Schadstoffes entlang der Nahrungskette. Sie beschreibt das Verhältnis der Konzentration eines Organismus zu der Konzentration einer Nahrung dieses Organismus.

Damit ein Stoff bioakkumulieren kann, sollte er sehr langlebig und im besten Fall fettlöslich sein. Manche organischen Stoffe können sich um Faktoren $\gg 1000$ in Organismen anreichern.

1.2 Schwermetalle

1.2.1 Was sind Schwermetalle

Der Begriff „Schwermetall“ ist eher lose definiert als ein Metall oder Halbmetall mit einer atomaren Dichte von mindestens 5g/cm^3 (Alloway 2013, S. 4). Grundsätzlich werden damit aber meist Elemente bezeichnet, die mit Umweltbelastung und Toxizität in Verbindung gebracht werden, wie z.B. Cd, Hg, Cr, Cu und Pb (Alloway, Ayres 1998, S.140). Sie sind in der Regel in sehr geringen Konzentrationen in den meisten Böden natürlich in Form von Mineralien und Gesteinen vorhanden, woraus sich eine gewisse Hintergrundbelastung ergibt. Die unterscheidet sie von organischen Schadstoffen, die in der Regel entweder rein menschlichen Ursprungs sind, oder zumindest in ihrem natürlichen Vorkommen auf kleine Gebiete beschränkt sind. Eine mögliche Belastung eines Bodens ist daher immer in Relation zu dem vorherrschenden Hintergrund zu setzen (Alloway, Ayres 1998, S. 140). Schwermetalle sind nützlich, sie bieten allerlei Vorteile für verschiedene Anwendungen. Manche Schwermetalle besitzen eine lange Historie des menschlichen Gebrauchs wie z.B. As, das früher in Form des Pariser Grüns als Farbpigment verwendet wurde (Andreas 1996). Ein weiteres Beispiel wäre Pb, das in Form von $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ lange Zeit als Zuckerersatz verwendet wurde und möglicherweise für den Tod von Ludwig van Beethoven verantwortlich ist (pharmazeutische-zeitung.de). Doch auch wenn das Gefahrenpotential der Schwermetalle heutzutage besser bekannt ist, werden sie in großem Umfang weiterhin produziert. Angefangen von der industriellen Nutzung (z.B. Cu, Au als elektr. Leiter, oder diverse Schwermetalle als Legierungszusätze) bis in den privaten Gebrauch (z.B. Ag Nanopartikel in Kosmetika, oder als Bestandteil elektronischer Geräte) – Schwermetalle sind längst nicht mehr aus dem täglichen Leben wegzudenken. Wie Tabelle 1 zeigt, nahm die jährliche Produktion vieler Schwermetalle im Laufe des 20. Jahrhunderts enorm zu.

Tabelle 1: Darstellung der jährlichen Produktion verschiedener Schwermetalle in den Jahren 1930 und 1985, sowie die globale Bodenemissionen in den 1980igern, alle Werte in 10³t/a (Alloway, Ayres 1998, S. 166)

Element	Produktionsjahr		Globale Emissionen in Böden, 1980iger
	1930	1985	
Cd	1,3	19	22
Cr	560	9940	896
Cu	1611	8114	954
Hg	3,8	6,8	8,3
Ni	22	778	325
Pb	1696	3077	796
Zn	1394	6024	1372

Aus Tabelle 1 ist zu erkennen, dass für die einzelnen Elemente der Produktionszuwachs nicht im gleichen Verhältnis stattgefunden hat. Während für Ni die Produktion um den Faktor 35 gestiegen ist, ist für Hg die Produktion nur knapp um den Faktor 2 gestiegen. An Hg und Cd in der Tabelle ist gut zu erkennen, dass zusätzlich zu den gezielt produzierten Mengen noch weitere Möglichkeiten geben muss, wie die Elemente in die Umwelt gelangen. Zu nennen wäre der natürliche Eintrag durch z.B. Vulkane, oder auch in Form von Verunreinigungen von Düngemitteln (Alloway, Ayres 1998, S.140).

Durch das steigende Bewusstsein für den Schaden, den manche der Schwermetalle anrichten können, hat zumindest in manchen Teilen der Erde und auf manche Elemente bezogen ein Umdenken stattgefunden, was die Produktion und die Belastung der Umwelt betrifft. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Emissionen der Elemente Hg, Cd und Pb im Bereich der Mitgliedsländer der Europäischen Umweltagentur (EEA) (eea.europa.eu).

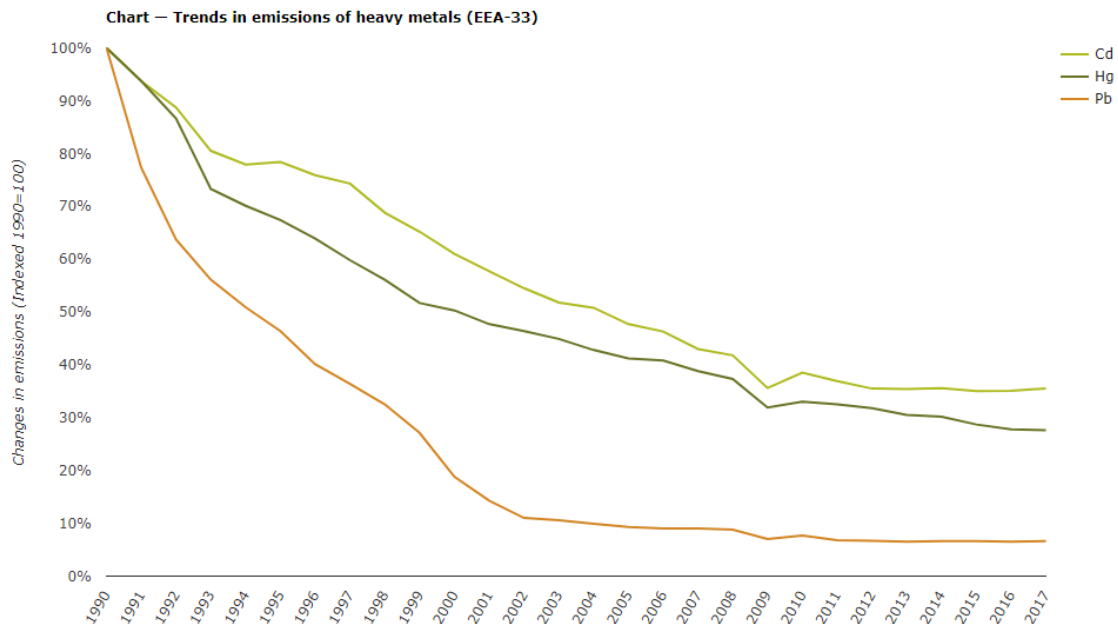


Abbildung 1: Emissionsentwicklung für die Elemente Hg, Cd und Pb in den Ländern der EEA im Zeitraum von 1990-2017 (eea.europa.eu)

Wie klar zu erkennen ist, nahmen die Emissionen für alle drei genannten Elemente im untersuchten Zeitraum stark ab. Als eine wichtige globale Maßnahme wäre das Minamata-Übereinkommen zu nennen, dessen Ziel es ist die weltweiten Hg-Emissionen stark zu senken (mercuryconvention.org).

Will man die Toxizität von Schwermetallen diskutieren, so müssen grundsätzlich einige Sachen berücksichtigt werden:

1. Es kommt darauf an in welcher Form ein Element vorliegt
2. Es muss zwischen essentiellen und nicht-essentiellen Elementen unterschieden werden
3. Jeder Organismus ist verschieden
4. Jede biologische Art ist verschieden

Ad 1.

Durch den Umstand, dass jedes Element in einer Reihe von möglichen Oxidationszahlen vorliegen und zudem mehrere Bindungen mit anderen Elementen eingehen kann, ist es nicht weiter verwunderlich, dass ein Element in einer Unzahl an verschiedenen Verbindungen vorliegen kann. Chemisch gesehen bezeichnet man so eine Verbindung eines Elements mit der dazugehörigen Summenformel als Spezies. (goldbook.iupac.org) Dies betrifft auch Schwermetalle. Jede Spezies eines Schwermetalls kann sich gravierend in seinen chemischen Eigenschaften zu einer anderen Spezies unterscheiden. Da jede

Spezies chemisch verschieden ist, können sie sich auch in ihrer Verstoffwechslung im Organismus und damit auch in ihrer Toxizität unterscheiden. Ein Beispiel einer stark spezies-abhängigen Toxizität ist Hg. Während anorganisches Hg seine Toxizität hauptsächlich durch seine Dämpfe erlangt, die langsam über die Lunge aufgenommen werden können, ist das organische Methylquecksilber aufgrund seiner Fettlöslichkeit weitaus besser für den Organismus zugänglich und kann weitaus besser im Körper gespeichert werden (Kaim, Schwederski 2005, S. 345-346).

Ad 2.

Es gibt zwei Arten von Spurenelementen. Die, die ein Organismus zum Leben benötigt und die, die er nicht benötigt. Erstere werden als essentielle Spurenelemente bezeichnet, Zweitere als nicht-essentielle. Je nachdem, ob ein Element für einen Organismus essentiell oder nicht-essentiell ist, verläuft das Dosis-Wirkungs-Diagramm wie in Abb.2 oder Abb.3.

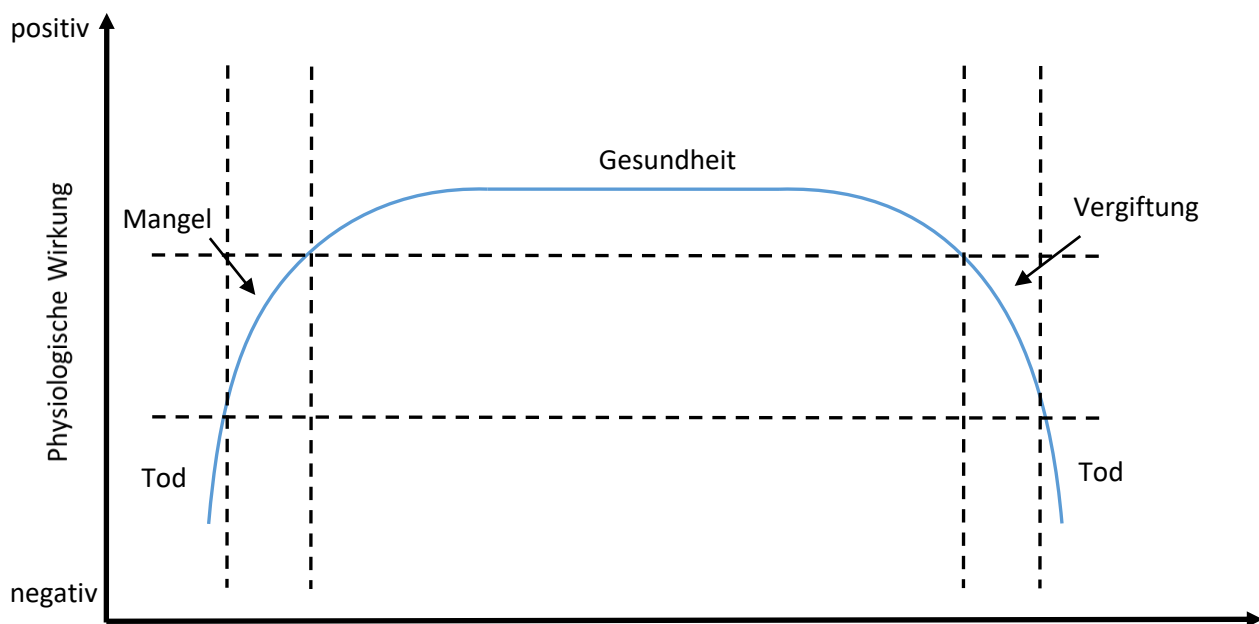


Abbildung 2: Schematisches Dosis-Wirkungs-Diagramm eines essentiellen Spurenelements, abgewandelt aus Kaim, Schwederski 2005, S.11

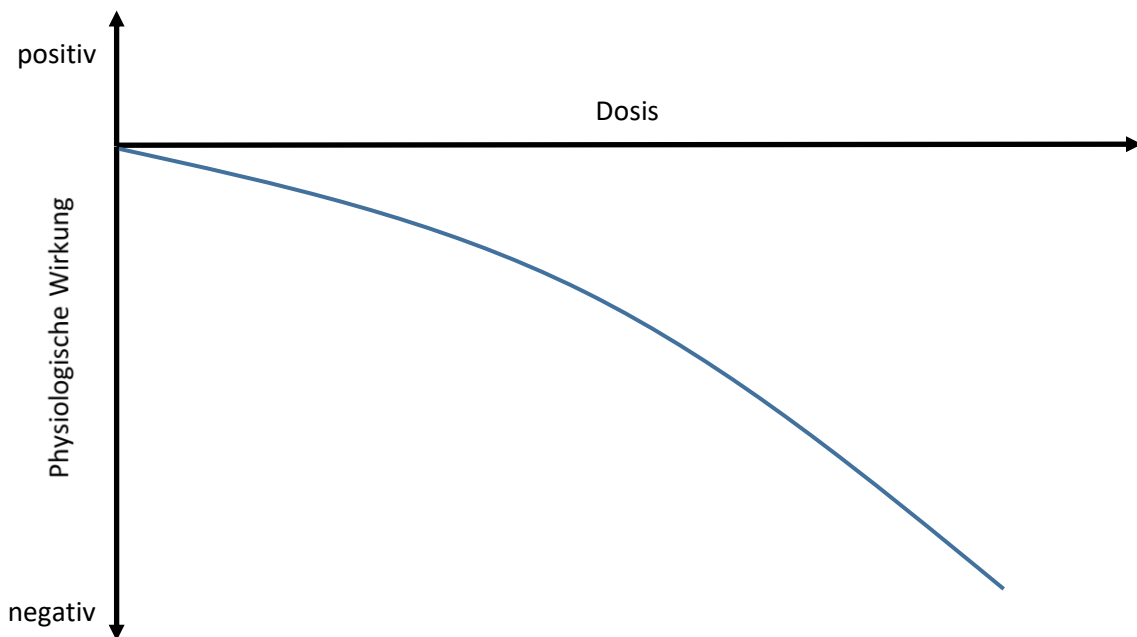


Abbildung 3: Schematisches Dosis-Wirkungs-Diagramm eines nicht-essentiellen Spurenelements, abgewandelt aus Kaim, Schwederski 2005, S.336

Anhand der beiden Abbildungen ist gut zu erkennen, dass bei essentiellen Elementen sowohl die Unter- als auch die Überversorgung zum Tod führen können, während bei nicht-essentiellen Elementen die kleinst-mögliche Konzentration die gewünschte ist. Bei der Unterscheidung essentiell/nicht-essentiell ist noch zu beachten, dass Unterschiede zwischen den verschiedenen biologischen Arten bestehen können. So wird z.B. in manchen Enzymen der Kieselalge *Thalassiosira weissflogii* das Element Cd als essentielles beobachtet (Strasdeit 2001), während es beim Menschen als nicht-essentiell gilt (Kaim, Schwederski 2005, S. 14).

Ad 3.

Es ist eine evolutionsbiologische Gegebenheit, dass sich selbst Organismen einer Spezies phäno- und genotypisch voneinander unterscheiden. Sei es, weil im Erbgut Mutationen auftreten, oder dass der Organismus in einer anderen Umgebung aufgewachsen ist – kein Individuum gleicht dem anderen, was auch für die Stoffwechselprozesse, Rezeptoren und Ausscheidungsorgane der Individuen zutrifft. Dementsprechend reagieren manche Individuen empfindlicher als andere gegenüber einem Stoff (Kaim, Schwederski 2005, S. 11). Abb. 4 veranschaulicht diesen Umstand graphisch.

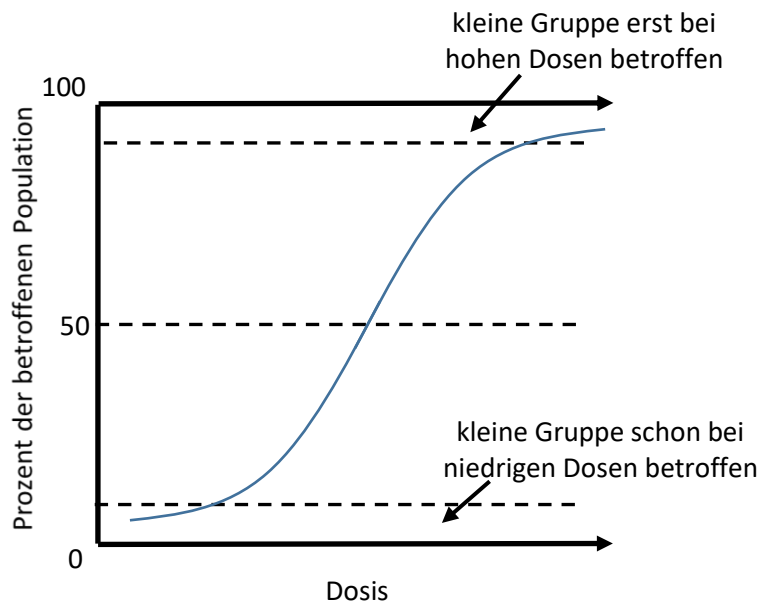


Abbildung 4: Graphische Darstellung der Varianz der toxischen Wirkung eines Stoffes innerhalb einer Population, abgeändert aus Kaim, Schwederski 2005, S.11

Ad. 4.

Wenn die Unterschiede innerhalb einer Spezies schon ausreichen, um eine Varianz der toxischen Wirkung auf die einzelnen Individuen zu erzeugen, so ist es naheliegend, dass zwischen einzelnen Spezies ebenfalls Unterschiede in Bezug auf die Empfindlichkeit gegenüber verschiedenen Elementen herrschen. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die relative Toxizität verschiedener Schwermetalle bei Wasserorganismen nach WACHS (1995) (Zitiert aus BMLFUW 2004). Dabei ist zu beachten, dass, auch wenn Unterschiede in der Toxizität bestehen, die Reihenfolge der Toxizität der Schwermetalle für die meisten Organismen jedoch ähnlich ist.

Tabelle 2: Ungefähre Reihenfolge der Toxizität verschiedener Schwermetalle für einige Wasserorganismen nach WACHS (1995)

Organismen	Zunahme <-----> Abnahme der Toxizität
Bakterien	Ag>Hg>Cu, Ni>Cd>Zn>Cr ^{VI} >Pb>Cr ^{III}
Phytoplankton, Algen	Hg>Cd, Cu>Se>Zn>Ni>Pb>Cr ^{VI}
Zooplankton, Ciliaten	Ag>Cd>Hg>Tl>Cu>Zn>Ni>Pb>Cr ^{VI} >Cr ^{III}
Zoobenthon	Cu, Hg>Cd>Zn>Ni>Pb>Cr ^{III} >Mn
Fische	Ag, Hg>Cd>Cu>Pb>Cr ^{VI} >Zn>Ni>Se>Mn
Flora	Ag>Hg>Cd, Cu>Se, Zn>Ni, Pb>Cr ^{III}
Fauna	Ag>Hg>Cd>Cu>Zn>Ni, Pb>Cr ^{III} >Se>Mn
Aquatische Gesamtbiozönose	Ag>Hg>Cd, Cu>Zn>Ni, Pb>Cr ^{III} , Se>Mn

1.2.2 Beispiele von Schwermetallen

Silber – Ag

Silber ist ein Übergangs- und zugleich auch Edelmetall mit der Ordnungszahl 47 und einem atomaren Gewicht von 107,87g/mol. Es liegt in der Erdkruste mit einer durchschnittlichen Konzentration von 0,075mg/kg vor. Es gilt als das reaktivste Edelmetall und seine ökologisch relevanteste Form ist das Ag^+ (Alloway 2013, S. 536). Für viele Wasserlebewesen und Mikroorganismen ist Ag hoch toxisch (vgl. Tabelle 2), wobei ein starker Kontrast zwischen der sehr schlechten Löslichkeit vieler seiner Verbindungen und der hohen Toxizität der gelösten Fraktion herrscht. In der *Substance evaluation* für Ag im Namen des REACH Artikels 48 wurde festgestellt das AgNO_3 eine höhere Giftigkeit für Wasserorganismen aufweist, wie kolloidales Ag (REACH substance evaluation, 2018). Da es sehr leicht reduziert werden kann, ist es für höhere Lebensformen eher harmlos (Alloway 2013, S. 535-540). Eine beim Menschen durch Ag verursachte Erkrankung ist die Argyrie, mit der eine gräuliche Verfärbung der Haut bezeichnet wird, die von feinen, in der (Schleim)Haut abgelagerten Ag-Körnchen verursacht wird. Dafür ist eine chronische Ag-Belastung z.B. über Ag-haltige Medikamente notwendig. Abgesehen von der Verfärbung der Haut sind keine weiteren negative Effekte der Krankheit bekannt (ATSDR 1990 / Wadhera, Fung 2005).

In der Natur liegt Ag entweder gediegen, wobei diese Lagerstätten weitgehend abgebaut sind, oder als Verunreinigung von sulfidischen Erzen wie Bleiglanz vor. Als wichtige Ag-Minerale sind z.B. Silberglanz (Ag_2S) oder Proustit (Ag_3AsS_3) zu nennen (Riedel 2011, S. 747). Als anthropogene Quellen für Ag in der Umwelt sind die Metallindustrie und Mülldeponien zu nennen (Alloway 2013, S. 538-539).

Verwendung findet Ag vor allem als Wertanlage, aber auch in der Elektronik, der Spiegelherstellung, sowie in der fotografischen Industrie wird es in großen Mengen benötigt (Riedel 2011, S. 749). Abb. 5 zeigt die Entwicklung der globalen Ag-Produktion von 2005 bis 2020. Dabei ist ein leichter Anstieg von ca. 20kt auf knapp 25Kt zu erkennen (Statista.com 1).

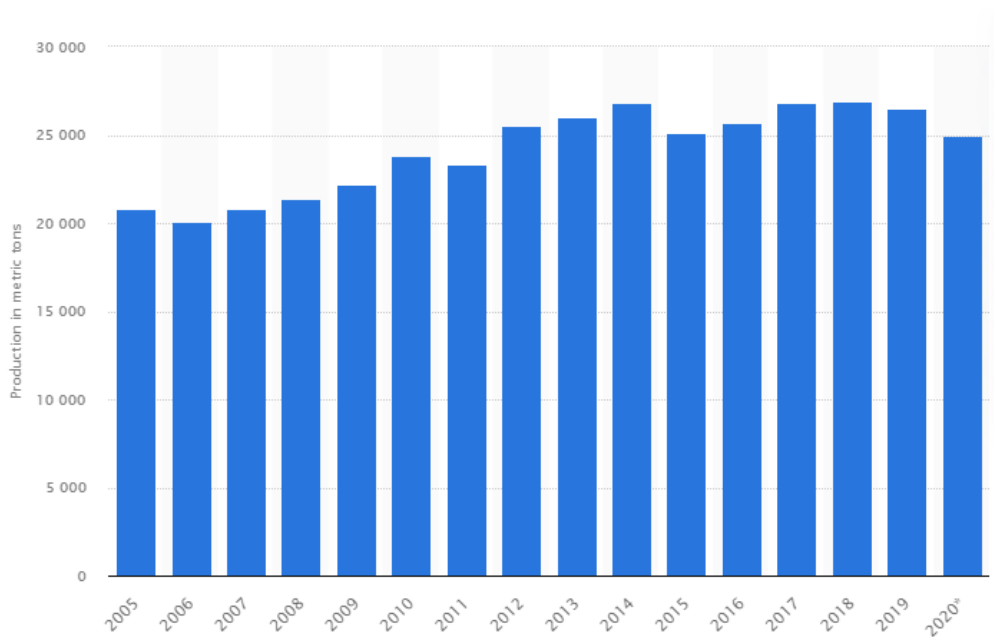


Abbildung 5: Darstellung der globalen Ag-Produktion in Kt im Zeitraum 2005-2020, Quelle Statista.com 1

Arsen – As

Arsen sitzt im Periodensystem an 33. Stelle mit einer atomaren Masse von 74,9216g/mol. Es ist das 20-häufigste Element in der Erdkruste (Alloway 2013, S.241) und wurde früher als Bestandteil von Pigmenten, Pestiziden und Holzschutzmitteln verwendet (Alloway, Ayres 1998, S.159). Es gilt als sehr giftig und kommt in den Oxidationszahlen -III bis +V vor. (Alloway 2013, S.242) Aufgrund seiner chemischen Ähnlichkeit mit P wird es analog von vielen Organismen verstoffwechselt, jedoch weist es aufgrund der Vielzahl an möglichen Oxidationszahlen eine komplexere Bodenchemie als P auf. (Alloway 2013, S.242). In der großen Ähnlichkeit zu P liegt auch seine Toxizität begründet, da es dadurch Stoffwechselprozesse stören bzw. unterbrechen kann. Sowohl die akute als auch die chronische Belastung mit As gelten als krebserzeugend (Alloway, Ayres 1998, S.160 / IARC 2012). As besitzt eine deutliche Tendenz zur Spezierung und somit eine speziesabhängige Toxizität. Des Weiteren können die vorhandenen Spezies durch z.B. Wasserorganismen ineinander umgewandelt werden (Rahman et al. 2014), was die Bewertung der Gefährlichkeit einer Spezies ungemein erschwert, da so eine, im Labor harmlose, Spezies in der Natur möglicherweise zu einer toxischeren umgewandelt werden kann.

Die größte natürliche As-Quelle stellen Mineralien und Erze dar, die durch Verwitterung in ihnen enthaltenes As freisetzen. Schiefer, Lehme und phosphatische Mineralien enthalten meist erhöhte As-Konzentrationen, während Sandsteine, Kalksteine und magmatische Gesteine typischerweise niedrigere Konzentrationen enthalten. Lokale Erzvorkommen können sehr hohe As-Konzentrationen

besitzen, weshalb es zu geogenen Ausreißern in der Bodenbelastung kommen kann (Alloway 2013 S. 244).

Für den anthropogenen Eintrag ist vor allem die atmosphärische Emission von As relevant. Durch die erhöhten As-Konzentrationen z.B. in sulfidischen Erzen wird es vor allem von Schmelzöfen emittiert, wobei diese Emissionsart 40% der gesamten anthropogenen Emissionen stellt. Die Kohleverbrennung stellt eine weitere große anthropogene As-Quelle dar und macht immerhin 20% der atmosphärischen Emissionen aus. Durch den anthropogenen Einfluss kann sich der As-Gehalt in Böden um mehrere Größenordnungen zwischen abgelegenen und städtischen Gebieten unterscheiden (Alloway 2013, S.249-250 / Alloway, Ayres 1998, S.159-160).

As wird derzeit immer noch trotz, oder gerade wegen seiner Toxizität verwendet. Als chromiertes Kupferarsenat (CCA) wird es als Holzschutzmittel verwendet, in Form von Natriummethylarsenat dient es als Herbizid (Europäische Pestizid-Datenbank / Felber-Forestal.com). Doch As besitzt auch Anwendungen, bei denen seine Toxizität nicht im Vordergrund steht. So wird es z.B. in Form von Roxarsone als Futtermittelzusatz in der Hühnerzucht (und auch Schweine bzw. Rinderzucht) verwendet, um einerseits Parasiten zu bekämpfen, andererseits um die Wachstumsrate der Hühner zu erhöhen. Auch hier wird eine Speziesumwandlung durch die Organismen diskutiert, in dem Fall eine Umwandlung vom organischen As zum anorganischen As (Nachman et al. 2005 / Silbergeld, Nachman 2008).

Auch wenn As immer noch in Verwendung ist, die weltweite Produktion nimmt seit einiger Zeit ab, wie Abb. 6 zeigt.

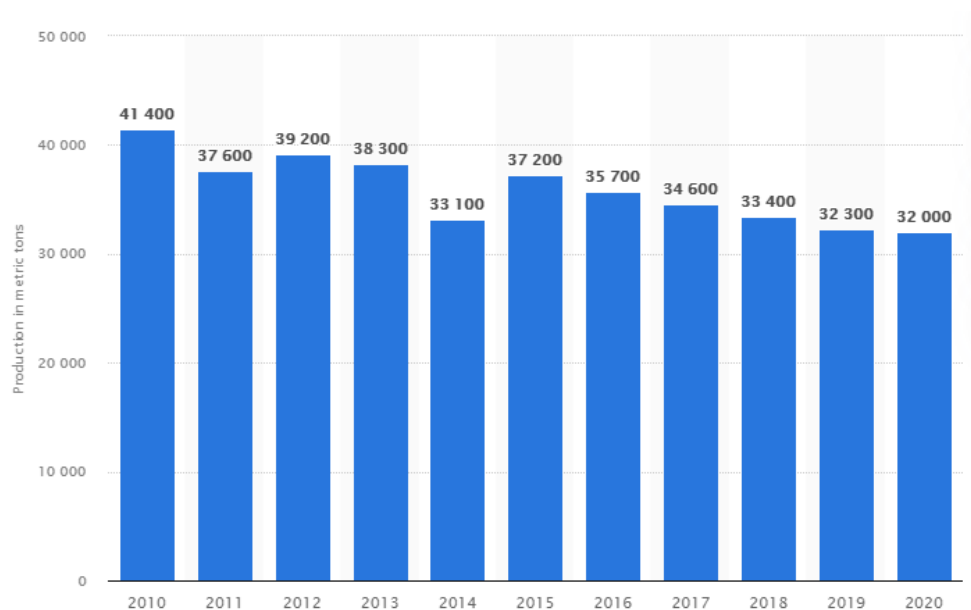


Abbildung 6: Jährliche globale As-Produktion in t. Quelle: Statista.com 2

Cadmium – Cd

Cadmium ist ein Übergangsmetall mit der Ordnungszahl 48 und einem atomaren Gewicht von 112,414g/mol. Es kommt natürlicherweise in allen Böden mit einer typischen Konzentration von 0,1-1,0mg/kg vor und besitzt dabei normalerweise die Oxidationszahl +II. In seiner ionischen Form besitzt es einen Ionenradius von 95ppm (Alloway 2013, S. 284 / Kaim, Schwederski 2005, S. 341). Obwohl es einen Schmelzpunkt von 321,07°C besitzt (webelements.com 1) beginnt es bei ca. 400°C stark flüchtig zu werden, weshalb es leicht als Aerosol beim Schmelzen von Metallen und Erzen verbreitet werden kann. Durch seine chemische Ähnlichkeit zu Zn^{2+} und Ca^{2+} erlangt das Cd^{2+} seine Toxizität. Cd kann sowohl Zn durch seine thiophileren Eigenschaften aus Cystein-Komplexen in diversen Enzymen verdrängen als auch das Ca in Knochengewebe substituieren (Kaim, Schwederski 2005, S. 342). Chronische Cd-Vergiftungen beim Menschen führen oft zu Nierenschäden und in weiterer Folge zu sehr schmerzhaften Skelettdeformationen. Die biologische Verweildauer von Cd in Knochen beträgt oft mehrere Jahrzehnte (Kaim, Schwederski 2005, S. 342). Eine Inhalation von Cd-Aerosolen kann zu Lungenemphysemen und ähnlichen Lungenerkrankungen führen (Alloway, Ayres 1998, S. 160). Cd wird von Nichtrauchern hauptsächlich über die Nahrung aufgenommen. Dadurch, dass Tabakpflanzen gut Cd in ihren Blättern speichern können, nehmen Raucher zusätzlich nennenswerte Mengen Cd über Zigarettenrauch auf. Es wird geschätzt, dass eine Zigarette bis zu 1,7µg Cd enthalten kann, wovon ca. 10% beim Rauchen inhaliert werden. Cd gilt möglicherweise als krebserregend (Kaim, Schwederski 2005 S. 342 / IARC 2012).

Es gibt nur sehr wenige natürlich vorkommende Cd-Mineralien wie z.B. Otavit (CdCO_3). Weitaus häufiger findet es man in Zn-Mineralien wie ZnO, woraus es auch 1817 erstmals isoliert werden konnte. Deswegen war Cd auch immer schon ein Nebenprodukt der Zn-Herstellung und ein typisches Gewichtsverhältnis ist Cd:Zn 1:200 (Alloway 2013, S. 287).

Die anthropogenen Emissionen sind meist atmosphärischer bzw. landwirtschaftlicher Natur (vor allem durch P-Dünger). 2002 wurden in der EU geschätzt >124t Cd in die Atmosphäre emittiert und >244,6t in Böden. Durch seine sehr lange Verweilzeit von mehreren Dekaden und der gleichbleibenden Bioverfügbarkeit in Böden, gepaart mit seiner hohen Toxizität gilt Cd als ein sehr problematisches Element (Alloway 2013, S. 284 / Alloway, Ayres 1998, S. 160).

Heutzutage wird Cd als Bestandteil von Batterien (Ni/Cd-Akkumulatoren), Pigmenten (CdS) oder Kunststoff-Stabilisatoren verwendet, zudem tritt es, wie schon erwähnt, bei der Zn-Gewinnung auf (Kaim, Schwederski 2005, S. 342).

Auch wenn Abb. 1 zeigt, dass im europäischen Raum die Cd-Emissionen im Laufe der letzten Jahre stark gesunken sind, so ist in Abb. 7 ersichtlich, dass die jährliche globale Cd-Produktion in der letzten

Dekade annähernd gleichgeblieben ist. Eine mögliche Erklärung dafür ist die stark gestiegene Cd-Produktion Chinas (indexmundi.com).

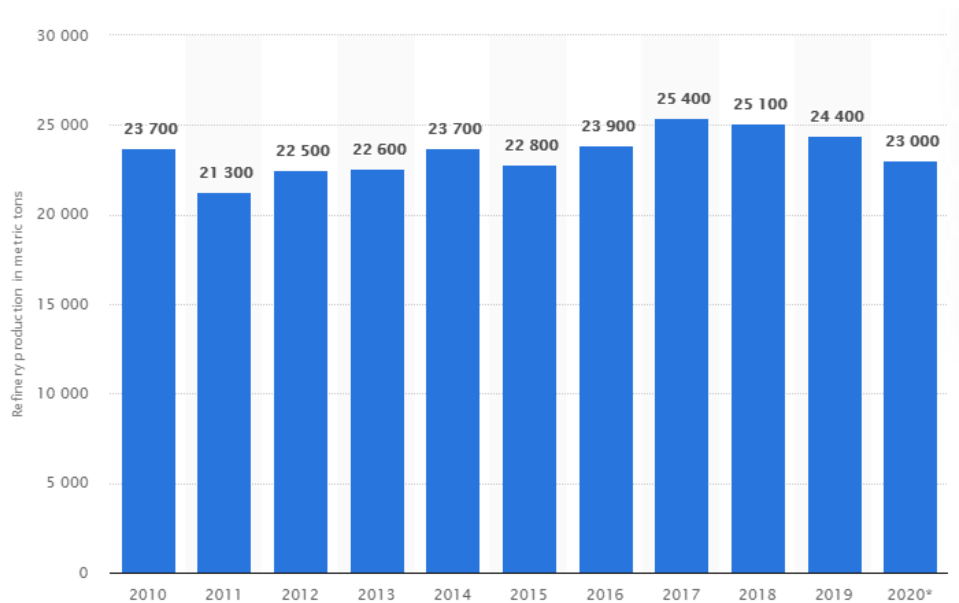


Abbildung 7: Jährliche globale Cd-Produktion von Raffinerien in t. Quelle: Statista 3

Chrom – Cr

Chrom ist ein Übergangsmetall mit der Ordnungszahl 24 und einem atomaren Gewicht von 51,996g/mol. Es wurde erstmal 1798 durch Louis N. Vauquelin aus Crocoit (PbCrO_4) isoliert. Es liegt mit einer durchschnittlichen Konzentration von 100mg/kg in der Erdkruste vor, in Böden reichen die Konzentrationen von 1-3000mg/kg. Dabei enthalten mafische Minerale weitaus mehr Cr als z.B. Sedimentgesteine (Alloway 2013, S. 317-318). Die biologisch bedeutsamsten Oxidationsstufen des Chroms sind +III und +VI, wobei zwischen den beiden Oxidationsstufen große Unterschiede in ihrer biologischen Wirkung bestehen. Während Cr^{III} als essentiell (Alloway 2013, S. 317 / Kaim, Schwederski 2005, S. 247) bzw. möglicherweise essentiell (Markert, Fränze, Wünschmann 2015) für den Menschen gilt, sind Cr^{VI} Verbindungen schon bei 10-100fach niedrigeren Dosen als Cr^{III} toxisch und gelten zudem als cancerogen (Alloway 2013, S. 317). Konzentrationen von 0,5 $\mu\text{g/L}$ Cr^{VI} können dabei schon phytotoxische Effekte auslösen. Im Gegensatz dazu gilt Cr^{III} für manche Fischarten, vor allem für Lachs, giftiger als Cr^{VI} (Alloway, Ayres 1998, S. 162). Dies ist ein weiteres Beispiel für die Wichtigkeit der Unterschiede verschiedener chemischer Spezies ein und desselben Elements. Cr^{III} gilt deshalb möglicherweise als essentiell, da im Insulinstoffwechsel die Beteiligung eines Cr^{III} enthaltenden Glukosetoleranzfaktors postuliert wurde (Kaim & Schwederski 2005, S. 247). Bei hohen Dosen gilt

jedoch auch Cr^{III} als möglicherweise krebserregend (Alloway 2013, S. 317). Cr^{VI} wie auch Cr^{III} werden hauptsächlich über Nahrung, Trinkwasser und die Inhalation Cr-haltiger Aerosole und Stäube aufgenommen (Alloway 2013, S. 317). Während Cr^{III} bei physiologischen Bedingungen (pH 7) als unlösliches Hydroxid vorliegt und seine Aufnahme so stark gehemmt wird, gilt dies für Cr^{VI} nur bedingt. Grundsätzlich wäre für Cr^{VI} bei pH 7 eine Reduktion zu Cr^{III} mit anschließender Hydroxid-Fällung zu erwarten, jedoch ist dies aufgrund der, für die Redox-Reaktion erforderlichen, drei Elektronen nur von speziellen Antioxidantien und biochemischen Reduktionsystemen schaffbar. Durch seine Ähnlichkeit zu SO_4^{2-} Ionen können CrO_4^{2-} Ionen Membranschränken überwinden und bis in den Zellkern vordringen, wo durch die oxidierende Wirkung des Cr^{VI} genetische Komponenten geschädigt werden können (Kaim, Schwederski 2005, S. 355).

Das wichtigste, für die Herstellung allein verwendete, natürlich vorkommende Cr-Erz ist das Chromit (FeCr_2O_4) (Riedel 2011, S. 807). Die größte natürliche Quelle für Cr-Eintrag ist die Verwitterung seiner Ursprungsmaterialien, wobei das so freigesetzte Cr meist als Hydroxid vorliegt oder als Cr^{III} an Kolloiden im Boden adsorbiert ist. Eine anthropogene Quelle für Cr in der Umwelt sind z.B. Industrieabfälle (Alloway 2013, S. 318).

Eine der wichtigsten industriellen Anwendungen für Cr ist die Legierung mit Fe zur Erzeugung rostfreien Stahls (Riedel 2011, S. 807). Lag 2010 die globale Cr-Produktion noch bei 23,7Mt, so lag sie 2020 bei ca. 40Mt (Statista.com 4). Dieser Zuwachs, zusammen mit seiner Hauptfunktion als Legierungsmittel spiegelt sich auch im Anstieg der Produktion rostfreien Stahls wider, die im selben Zeitraum auch beinahe um das Doppelte anstieg, wie Abb. 8 veranschaulicht (Statista.com 4).

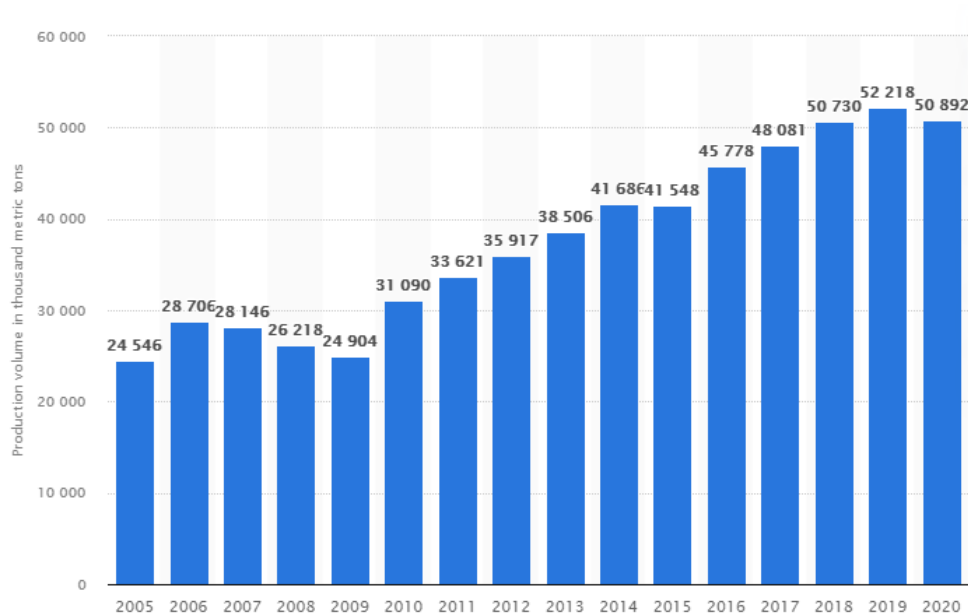


Abbildung 8: Globale Produktion von rostfreiem Stahl in Mt im Zeitraum 2005-2020, Quelle Statista.com 4

Kupfer – Cu

Kupfer ist ein Übergangsmetall mit der Ordnungszahl 29 und einem atomaren Gewicht von 63,546g/mol (ciaaw.org). Es ist mit einer Konzentration von 60mg/kg das 26-häufigste Element in der Erdkruste, wobei die Konzentration meist zwischen 2 und 50mg/kg liegt. Kupfer besitzt eine lange Historie in seiner Nutzung und es wird schon seit mindestens 10 000 Jahren vom Menschen genutzt (Alloway 2013, S. 368). Das Element gilt als essentiell für die meisten Lebewesen (Alloway 2013, S. 368), unter anderem den Menschen und andere Säugetiere wie z.B. Schafe und Rinder (Alloway, Ayres 1998, S. 183). Dabei besitzen Cu und Fe haltige Proteine oft vergleichbare Funktionen, wie es bei den reversibel O₂-bindenden Proteinen Hämyerithin bzw. Hämoglobin (Fe) und Hämocyanin (Cu) der Fall ist. Ein weiteres Beispiel wären Proteine mit Antioxiations-Funktion wie Peroxidasen (Fe) und Superoxid-Dismutasen (Cu). Dies führt dazu, dass sowohl Cu-Mangel als auch Vergiftung auftreten können (Vgl. Abb. 2). Vor allem Schafe sind für Mangel, als auch Vergiftung anfällig. So können Futterpflanzen mit einem Cu-Gehalt von weniger als 5 µg/g schon zu Mangelercheinungen führen, während im Gegenzug bei 10 µg/g bereits Vergiftungen auftreten können (Alloway, Ayres 1998, S. 183). Beim Menschen wird Cu nicht zum stöchiometrischen O₂-Transport benötigt und liegt deswegen nur in sehr kleinen Mengen (ca. 150mg pro Erwachsenen) vor. Dennoch ist es essentiell und hat eine sehr große Bedeutung für die Atmungskette. Deshalb kann es auch beim Menschen zu Über- und Unterversorgung kommen. Zu einer Unterversorgung kann es besonders bei Neugeborenen kommen, da sich der Transport- und Speichermechanismus erst nach einigen Monaten einstellt. Dadurch kann es zu einer O₂ Unterversorgung im Gehirn kommen, was bleibende Schäden bzw. den Tod hervorrufen

kann. Eine Überversorgung tritt z.B. bei der Wilsonschen Krankheit auf, die eine erbliche Störung der Kupferspeicherung durch das Protein Caeruloplasmin darstellt. Dabei reichern sich Cu-Ionen in Leber und Hirn an, was zu Demenz, Leberversagen und langfristig zum Tod führt (Kaim, Schwederski 2005, S. 194).

Als eines von wenigen Metallen kommt Cu in der Natur gediegen vor (Alloway 2013, S. 369). Als wichtige Minerale gelten Sulfide bzw. Oxide, die aus der Verwitterung der Sulfide entstehen. Als wichtige Vertreter wären Kupferkies (CuFeS_2), Kupferglanz (Cu_2S) und Cuprit (Cu_2O) zu nennen (Riedel 2011, S. 747). Die wichtigste natürliche Quelle von Cu ist das geologische Ausgangsmaterial. Als anthropogene Quellen sind vor allem die Metallerzeugung und Kohleverbrennung zu nennen (Alloway 2013, S. 372).

Cu gilt nach Fe und Al als das wichtigste Gebrauchsmaterial. Es wird als elektrischer Leiter und als korrosionsbeständiges Material geschätzt. Zudem ist es Bestandteil von vielen Legierungen wie Messing (Cu-Zn), Bronzen (Cu-Sn), oder Monel (Ni-Cu) (Riedel 2011, S. 749). Wie Abb. 9 zeigt stieg die weltweite Cu-Produktion in den letzten 20 Jahren konstant von ca. 15Mt auf ca. 25Mt (Statista.com 5). Dabei ist zu beachten, dass der weltweite Bedarf weitaus höher ist (2007 bei ca. 24Mt), Cu jedoch mit ungefähr 35% zu einem hohen Grad recycelt wird (Alloway 2013, S. 368).

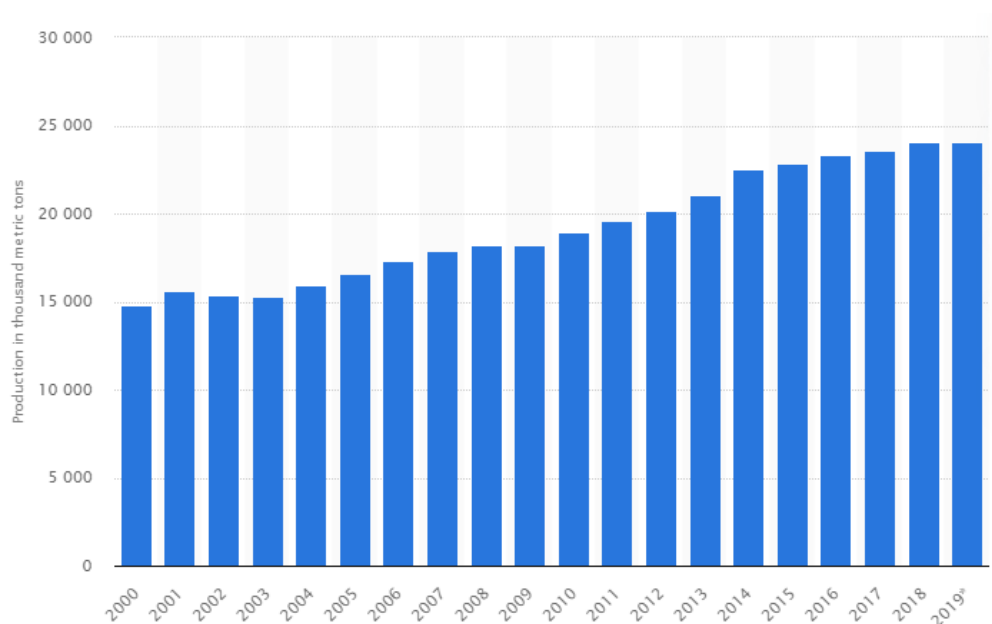


Abbildung 9: Globale Produktion von Cu in Mt im Zeitraum 2000-2019, Quelle: Statista.com 5

Quecksilber – Hg

Quecksilber ist ein Übergangsmetall mit der Ordnungszahl 80 und einem atomaren Gewicht von 200,592g/mol (ciaaw.org). Es wird schon seit vielen Jahrtausenden von der Menschheit genutzt

(Alloway 2013, S. 412). Die durchschnittliche Konzentration in der Erdkruste wird mit maximal 50 µg/kg geschätzt (Alloway 2013, S. 414). Es ist das einzige Metall, das bei Raumtemperatur flüssig ist (Riedel 2011, S. 761). Aufgrund der langsamen Verdunstung des elementaren Hg und der hohen Toxizität des Elements, können die eingeatmeten Dämpfe auf Dauer zu einer Hg-Vergiftung führen. Symptome einer solchen chronischen Hg-Vergiftung umfassen Koordinationsbeeinträchtigungen, Gedächtnisverlust und bei sehr hoher Belastung Taubheit, Blindheit und Tod (Kaim, Schwederski 2005, S. 346). Es gilt für keinen bekannten Organismus als essentiell. (Alloway 2013, S. 414) Während elementares Hg aufgrund seiner geringen Bioverfügbarkeit noch eher harmlos ist, sind anorganische und vor allem organische Hg-Verbindungen extrem gefährlich. Besonders toxisch gelten metallorganische Hg-Ionen der Form RHg^+ . Aufgrund ihrer eher amphiphilen Natur und der geringen Größe der Moleküle können sie wichtige Schutzmechanismen des Körpers umgehen, wie z.B. die Blut-Hirn-Schranke, oder die Placenta-Schranke, und danach Proteinstrukturen, vor allem Enzyme, mit Thiolat-Liganden angreifen. Ein weiteres Problem stellen die wenig dissoziierten Moleküle RHgCl dar, die im Magen durch die HCl-haltige Magensäure gebildet werden können. Diese sind aufgrund ihrer Fettlöslichkeit gut resorbierbar und speicherbar (Kaim, Schwederski 2005, S. 346-347).

Grundsätzlich wird elementares Hg aus Zinnober (HgS) gewonnen, wobei mehr als 20 verschiedene Hg-Mineralien bekannt sind und teilweise in Zinnober auch gediegenes Hg in Form kleiner, eingeschlossener Tröpfchen zu finden ist (Alloway 2013, S. 414 / Riedel 2011, S. 763). Eine wichtige natürliche Quelle von Hg ist das Ausgasen der elementaren Form aus den Hg-haltigen Mineralien. Auch wenn etwas Hg auf natürlichem Weg in die Umwelt gelangt, so gelten 70-80% der Emissionen als anthropogen (Alloway 2013, S. 424). Die beiden größten anthropogenen Quellen sind einerseits die Goldgewinnung (37,7%) und andererseits die stationäre Verbrennung von Kohle (21%). (epa.gov)

Heutzutage wird Hg unter anderem für wissenschaftliche Geräte (Barometer, Thermometer) und als Extraktionsmittel bei der Goldgewinnung verwendet. Aufgrund der hohen Toxizität von Hg und seinen Verbindungen wurde im 21. Jahrhundert das Minamata-Übereinkommen beschlossen, um den globalen Ausstoß von Hg zu minimieren. Das Übereinkommen wurde von 127 Staaten unterzeichnet und ist am 16.08.2017 in Kraft getreten. Der Auslöser und zugleich Namensgeber für dieses Übereinkommen war die in den 1950er in Minamata, Japan erstmals aufgetretene Minamata-Krankheit. Sie resultierte aus einer starken Belastung der ansässigen Bevölkerung mit methyliertem Hg, das aus Industrieabwässern, anfänglich als HgSO_4 , das von Mikroorganismen jedoch zur organischen Form umgewandelt wurde, in die Nahrungskette gelangte (Minamata convention on mercury 2009 / Alloway, Ayres 1998, S. 184). Die Wirkung dieses Unterfangens zeigt sich deutlich in der Produktionsmenge. Während 2010 noch 2,2Mt Hg produziert wurden, lag die Produktionsmenge 2020 nur mehr bei 3,7kt (Statista.com 6).

Nickel – Ni

Nickel ist ein Übergangsmetall mit der Ordnungszahl 28 und einem atomaren Gewicht von 58,71g/mol (Alloway 2013, S. 314). Es wurde 1751 das erste Mal von Axel F. Cronstedt aus Niccolit (NiAs) isoliert. Es kommt in riesigen Mengen im Erdkern vor, der ca. 10% des globalen Nis enthält. Zudem ist Ni stark in Kohle und Erd-Öl vorhanden. Die durchschnittliche Konzentration in der Erdkruste beträgt ca. 80mg/kg. Ni tritt häufig mit den Elementen Co und Fe zusammen auf und es besitzt zudem eine große Affinität für S. Es ist in vielerlei Gesteinsarten zu finden, wie metamorphe Gesteine oder Sedimentgesteinen. Die prävalentesten Oxidationszahlen sind 0 und +II, auch wenn +I und +III auch vorkommen können (Alloway 2013, S. 314-315). In wässriger Lösung ist Ni nur in der Oxidationsstufe +II stabil (Riedel 2011, S. 863). Ni gilt zumindest für viele Bakterien und Pflanzenarten als essentiell. So sind für viele Arten unter anderem die Enzymtypen Urease/Hydrogenase sowie CO-Dehydrogenase von Ni abhängig. Es ist noch unklar, ob Ni für den Menschen essentiell ist (Alloway 2013, S. 314 / Kaim, Schwederski 2005, S. 179-192). Medizinisch ist Ni vor allem als Kontaktallergen bekannt. Es gilt als das häufigste Kontaktallergen in Europa, wobei allein in Deutschland zwischen schätzungsweise 2,3 und 5,5% der Bevölkerung betroffen sind (BfR 2012 / Schnuch et al. 2002). Unter Kindern gelten sogar 10% als Ni-sensibilisiert (BfR 2012). Es gilt zudem möglicherweise als krebserregend (IARC 2012).

Natürlich wird Ni einerseits durch die Verwitterung Ni-haltiger Mineralien in die Umwelt eingebracht, andererseits enthalten die Weltmeere signifikante Mengen an Ni (8Gt). Zur Produktion von Ni werden hauptsächlich sulfidische Ni-Fe-Cu-Erze wie Eisennickelkies ((Fe,Ni)S) verwendet. Als anthropogene Quellen kommen vor allem die Verbrennung von Kohle und Öl, sowie die Metallverarbeitung in Frage (Alloway 2013, S. 317 / Riedel 2011, S. 841, 847).

Als Hauptanwendungsfeld für Ni in der heutigen Zeit gilt vor allem die Erzeugung von rostfreiem Stahl. Eine weitere Anwendung ist sein Einsatz als Katalysator für vielerlei Reaktionen (Alloway 2013, S. 314).

Die globale Produktion von Ni stieg von ca. 1,5Mt (2010) auf ca. 2,4Mt (2020) (insg.org).

Blei – Pb

Blei ist ein Hauptgruppenmetall mit der Ordnungszahl 82 und einem atomaren Gewicht von 207,2g/mol (webelements.com 2). Es gilt als das erste Metall, das vom Menschen aus seinen Erzen isoliert wurde und kommt in der Erdkruste in einer Konzentration von 14,8mg/kg vor (Alloway 2013, S. 396). Es gilt für keine bekannten lebenden Organismen als essentiell, wobei seine hohe Toxizität im Vergleich zu anderen Schwermetallen doch eher gering ausfällt. So besitzt Pb fast die 70-fache akut

letale Dosis (LD_{50}) von Cd und Hg, bei Injektion in das Bauchfell von Säugetieren (Alloway, Ayres 1998, S. 181,184). Problematisch ist jedoch im Vergleich zu Cd und Hg sein starkes Vorkommen in der Umwelt (Alloway, Ayres 1998, S. 185). Es wirkt im Körper von Säugetieren als kumulatives Gift und ist sowohl in seinen organischen als auch anorganischen Spezies giftig (Alloway, Ayres 1998, S. 185 / Kaim, Schwederski 2005, S. 341). In der Umwelt hat Pb und seine Verbindungen die Tendenz sich in Böden und Sedimenten anzureichern, wo sie für eine lange Zeit bioverfügbar bleiben (Alloway 2013, S. 396). Vergiftungen mit anorganischen Pb-Verbindungen führen vor allem zu hämatologischen und gastro-intestinalen Symptomen wie z.B. Koliken. Anders ist es bei Vergiftungen mit organischen Pb-Verbindungen. Diese führen vorwiegend zu Störungen des zentralen Nervensystems, da sie ähnlich wie organische Hg-Verbindungen (Vgl. Quecksilber - Hg) die Blut-Hirn-Schranke überwinden können (Kaim, Schwederski 2005, S. 341).

Das wichtigste Pb-Mineral ist Bleiglanz (PbS), weitere Beispiele für Pb-haltige Mineralien sind Weißbleierz ($PbCO_3$), Gelbleierz ($PbMoO_4$) und Scheelbleierz ($PbWO_4$). Natürlich vorliegendes Pb besitzt immer die Oxidationszahl +II (Riedel 2011, S. 513). Da Pb in Form von Pb-Alkyl Verbindungen früher als Anti-Klopf Mittel in Treibstoffen eingesetzt wurde, war der Straßenverkehr lange Zeit eine große anthropogene Quelle, bis 1998 die EU in ihrer Richtlinie *98/07/EG über die Qualität von Otto- und Dieselmotoren* den Gebrauch von Pb-haltigen Substanzen in Treibstoffen verboten hat (Europäisches Parlament und Rat 2005). Auch bei der Pb-Gewinnung gelangt ein Teil davon in die Umwelt (Alloway 2013, S. 400).

Hauptanwendung findet Pb in der Produktion von Autobatterien, wobei die knapp 80% des weltweiten Pb-Bedarfs stellt (Statista.com 7). Wie in Abb. 10 zu erkennen ist, stieg die weltweite Pb-Produktion von 8,1Mt in 2006 auf 11,7Mt in 2020.

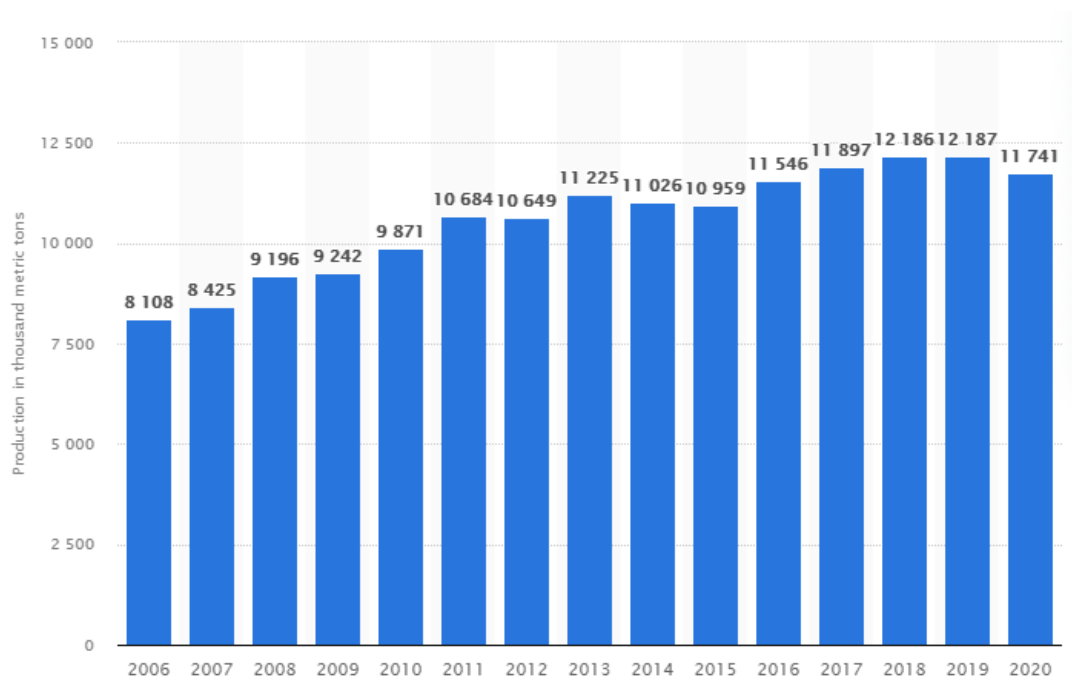


Abbildung 10: Weltweite Pb-Produktion in kt im Zeitraum 2006-2020, Quelle: Statista.com 7

Zink – Zn

Zink ist ein Übergangsmetall mit der Ordnungszahl 30 und einem atomaren Gewicht von 65,38g/mol (ciaaw.org). Es ist das 24.-häufigste Element in der Erdkruste und liegt üblicherweise in Konzentrationen von 10-100mg/kg vor. Üblicherweise sind magmatische Gesteine eher Zn-reich, da in ferromagnetischen Mineralen enthaltenes Fe^{2+} oder Mg^{2+} gut durch Zn^{2+} substituiert werden kann. Silikat-reiche, magmatische Gesteine sind hingegen eher Zn-arm (Alloway 2013, S. 467). Es gilt für alle Lebewesen als essentiell (Alloway 2013, S. 466). Unter physiologischen Bedingungen liegt Zn nur zweifachgeladen vor. Es ist Bestandteil vieler Proteine, wobei schon über 300 bekannt sind. Dazu gehören viele Enzyme die Auf- (Synthetasen, Ligasen) oder Abbau (Hydrolasen) von Proteinen, Lipiden und anderen bioorganischen Molekülen katalysieren (Kaim, Schwederski 2005, S. 248). Grundsätzlich kann Zn für den Menschen toxisch wirken, jedoch scheint eine hohe Verträglichkeit vorzuliegen, bzw verhindert seine hohe Toxizität für Pflanzen, Bodenorganismen und Mikroorganismen das toxische Konzentration in der Nahrung erreicht werden. Deshalb liegt kein Fall einer chronischen Zn-Vergiftung beim Menschen oder Wildtieren über die Nahrungskette vor. Auch wenn die Überversorgung mit Zn selten ist, der Mangel ist ein großes Problem und schätzungsweise bei einem Drittel der weltweiten Bevölkerung liegt ein Zn-Mangel vor (Alloway 2013, S. 466 / Alloway, Ayres 1998, S. 248). Ein Zn-Mangel beim Menschen kann Wachstumsstörungen, Appetitmangel und in schweren Fällen Haarausfall, Durchfall und Tod bedeuten (Prasad 2020).

Die wichtigsten Zn-Erze sind Zinksulfid (ZnS), das als kubisches Sphalerit, oder als hexagonales Wurtzit vorliegend kann und Zinkspat (ZnCO_3) (Riedel 2011, S. 762,763). Ungefähr 40% der jährlichen Zn-Emissionen sind natürlichen Ursprungs wie Vulkane oder Waldbrände. Die restlichen 60% sind anthropogenen Ursprungs, wobei vor allem der Verkehr und die Kohleverbrennung wichtig ist. Eine weitere, derzeit weniger relevante Emissionsquelle waren galvanisierte Stähle, aus denen das Zn durch sauren Regen in Form von ZnSO_4 herausgelöst wurde. Seit die SO_2 Emissionen stark reduziert wurden, ist dieser Emissionsweg weniger von Bedeutung (Alloway 2013, S. 468,469 / Riedel 2011, S. 764).

Heutzutage findet Zn eine Vielzahl an Anwendungen, wie z.B. als Material für Dächer und Regenrinnen, als Legierungsbestandteil (Messing) oder auch als Korrosionsschutz für Fe (Riedel 2011, S. 764). Die weltweite Zn-Produktion blieb innerhalb der letzten 10 Jahre relativ konstant bei 12Mt (nrcan.gc.ca).

1.3 (Süßwasser)Fische und Schwermetalle

Ein wichtiger Aspekt dieser Arbeit ist das Verhältnis von (Süßwasser)Fischen zu Schwermetallen, weshalb nachfolgend ein kurzer Überblick über die Verstoffwechselung von Schwermetallen in Fischen gegeben wird.

1.3.1 Aufnahme

(Hofer, Lackner 1995, S.15-18/56-65)

Schwermetalle werden von Fischen hauptsächlich über die Kiemen und die Nahrung bzw. den Darm aufgenommen. Dabei wird der Schadstoff sowohl über die Zellmembran als auch die Zell-Zell-Verbindungen aufgenommen. Die Aufnahme über die Zell-Zell-Verbindungen spielt beim Darm jedoch eine untergeordnete Rolle. Des Weiteren muss noch zwischen passiver und aktiver Aufnahme unterschieden werden. Die passive Aufnahme erfolgt immer durch Diffusion entlang eines Konzentrationsgradienten, wobei die Schwermetalle entweder direkt über die Zellmembran diffundieren (vorausgesetzt ausreichende Lipophilität ist gegeben) oder über Poren und Kanäle in den Organismus gelangen. Prinzipiell ist die passive Aufnahme reversibel. Die aktive Aufnahme läuft über spezielle Carrier-Proteine und erfordert Energieeinsatz. Dafür kann diese auch entgegen einem Konzentrationsgradienten erfolgen. Zusätzlich wird die Aufnahme durch weitere Faktoren beeinflusst. Als wichtige exogene Faktoren sind z.B. Temperatur und O_2 -gehalt des Wassers zu nennen. Bei steigender Temperatur bzw. sinkendem O_2 -gehalt des Wassers erhöht sich die Ventilationsrate des Fisches und mehr Wasser strömt durch die Kiemen, wodurch wiederum mehr Schadstoff in den Körper diffundieren kann. Während bei der Temperaturerhöhung zudem der Stoffwechsel ansteigt und somit

auch eine erhöhte Ausscheidung erfolgen kann, wird die Ausscheidungsrate von einem niedrigen O₂-gehalt nicht erhöht. Ein weiterer wichtiger exogener Faktor wäre die Bioverfügbarkeit der Schwermetalle, wie gut die Schwermetalle dem Fisch zugänglich sind. Diese wird maßgeblich von der Wasserhärte, dem pH-Wert und Adsorbentien im Wasser bestimmt. So verlieren z. B. durch den erhöhten Ca²⁺-Gehalt, die Membranen der Kiemen an Permeabilität und eine geringere Aufnahme ist die Folge. Ein niedriger pH-Wert lässt den Anteil an leicht resorbierbaren freien Metallionen ansteigen und eine erhöhte Aufnahme ist die Folge.

1.3.2 Speicherung

(Hofer, Lackner 1995, S.20-22)

Grundsätzlich ist die Tatsache, dass Fische Schwermetalle und andere Schadstoffe speichern können, Teil des Prinzips der Bioakkumulation (siehe 1.1.1). Die aufgenommenen Schwermetalle werden jedoch weder gleichmäßig im Körper verteilt noch werden sie in einem einzigen Organ gespeichert. Nachdem sie durch die Kiemen oder dem Verdauungstrakt aufgenommen wurden, verteilen sie sich über den Blutkreislauf im Körper und reichern sich in verschiedenen Organen an. Tabelle 3 gibt einen Überblick über verschiedene Organe und welche Schwermetalle dort bevorzugt angereichert werden. Der Speichervorgang läuft in der Regel so ab, dass sich die aufgenommenen Schwermetalle zunächst in den Aufnahmeorganen anreichern, wo sie langsam an den Organismus abgegeben werden und über den Blutkreislauf zu den Organen gelangen, die die höchste Affinität für das jeweilige Element haben. Die Affinität für Schwermetalle wird z.B. durch metallbindende Proteine, sogenannte Metallothioneine, erhöht. Eine hohe Affinität für metallorganische Verbindungen wird vor allem durch einen hohen Fettgehalt erreicht, der durch verschmutzte, eutrophierte Gewässer weiter erhöht werden kann, da sich durch die höhere Schlammansammlung Kleintiere stärker vermehren und auch deren Fettanteil steigt (Reichenbach-Klinke 1974, S. 95). Daraus ergibt sich, dass je nach Verschmutzung, nicht nur die Konzentration eines Schadstoffes im Ökosystem ansteigen kann, sondern auch die Speicherkapazität des Fisches für diesen Stoff.

Tabelle 3: Speicherorgane und die Schwermetalle, die in ihnen gespeichert werden (Hofer, Lackner 1995, S.21)

Kieme	Darm	Leber	Niere	Muskulatur	Knochen
Zn	Zn	Cu	Cd	Hg	Pb
Cd	Cd	Fe	Cu		Zn
Pb	Pb	Zn	Pb		
		Cd	Zn		
		Hg	Hg		
		Cr	Cr		
		Se			

1.3.3 Ausscheidung

(Hofer, Lackner 1995, S.28-31)

Es gibt mehrere Wege wie Fische Schwermetalle ausscheiden können. Die wichtigsten Ausscheidungsorgane sind dabei Kiemen, Leber und Nieren, wobei nur selten ein Stoff über ein einziges Organ ausgeschieden wird. Während durch die dünne Barriere zwischen Blut und Wasser, die die Kiemen als respiratorisches Organ darstellen, vor allem fettlösliche Substanzen ins umliegende Wasser diffundieren, werden über die Nieren hauptsächlich wasserlösliche Verbindungen und anorganische Ionen wie Nitrat oder Sulfat ausgeschieden. Dies macht die Niere zu einem wichtigen Ausscheidungsorgan für Schwermetalle, werden so doch 5-20% der Schwermetalle auf diesem Weg ausgeschieden. Zusätzlich dazu werden die meisten Schwermetalle auch über die Leber bzw. die Galle ausgeschieden, auch wenn dies oft nur sehr langsam vonstatten geht. Generell ist zu sagen, dass die Geschwindigkeit, mit der ein Schwermetall ausgeschieden wird, sehr stark vom Element abhängig ist. Tabelle 4 zeigt die Halbwertszeiten einiger Schwermetalle in Forellenmuskulatur in Tagen. Dabei ist die Halbwertszeit die Zeit, die der Organismus benötigt, um die Hälfte des vorhandenen Schadstoffes auszuschcheiden. Wie klar ersichtlich ist, können die Halbwertszeiten von einigen Tagen bis zu mehreren Jahren dauern.

Tabelle 4: Halbwertszeiten einiger Schwermetalle in Forellenmuskulatur, angegeben in Tagen (Hofer, Lackner 1995, S.31)

Schadstoff	$t_{1/2}$
Cd	45-500
Ni	71
Pb	1
Me-Hg⁺	365-1100

1.3.4 Schadwirkung

(Hofer, Lackner 1995, S.34-50)

Schwermetalle können den Organismus auf viele Arten belasten oder beschädigen, jedoch kann ein spezifisches pathologisches Muster aufgrund der häufig unzureichend verstandenen Schadstoffwirkungen meist nicht einem spezifischen Element oder Schadstoff zugeordnet werden. Erschwerend dazu kommt die Tatsache, dass zwischen verschiedenen Schwermetallen und/oder anderen Schadstoffen Kreuzwirkungen auftreten können, wobei zusätzlich zum additiven Summieren der Effekte sowohl synergistische (die Schadwirkungen der beiden Schadstoffe verstärken sich gegenseitig) als auch antagonistische (die Schadwirkungen der beiden Schadstoffe schwächen sich gegenseitig) Effekte auftreten können. Nichtsdestotrotz weiß man mittlerweile über eine Vielzahl von

Schadstoff-Schadwirkungen Beziehungen Bescheid. So kann z.B. eine Pb-Vergiftung zu einer Deformation der Wirbelsäule führen, was wahrscheinlich durch eine Verdrängung des Ca bei der Knochenbildung verursacht wird. Weitere Beispiele wären die Ausbildung von Nekrosen im Seitenliniensystem durch Hg, Cu und Pb oder die irreversible Hemmung mancher Enzyme durch die Bindung von z.B. Cd-Ionen an Thiolgruppen dieser Enzyme. Bei ausreichend hoher Dosis ist jedes Schwermetall tödlich, die tödliche Dosis kann aber ein Vielfaches der Dosis sein, die eine erste Wirkung zeigt. Tabelle 5 zeigt für einige Schwermetalle und Fischarten die „Lowest observed effect“ Konzentration (LOEC), sowie die LC₅₀ bei 96-stündiger Exposition (Wang et al. 2013).

Tabelle 5: LOEC und 96h LC₅₀ verschiedener Fischarten für verschiedene Elemente, alle Angaben in mg/L

Schwermetall	Spezies	LOEC	96h LC ₅₀
Hg ²⁺	Zebrabärbling	0,056	0,14
	Seltene Elritze	0,020	0,10
	Graskarpfen	0,046	0,23
Cu ²⁺	Zebrabärbling	0,068	0,17
	Seltene Elritze	0,048	0,12
	Graskarpfen	0,072	0,09
Cd ²⁺	Zebrabärbling	2,55	6,50
	Seltene Elritze	2,14	5,36
	Graskarpfen	1,84	18,47
Zn ²⁺	Zebrabärbling	2,21	44,48
	Seltene Elritze	0,63	12,74
	Graskarpfen	3,13	31,37

1.3.5 Der Fisch als Bioindikator (Burkhardt-Holm 2017)

Will man ein Gewässer bezüglich seiner Belastungssituation bewerten, so reicht es oft nicht, nur das Wasser auf Schadstoffe zu untersuchen, da man so nur Momentaufnahmen des Gewässers bekommt. Um einen längerfristigen Einblick in die Situation zu bekommen kann man Bioindikatoren einsetzen. Ein Bioindikator ist ein Organismus, der für eine Veränderung in seiner Umwelt empfindlich genug ist, um diese selektiv aufzudecken. Dabei muss man unterscheiden zwischen Akkumulationsindikatoren und Reaktionsindikatoren. Akkumulationsindikatoren reichern einen Schadstoff in ihrem Körper an und dieser wird dann gemessen. Ein Beispiel dafür wären Miesmuscheln, die an Meeresküsten ausgesetzt werden, um danach ihren Schwermetallgehalt zu bestimmen. Bei Reaktionsindikatoren

hingegen achtet man auf Veränderungen des Aussehens oder des Verhaltens, die durch Schadstoffe hervorgerufen werden, wie z.B. ein durch endokrin aktive Stoffe beeinträchtigtes Reproduktionsverhalten bei Forellen. Setzt man einen Bioindikator nun zur Überwachung der Umwelt ein, so spricht man von Biomonitoring. Dieses kann entweder passiv oder aktiv erfolgen. Passiv bedeutet, dass die Bioindikatoren natürlich im untersuchten Ökosystem vorkommen, aktiv bedeutet, dass die Bioindikatoren im untersuchten Gebiet ausgesetzt werden. Ergänzend zur chemischen Analyse des Schadstoffgehalts kann man zur Bewertung einer Belastungssituation Biomarker einsetzen. Ein Biomarker ist ein Meßparameter, anhand dessen man Veränderungen festhalten kann, die auf die Exposition gegenüber Schadstoffen schließen lassen. Der Biomarker kann sowohl auf molekularer Ebene als auch als körperliche Symptomatik definiert werden. Bei der Suche nach dem richtigen Marker ist abzuwägen, wie spezifisch dieser gegenüber einem Schadstoff sein soll (molekulare Mechanismen sind in der Regel sehr spezifisch, körperliche Symptomatiken nicht) und welche ökologische Relevanz der Marker haben soll. Kurzfristig erhöhte Werte eines Stresshormons werden für das Ökosystem weniger bedeutsam sein, wie stark ausgebildete Tumore im gesamten Körper des untersuchten Organismus. Des Weiteren ist bei der Auswahl noch zu berücksichtigen, wie schnell und wie sensitiv der Marker auf eine Veränderung im Ökosystem reagieren soll.

Die in 1.3 geschilderten Tatsachen, dass Fische viele Schwermetalle aufnehmen und gut speichern können, bzw. diese dann auch teilweise nur sehr langsam ausscheiden (Tabelle 4) machen Fische zu einem sehr guten Bioindikator für Schwermetalle. Zieht man zusätzlich dazu noch Analysedaten von Sedimenten oder anderen Bioindikatoren hinzu, kann man einen sehr guten Eindruck von der Belastungssituation eines Gewässers bekommen.

1.4 Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit war die Charakterisierung des Ökosystems Lafnitz in Bezug auf Wasserparameter und vor allem Schwermetallgehalt von Fisch- und Sedimentproben. Anhand dieser Analysedaten sollten Rückschlüsse auf die Belastungssituation des Ökosystems sowie auf potentielle anthropogene Einflüsse gezogen werden.

2. Methoden und Materialien

2.1 Das Untersuchungsgebiet: Die Lafnitz

Die Lafnitz ist ein 110km langer Grenzfluss zwischen dem Burgenland und der Steiermark, der oberhalb von Lafnitzeck im Gebiet der Gemeinden Vornholz und Wenigzell entspringt (wasserwirtschaft.steiermark.at). Sie besitzt ein Einzugsgebiet von 1994km² und mündet kurz nachdem sie die Feistritz aufnimmt in die Raab, die weiter in Richtung kleiner ungarischer Tiefebene fließt. Abb. 11 zeigt den ungefähren Verlauf der Lafnitz.

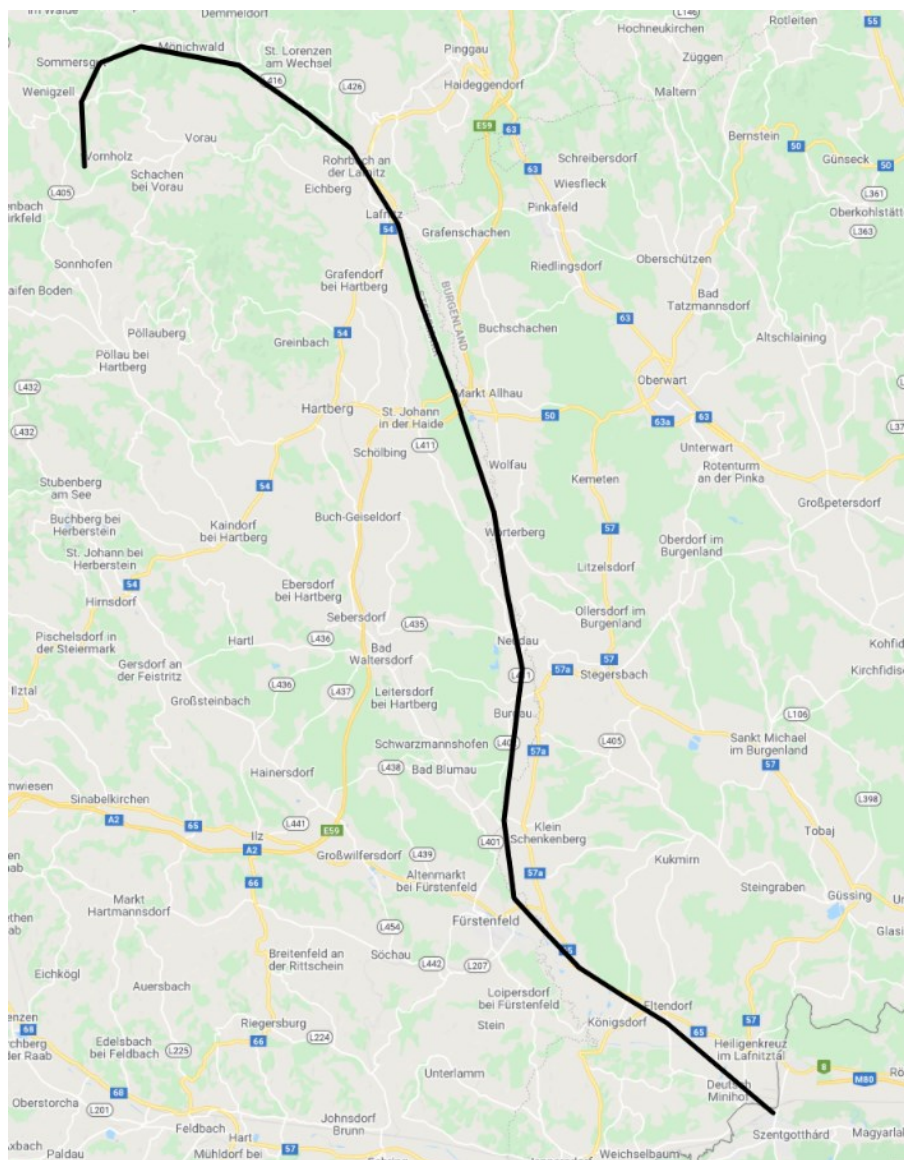


Abbildung 11: Ungefähr nachgezeichneter Verlauf der Lafnitz in Google Maps, in Blau ist der untersuchte Flussabschnitt gekennzeichnet

Sie besitzt ein relativ unberührtes und naturbelassenes Flussbett und durch die natürliche Flusssdynamik unterliegen Sohle, Ufer und Aue ständigen Veränderungen, wodurch sie als Forschungsgegenstand durchaus interessant wird (wasserwirtschaft.steiermark.at).

2.2 Nase, *Chondrostoma nasus*

Die Nase ist ein in Europa weit verbreiteter Süßwasserfisch, der vom Ural bis ins westliche Frankreich vorkommt (Romig, Gerstmeier 1998). Abbildung 12 zeigt ein Exemplar, wobei gesagt werden muss, dass dies keiner der untersuchten Fische ist. Die Nase ernährt sich überwiegend von auf Steinen und anderen harten Unterlagen wachsenden Algen, die sie mit ihrem darauf spezialisierten Unterkiefer, was zugleich ihr markantestes Merkmal ist, abschabt (Romig, Gerstmeier 1998). Üblicherweise werden Nase zwischen 25 und 40cm lang, wobei in Ausnahmefällen auch Längen zwischen 50 und 60cm vorkommen können (Deutscher Angelfischerverband e.V. 2020). Der Körper ist spindelförmig und im Querschnitt dick-oval (Romig, Gerstmeier 1998). Auch wenn die Nase ein sehr großes Verbreitungsgebiet besitzt und vor vielen Jahrzehnten sehr große Bestände aufwies (Deutscher Angelfischerverband e.V. 2020) so ist sie mittlerweile durch verschiedene Einflüsse zu einer gefährdeten Art geworden. In weiten Teilen Deutschlands gilt sie als stark gefährdet (Deutscher Angelfischerverband e.V. 2020) und auch in Österreich wurde sie 1997 als gefährdet eingestuft (Spindler 1997). Dies hat verschiedene Ursachen wie die Verbauung der Flüsse mit Staubauwerken und Wasserkraftanlagen, wodurch die Nase ihre ausgedehnten Wanderungen zu Nahrungshabitaten oder Laichorten nicht unternehmen kann, oder die Verschlammung und Verstopfung des Kiesellückensystems, durch eingetragene Feinsedimente, was verhindern kann, dass die Larven der Nasen schlüpfen (Deutscher Angelfischerverband e.V. 2020 / Romig, Gerstmeier 1998).



Abbildung 12: Beispielhaftes Exemplar der Art *Chondrostoma nasus* (Quelle Wikipedia 1)

2.3 Döbel/Aitel, *Squalius cephalus*

Die Aitel, oder auch Döbel genannt, ist ein in Europa sehr weit verbreiteter Süßwasserfisch, dessen Verbreitungsgebiet sich von Westfrankreich über ganz Mitteleuropa bis nach Russland und Teile von Skandinavien erstreckt (Romig, Gerstmeier 1998). In Abbildung 13 ist ein Exemplar zu sehen, das, wie auch schon bei der Nase, keines der untersuchten Tiere zeigt. Die Aitel wird normalerweise 30-40cm lang, in Ausnahmefällen bis zu 70cm, sie ist gekennzeichnet durch einen großen Kopf, mit einer fast stumpfen Schnauze (Romig, Gerstmeier 1998). Je älter ein Aitel-Exemplar wird, desto mehr wandelt sich seine Ernährung von planktonischem Getier und Anflugsnahrung über kleine Insekten zu kleinen Fischen und anderen Wasserlebewesen (Romig, Gerstmeier 1998). Die Aitel wird nicht als gefährdet eingestuft (Wolfram, Mikschi 2007 / iucnredlist.org / Baer, Blank et al 2014 / Korte 2017) und gilt in Irland möglicherweise als invasive Spezies (Caffrey 2008).



Abbildung 13: Beispielhaftes Exemplar der Art *Squalius cephalus* (Quelle Wikipedia 2)

2.4 Probennahmestellen

Abbildung 14 zeigt die Probennahmestellen, wobei zu beachten ist, dass die Flussrichtung von 15 Richtung 1 geht. Die Wasser- und Sedimentproben wurden von Franz Jirsa, Jakob Windisch und Andreas Gradwohl am 10.05.2021 genommen.

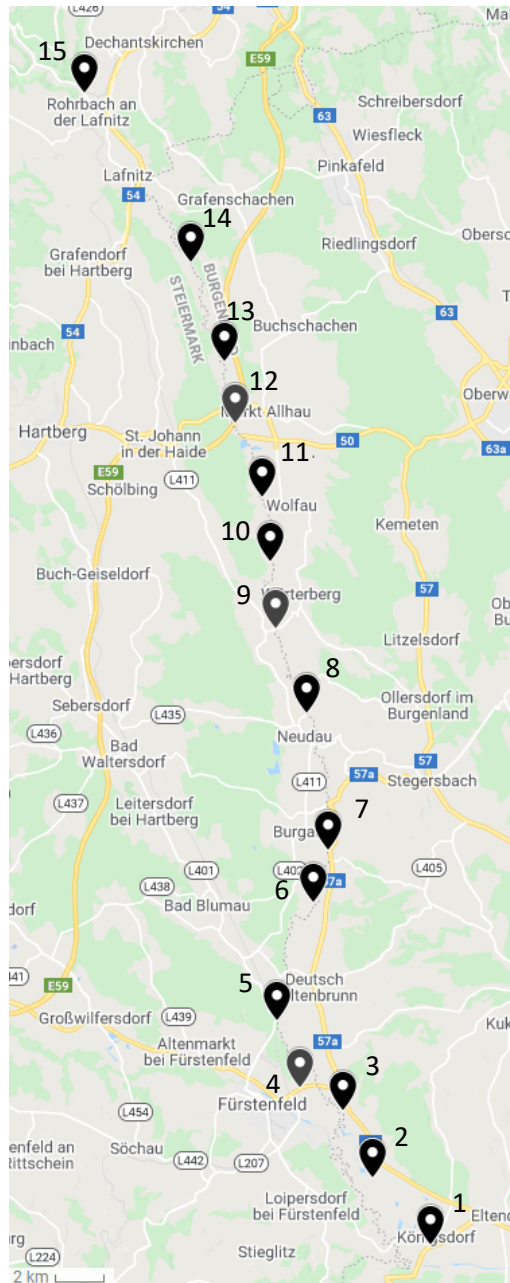


Abbildung 14: Probenahmestellen entlang der Lafnitz, Flussrichtung von 15 zu 1, bearbeitet in Google maps

2.5 Probenvorbereitung

2.5.1 Verwendete Chemikalien und Materialien

Alle verwendeten Chemikalien waren ultrarein und für die Spurenanalytik geeignet (Fisher chemical, Sigma Aldrich). Ist von HNO_3 die Rede, so ist, sofern nicht anders angegeben, konzentrierte HNO_3 gemeint. Als Elementstandards wurden gängige Ein-Elementstandards (Fluka, AVS Titrimorm - TraceCert™) mit einer Konzentration von 1g/L verwendet. Es wurden ausschließlich Kolbenhubpipetten verschiedener Größen zum Pipettieren verwendet. Es wurde ausschließlich mit ungepuderten Nitrilhandschuhen gearbeitet. Die eingesetzten Glasgeräte waren handelsübliche Glasgeräte für den Laborbedarf. Das für die Analysen und Probenvorbereitung verwendete Wasser ist MilliQ-Wasser, was bedeutet, dass es einen spezifischen elektrischen Widerstand von $18\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ besitzt.

2.5.2 Wasser

Die für die Elementanalysen mit HNO_3 angesäuerten Wasserproben wurden von der Arbeitsgruppe zur Verfügung gestellt. Zudem wurden pro Probenahmestelle ca. 1L ungefilterte Probe zur Verfügung gestellt.

2.5.3 Sediment

Die von der Arbeitsgruppe zur Verfügung gestellten, gefriergetrockneten Sedimentproben wurden mit einem Keramikmörser zerkleinert, wobei zwischen jeder Probe der Mörser mit Zellstoff gereinigt wurde, und mit einem Kunststoffsieb ($\varnothing$ 1mm) wurden größere Bestandteile abgetrennt. Von den gesiebten Proben wurden nun ungefähr 0,5g mittels Einwegkunststoffspatel und einer Analysenwaage XS205 Dualrange von *Mettler Toledo* in Teflonröhren eingewogen. Die eingewogenen Proben wurden mit 4,5mL Wasser, 4,5mL HNO_3 und 1mL H_2O_2 versetzt, anschließend wurden sie für 30min stehen gelassen und danach in einen Mikrowellenofen (MarsXpress der Firma CEM) gegeben und aufgeschlossen. Nach dem Aufschluss wurden die Proben in einen 15mL Messkolben überführt, die Teflonröhren mit einigen mL Wasser gewaschen und über Nacht stehen gelassen, damit etwaige Nitrosegase entweichen konnten. Am nächsten Tag wurden die Proben mit Wasser auf 15mL aufgefüllt und anschließend durch einen Spritzenvorsatzfilter (Chromafil xtra PA 45/25) filtriert. Die Teflonröhren wurden nach jedem Aufschluss mit 4,5mL HNO_3 + 4,5mL Wasser im Mikrowellenofen mit einem Reinigungsprogramm gereinigt.

2.5.4 Fisch

Sowohl von Nase und Aitel (Daten zu Größe und Geschlecht im Anhang - Tabelle 24) wurden von Franz Jirsa gefriergetrocknete Gewebeproben von Muskel, Leber und Kieme zur Verfügung gestellt. Von jedem Gewebe waren 10 Proben vorhanden. Von diesen Proben wurden Muskeln und Lebern in einem Keramikmörser zerteilt, wobei für Muskeln und Lebern verschiedene Mörser verwendet wurden. Zwischen jeder Probe wurden die Mörser mit Zellstoff gereinigt. Danach wurden die homogenisierten Proben mittels Einwegkunststoffspateln und einer Analysenwaage (*XS205 Dualrange* von *Mettler Toledo*) in Teflonröhren eingewogen, wobei eine Zieleinwaage von ca. 0,2g angestrebt wurde. Bei einigen Leberproben und den meisten Kiemenproben war weitaus weniger vorhanden, da die untersuchten Fische sehr klein waren. Die eingewogenen Proben wurden mit 4,5mL Wasser, 4,5mL HNO_3 und 1mL H_2O_2 versetzt und in einem Mikrowellenofen (MarsXpress der Firma CEM) aufgeschlossen.

Nach dem Aufschluss wurden die Proben in 15mL Messkolben überführt und die Teflonröhren mit einigen mL Wasser gewaschen. Danach wurden die Proben über Nacht stehen gelassen, um etwaige Nitrosegase entweichen zu lassen. Am nächsten Tag wurde mit Wasser auf 15mL aufgefüllt. Die Teflonröhren wurden nach jedem Aufschluss mit 4,5mL HNO_3 + 4,5mL Wasser zur Reinigung im Mikrowellenofen einem Reinigungsprogramm unterzogen.

2.6 Analysen

2.6.1 Wasser

Die Messergebnisse zu Leitfähigkeit, Temperatur, Totaler Stickstoffgehalt (TN), Totaler organischer Kohlenstoffgehalt (TOC) sowie Chlorid, Nitrit, Sulfat und Nitrat wurden von der Arbeitsgruppe zur Verfügung gestellt. Leitfähigkeit und Temperatur wurden mit einem portablen Messgerät (*556MPS* von *YSI*) bestimmt. Zur TN und TOC Bestimmung wurden ein TOC-Analyser (*TOC-V cPH*) von der Firma Shimadzu verwendet. Die Anionen wurden mittels Ionenchromatographie (*930 Compact IC Flex* von *Metrohm*) bestimmt.

2.6.2 Säurebindungsvermögen - SBV

Zur Bestimmung des SBV wurden 50mL filtrierte (45µm Celluloseacetat-Filter), nicht angesäuerte Probe in ein Becherglas gegeben und mit einem Rührkern auf einen Magnetrührer gestellt. Bei moderatem Rühren wurde nun 0,1M HCl in Schritten von 0,1mL zugegeben und nach jeder Zugabe der

pH mittels pH-meter (Prolab 2000, Schott Instruments) bestimmt. Es wurde so lange Säure zugegeben, bis der pH der Probe bei ca. 3 lag. Zur Bestimmung des SBV wurde die GRAN-Methode verwendet, als Programm diente Microsoft-Excel.

2.6.3 Flammen-Atomabsorptionsspektroskopie – Flammen-AAS

Um die Elemente Mg und Na zu bestimmen, wurde ein Flammenspektrometer (*AAnalyst 200* von *Perkin Elmer*, vgl. Abb. 15) verwendet. Zur Kalibrierung wurden elementspezifische Verdünnungsreihen erstellt, die in Tabelle 6 ersichtlich sind. Diese wurden mittels 1:1 Verdünnung aus 10mg/L Standards hergestellt.



Abbildung 15: Das verwendete Flammen-AAS Gerät, AAnalyst 200

Tabelle 6: Verdünnungsreihen für die Flammen-AAS Messungen

Element	Verdünnung (mg/L)			
Mg	0,5	0,25	0,125	0,0625
Na	2	1	0,5	0,25

Als Blank wurde 2% HNO_3 verwendet, nach jeder Analyse wurde kurz mit der Blanklösung gespült. Gemessen wurde mit einer Wellenlänge von 589,0nm für Na und 285,2nm für Mg.

2.6.4 Total-Reflexions Röntgen-Fluoreszenz Spektroskopie - TXRF

Für die TXRF wurden zuerst Quarzglasplättchen gereinigt. Dazu wurden die Plättchen zuerst mit Aceton und speziellen Reinigungstüchern sorgfältig abgewischt. Anschließend wurden die Plättchen auf einen Teflonprobenhalter gegeben und in ein Becherglas gestellt, das mit RBS-X-Lösung so weit angefüllt wurde, dass die Plättchen gut bedeckt waren. Danach wurde das Becherglas für 20min bis kurz vor den

Siedepunkt erhitzt. Anschließend wurden die Plättchen mit Wasser gewaschen und erneut in das Becherglas gestellt, wo sie mit 10% HNO₃ bedeckt wurden. Diesmal wurde für 2h bis knapp unter den Siedepunkt erhitzt. Danach wurden die Plättchen erneut mit Wasser gewaschen und in den Trockenschrank gestellt, bis sie trocken waren. Auf die gereinigten Plättchen wurde nun mittels Platzierhilfe 10uL Silikonlösung (SVA) mittig aufgetragen, danach wurden die Plättchen für 20min unter eine Infrarotlampe gelegt, um sie zu trocknen. Die silikonisierten Plättchen wurden in das TXRF Gerät (S2 Picofox von Bruker, siehe Abb. 16) gegeben und analysiert, um den Erfolg der Reinigung zu überprüfen. Konnten keine Verunreinigungen festgestellt werden, waren die Plättchen zur Probenanalyse bereit.



Abbildung 16: Das verwendete TXRF-Gerät, S2 Picofox von Bruker

Für die Probenanalyse wurden 0,5mL Probe, 0,5mL 5mg/L Pt-Standard und 0,1mL einer Polyvinylalkohol-Lösung (0,3g/L PVA) in ein 1,5mL Eppendorfgefäß pipettiert und mit einem Vortexmischer gemischt. Die PVA-Lösung stellt eine homogene Auftragung auf das Quarzplättchen sicher, der Pt-Standard ist als interner Standard der Bezugspunkt für die Analyse. Die Auftragung der Proben erfolgte wieder mittig auf die Plättchen mithilfe der Platzierhilfe. Nach der Auftragung wurden die Plättchen für 1h unter eine Infrarotlampe zum Trocknen gelegt. Anschließend waren sie bereit für die Analyse. Bei der Analyse wurde ein mit As beladenes Plättchen für die Gain-Correction eingesetzt. Die Nachweisgrenze der Methode liegt bei 0,05mg/L.

2.6.5 Ammonium – NH₄⁺

Für die Ammonium Analyse wurde der Ammonium-Test von Spectroquant verwendet. Dieser basiert darauf, dass das im Wasser gelöste Ammonium in einem farbigen Komplex gebunden wird und dieser

mittels Fotometer gemessen wird. Das Verfahren ist analog zu ISO 7150-1. Für die Messung wurden 50mm Quarzglas-Küvetten verwendet, was einen Messbereich von 0,013-0,644mg/L für NH_4^+ erlaubt. Die Küvette wurde nach jeder Messung mit Wasser gewaschen. Zur Durchführung der Messung wurden 10mL filtrierte Probe in ein 15mL Falcon-tube gegeben und mit 1,2mL Test-Reagenz NH_4 -1 versetzt und geschüttelt. Dann wurden zwei gestrichene Mikrolöffel, der am Deckel der Flasche von Test-Reagenz NH_4 -2 befestigt war, Test-Reagenz NH_4 -2 zugegeben und 5min gewartet. Anschließend wurden 8 Tropfen Test-Reagenz NH_4 -3 zugegeben und geschüttelt. Nach weiteren 5min wurde die Quarzküvette mit der vorbereiteten Probe gefüllt und analysiert. Dazu wurde die Küvette in das Fotometer gestellt, welches eine für NH_4^+ Analysen geeignete Lampe enthält. Das verwendete Fotometer war ein *Spectroquant Nova 60A*.

2.6.6 Totale gelöste Feststoffe - TDS

Zur Bestimmung der TDS wurden Bechergläser gewogen (Kern AEJ 200-4CM Analysenwaage) und mit 150mL filtrierter, nicht angesauerter Probe befüllt. Anschließend wurden die Bechergläser für 48h in den Trockenschrank bei 70°C gestellt. Die getrockneten Bechergläser wurden gewogen und über die Differenz der Einwaagen die TDS bestimmt.

2.7 Sediment

2.7.1 Verbrennungsverlust (LOI)

Für die Bestimmung des organischen Anteils wurden ca. 1g der gesiebten Proben in vorher gewogene Keramiktiegel mit Kunststoffeinwegspateln eingewogen (Kern AEJ 200-4CM Analysenwaage). Anschließend wurden die Tiegel mit den Proben für 2h bei 550°C in einen Muffelofen gestellt und dieser danach abgeschaltet und zum Abkühlen für 24h in Ruhe gelassen. Die abgekühlten Proben wurden erneut gewogen und die Differenz der Massen der ungeglühten Proben+Tiegel und der geglühten Proben+Tiegel gebildet. Anschließend wurde der so berechnete Massenverlust auf w% umgerechnet, um den relativen LOI-Wert zu erhalten.

2.7.2 Kaltdampf Atomabsorptionsspektroskopie – CV-AAS

Das gelöste Hg^{2+} besitzt die Tendenz sich an den Gefäßwänden abzulagern. Um dem zuvorzukommen, wurden die Quecksilberanalysen immer am Tag nach den Aufschlüssen gemacht. Für die Quecksilber-

Analyse wurde ein *FIMS 400 Mercury Analysis System* von *Perkin Elmer* (Abb. 17) verwendet. Dabei handelt es sich um ein Fließinjektionssystem mit gekoppeltem Kaltdampf-Atomabsorptionsspektrometer. Zur Analyse musste eine Kalibriergerade erstellt werden. Dafür wurden fünf verschiedene Konzentrationen hergestellt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Verdünnungsreihe für die Hg-Messungen

Verdünnung (µg/L)				
1	2	5	7	10



Abbildung 17: Das verwendete CV-AAS Gerät, *FIMS 400 Mercury Analysis System*

Bei der Herstellung der Verdünnungen wurde eine 100 µg/L Stammlösung hergestellt, diese wurde mit etwas Kaliumpermanganat-Lösung (einige KMnO_4 Kristalle in 10mL Wasser) versetzt, um die Lösungen zu stabilisieren. Aus dieser wurde dann die 10 µg/L Verdünnung erstellt und aus dieser wiederum die restlichen Verdünnungen. Als Blank wurde 2% HNO_3 verwendet. Zur Messung selbst wurde 3% HCl als Trägermittel und eine Reduktionslösung (1,02g NaBH_4 + 0,5mL 50w% NaOH mit Wasser auf 0,5L aufgefüllt), die die gelösten Hg-Ionen zum flüchtigen, elementaren Hg reduzierte, welches mit dem Kaltdampf-Absorptionsspektrometer gemessen werden konnte. Der Korrelationskoeffizient lag idealerweise bei $>0,9995$, falls dies nicht der Fall war, wurden einzelne, schlecht passende Kalibrierwerte entfernt, um den Koeffizienten zu erhöhen. Gemessen wurde bei einer Wellenlänge von 253,7nm, die Nachweisgrenze (LOD) betrug 0,1 µg/L.

2.7.3 TXRF

Die TXRF-Analysen wurden für die Sediment-Proben analog zu den Wasser-Proben durchgeführt.

2.7.4 Graphitrohr Atomabsorptionsspektroskopie - GF-AAS

Für die Graphitrohr-Atomabsorptionsspektroskopie-Messungen wurde für jedes Element eine eigene Lampe und eine eigene Kalibrierung verwendet. Das verwendete Gerät war ein *PinAAcle 900Z* von *Perkin Elmer* (Abb. 18). Für die Kalibrierung wurden je Element zwei Konzentrationen hergestellt, aus denen sich das Gerät jeweils eine weitere 1:1 Verdünnung herstellte. Tabelle 8 zeigt die verwendeten Parameter und Kalibrierkonzentrationen bei den Messungen.

Tabelle 8: Messparameter für die GF-AAS Messungen von Sediment und Fischproben

Element	Verdünnungsreihe (µg/L)	Lampe	Wellenlänge (nm)	LOD (µg/L)
Ag	10/5/1/0,5	HKL	328,1	0,03
Cd	5/2,5/1/0,5	EDL	228,8	0,07



Abbildung 18: Das verwendete PinAAcle 900Z

Bei der Kalibrierung wurde darauf geachtet, dass der Korrelationskoeffizient $>0,9995$ war. Des Weiteren wurde jeweils nach 10 Proben einmal eine Standardlösung gemessen, um etwaige gerätbedingte Änderungen der Absorbance zu korrigieren. Wichtig dabei war, dass immer dieselbe Standardlösung gemessen wurde. Als Blank wurde 2% HNO_3 verwendet. Für die Messung wurden 0,7mL Probenlösung in 1mL Probenbehälter aus Kunststoff pipettiert und in den Autosampler gestellt.

2.8 Fisch

2.8.1 CV-AAS

Die Hg-Analyse der Fischproben wurde analog zu der Hg-Analyse der Sedimentproben durchgeführt.

2.8.2 TXRF

Die TXRF-Analysen der Fischproben wurden analog zu den Analysen der Wasserproben durchgeführt.

2.8.3 GF-AAS

Die GF-AAS Messung für die Fischproben erfolgte analog zu den Sedimentproben, beziehungsweise wurden andere Parameter für andere Elemente verwendet (Tabelle 9).

Tabelle 9: Messparameter für die GF-AAS Messungen der Fischproben

Element	Verdünnungsreihe (µg/L)	Lampe	Wellenlänge (nm)	LOD (µg/L)
Cu	50/25/10/5	HKL	324,8	0,2
Pb	50/25/10/5	HKL	283,3	0,1
Ni	50/25/10/5	HKL-Multielement	232,0	0,8
As	100/50/20/10	EDL	193,7	0,4
Cr	10/5/0,5/0,25	HKL	357,9	0,1

Bei der As-Messung wurde ein Modifier eingesetzt, der die Flüchtigkeit des Analyten verringert, sowie die Flüchtigkeit der Matrix erhöht, um so ein besseres Signal zu bekommen. Der eingesetzte Modifier war eine Pd/Mg(NO₃)₂ Lösung, wobei Pd in einer Konzentration von 1g/L vorliegt und Mg in einer Konzentration von 0,6g/L. Als Lösungsmittel wurde Wasser verwendet.

2.9 Berechnung des Biokonzentrationsfaktors (BCF)

Der Biokonzentrationsfaktor wurde sowohl für die untersuchten Gewebearten der beiden Fischarten in Bezug auf das Sediment nach folgender Formel berechnet (Jirsa et al 2019):

$$BCF = \frac{\text{Fischgewebe} \left(\frac{mg}{kg} dw \right)}{\text{Sediment} \left(\frac{mg}{kg} dw \right)}$$

2.10 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurde die t-Testfunktion in Microsoft-Excel verwendet, wobei bei gleicher Varianz (Unterschied der Varianzen < Faktor 10) der Test für gleiche Varianzen gewählt wurde, bei ungleichen Varianzen der Test für ungleiche Varianzen. Als Signifikanzniveau wurde $P < 0,05$ gewählt und das Ergebnis des einseitigen Tests zur Auswertung herangezogen.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Wasser und Sediment Proben wurden mit zwei Bachelorarbeiten verglichen. Immer wenn unter Wasser von „Lorenz“ die Rede ist, dann wird folgende Bachelorarbeit referenziert: Lorenz (2020) *Die physikalisch-chemische Charakterisierung der Lafnitz*. Die Sedimentproben beziehen sich auf Kohlert (2020) *Metalle in Sedimenten des Lafnitz – Flusses*.

3.1 Wasser

3.1.1 pH

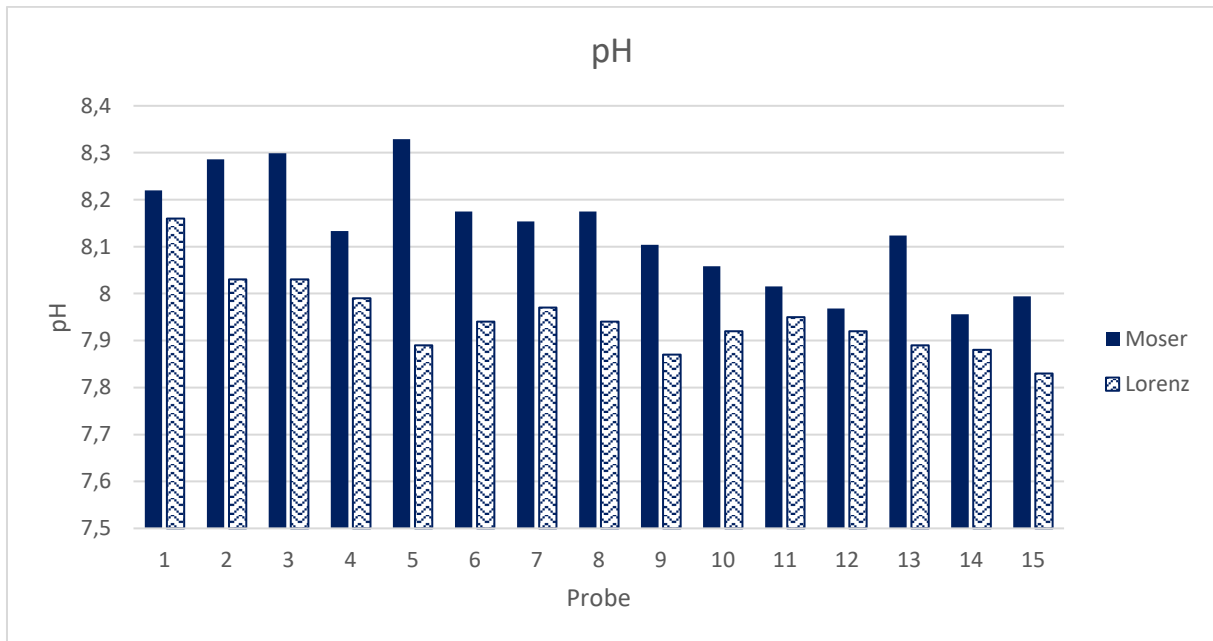


Abbildung 19: Vergleich der gemessenen pH-Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Der pH-Wert (Abb. 19) war für die Probenreihe „Moser“ höher als für die Probenreihe „Lorenz“. Bei beiden Probereihen war ein leichter, ansteigender Gradient in Flussrichtung zu beobachten. Der Maximalwert für „Moser“ lag bei 8,329 (Probe 5) und der Minimalwert lag bei 7,994 (Probe 15). Der Maximalwert für „Lorenz“ lag bei 8,16 (Probe 1) und der Minimalwert lag bei 7,83 (Probe 15). Der Durchschnitt für „Moser“ lag bei $8,133 \pm 0,115$ und für „Lorenz“ bei $7,947 \pm 0,079$.

3.1.2 Totaler Stickstoffgehalt – TN

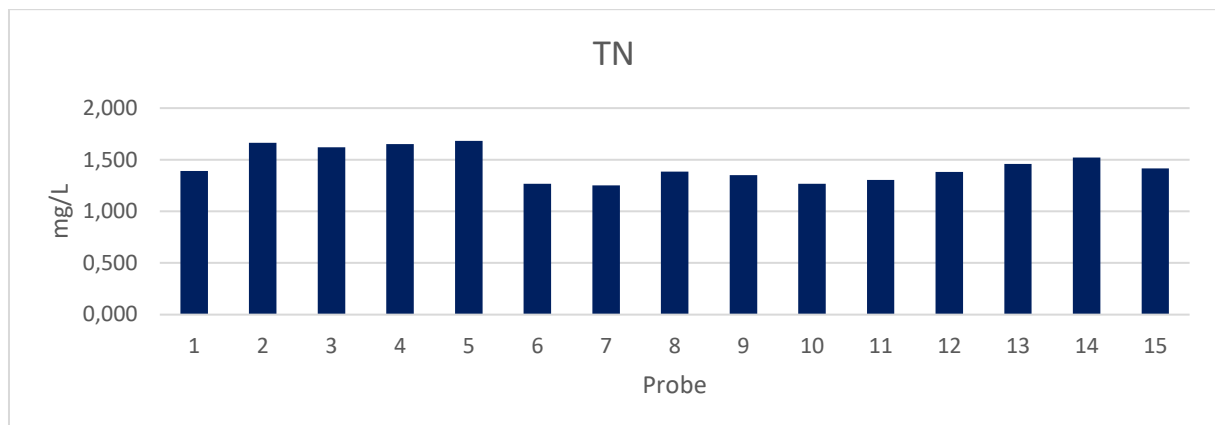


Abbildung 20: Darstellung der gemessenen TN-Werte als Balkendiagramm

Der totale N-Gehalt (Abb. 20) wies einen leichten, absteigenden Gradienten in Flussrichtung bis Probe 6 auf, ab Probe 5 war ein sprunghafter Anstieg zu verzeichnen, der erst bei Probe 1 wieder zurückging. Der Minimalwert betrug 1,251mg/L (Probe 7) und der Maximalwert betrug 1,684mg/L (Probe 5). Der Durchschnitt betrug $1,441 \pm 0,148$ mg/L.

3.1.3 Gelöster organischer Kohlenstoff – DOC

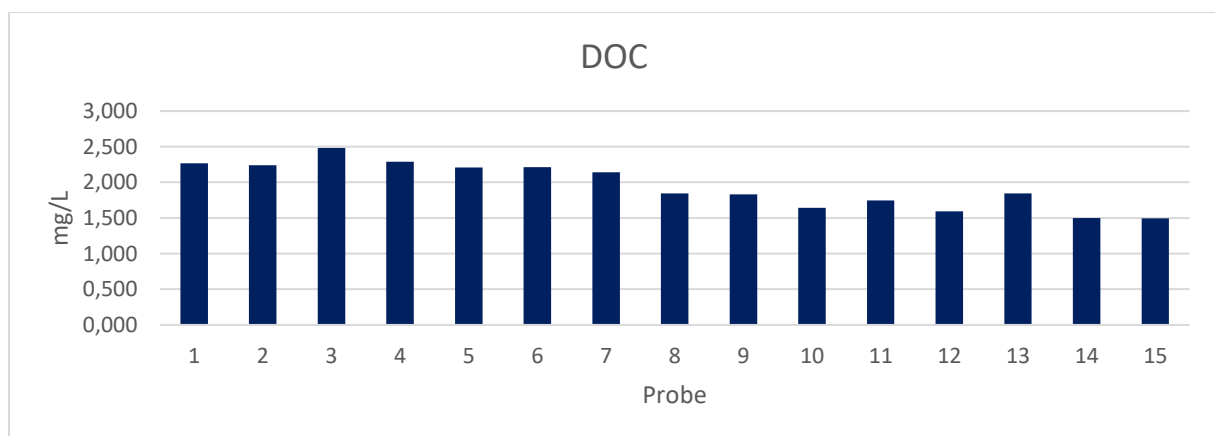


Abbildung 21: Darstellung der gemessenen TOC-Werte als Balkendiagramm

Die TOC-Konzentration (Abb. 21) wies einen ansteigenden Gradienten in Flussrichtung auf. Der Minimalwert betrug 1,495mg/L (Probe 15) und der Maximalwert betrug 2,485mg/L (Probe 3). Der Durchschnitt betrug $1,956 \pm 0,312$ mg/L.

3.1.4 Temperatur

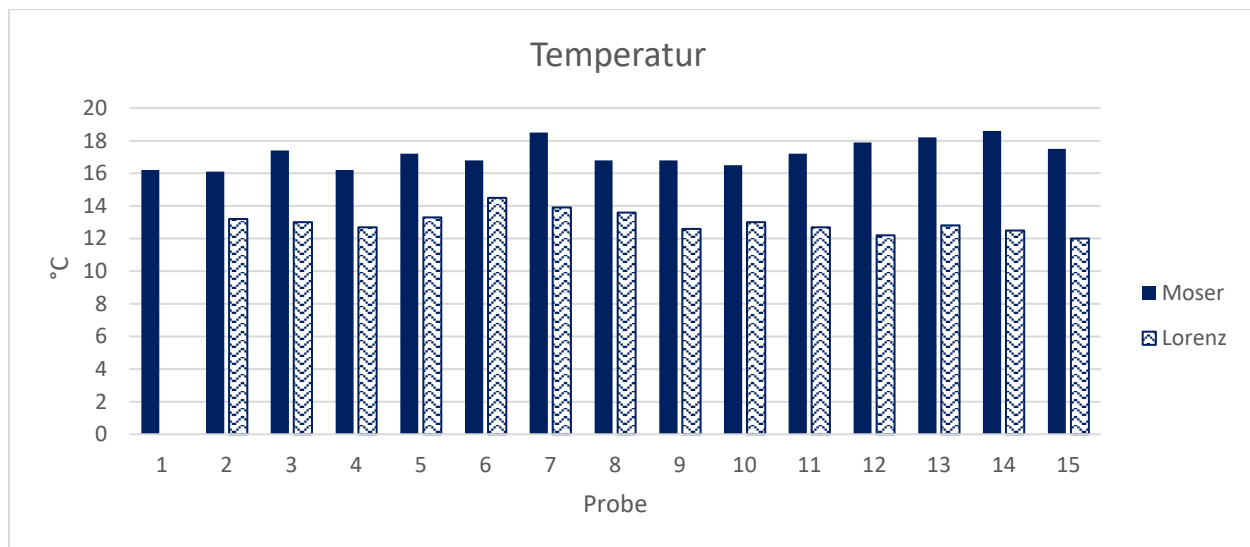


Abbildung 22: Vergleich der gemessenen Temperaturwerte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Die Temperatur (Abb. 22) von der Probenreihe „Moser“ war bei allen Proben um einige °C höher als bei der Probenreihe „Lorenz“. Die Minimaltemperatur für „Moser“ lag bei 16,1°C (Probe 2), die Maximaltemperatur bei 18,6°C (Probe 14). Die Minimaltemperatur für „Lorenz“ lag bei 12,0°C (Probe 15), die Maximaltemperatur lag bei 14,5°C (Probe 6). Die Durchschnittstemperatur lag für „Moser“ bei $17,2 \pm 0,8^\circ\text{C}$, die Durchschnittstemperatur lag für „Lorenz“ bei $13,0 \pm 0,6^\circ\text{C}$. Es lag in beiden Probereihen kein nennenswerter Temperaturgradient vor.

3.1.5 Leitfähigkeit

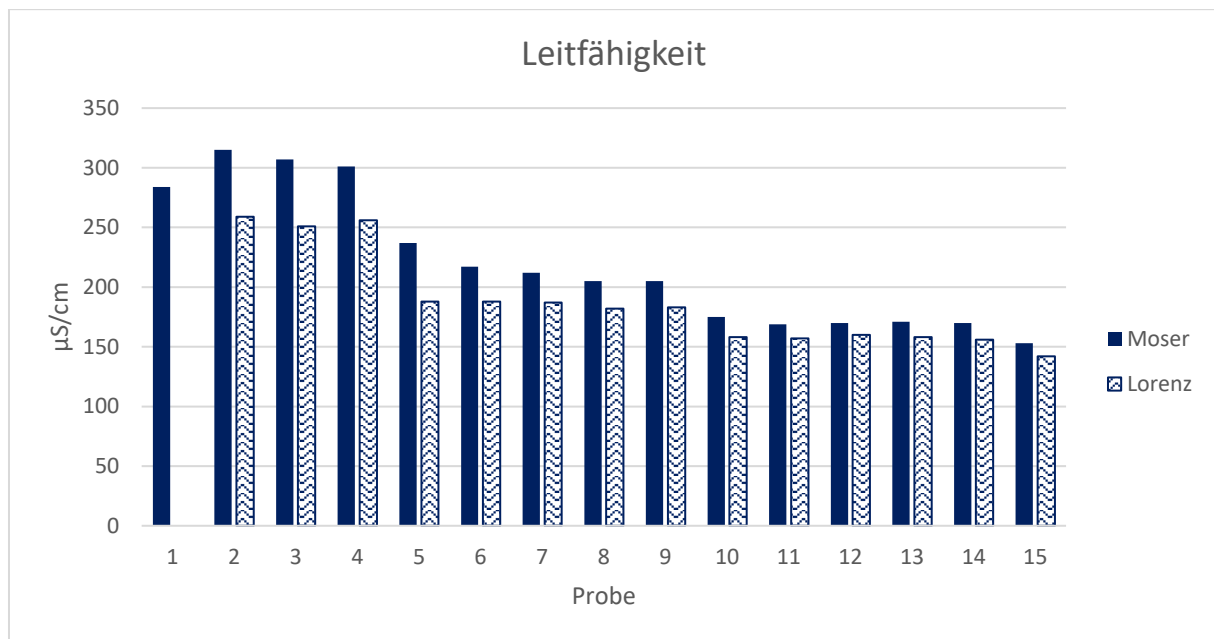


Abbildung 23: Vergleich der gemessenen Leitfähigkeitswerte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Die Leitfähigkeit (Abb. 23) ist für beide Probenreihen bei Probe 15 annähernd gleich und nimmt in Flussrichtung langsam zu, bis bei Probe 5 ein starker Anstieg beider Leitfähigkeiten zu beobachten ist, wobei die Leitfähigkeit von Probenreihe „Moser“ weitaus stärker ansteigt. Der Minimalwert für Probenreihe „Moser“ lag bei 153uS/cm (Probe 15) und der Maximalwert lag bei 315uS/cm (Probe 2). Der Minimalwert für Probenreihe „Lorenz“ lag bei 142uS/cm (Probe 15) und der Maximalwert lag bei 259uS/cm (Probe 2). Der Durchschnitt für „Moser“ lag bei $219,4 \pm 54,5$ uS/cm, der Durchschnitt für „Lorenz“ lag bei $187,5 \pm 38,2$ uS/cm.

3.1.6 Totale gelöste Feststoffe - TDS

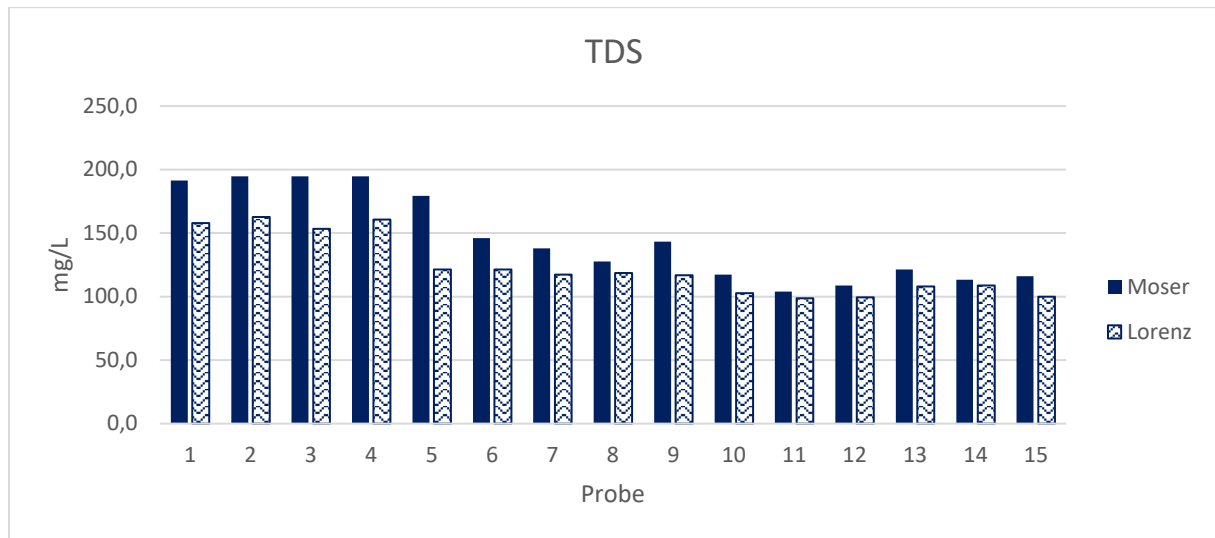


Abbildung 24: Vergleich der gemessenen TDS-Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Der TDS-Wert (Abb. 24) war für beide Probenreihen bei Probe 15 ähnlich und nahm für beide Probenreihen in Flussrichtung langsam schwankend zu, bis bei Probe 5 (Moser) bzw. 4 (Lorenz) ein starker Anstieg zu beobachten war. Der Minimalwert für „Moser“ lag bei 104,0mg/L (Probe 11) und der Maximalwert bei 194,7mg/L (Proben 2/3/4). Der Minimalwert für „Lorenz“ lag bei 98,7mg/L (Probe 11) und der Maximalwert bei 162,7mg/L (Probe 2). Der Durchschnitt für „Moser“ betrug $146,0 \pm 33,9$ mg/L, der Durchschnitt für „Lorenz“ betrug $123,2 \pm 22,7$ mg/L.

3.1.7 Säurebindungsvermögen – SBV

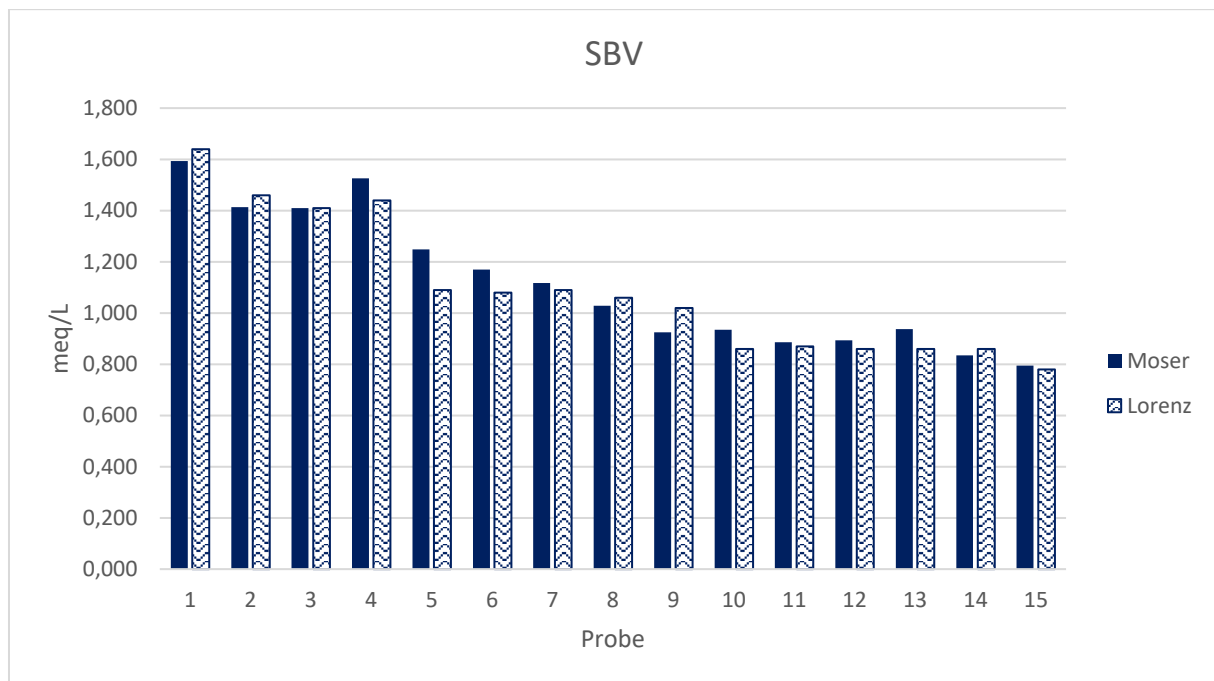


Abbildung 25: Vergleich der gemessenen SBV-Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Das Säurebindungsvermögen (Abb. 25) war für beide Probenreihen über alle Proben annähernd gleich. Von Probe 15 an war ein kontinuierlicher Anstieg in Flussrichtung zu beobachten. Der Minimalwert für „Moser“ lag bei 0,79meq/L (Probe 15) und der Maximalwert lag bei 1,59meq/L (Probe 1). Der Minimalwert für „Lorenz“ lag bei 0,78meq/L (Probe 15) und der Maximalwert lag bei 1,64meq/L (Probe 1). Der Durchschnitt für „Moser“ lag bei $1,11 \pm 0,26$ meq/L und für „Lorenz“ bei $1,09 \pm 0,26$ meq/L.

3.1.8 Magnesium – Mg^{2+}

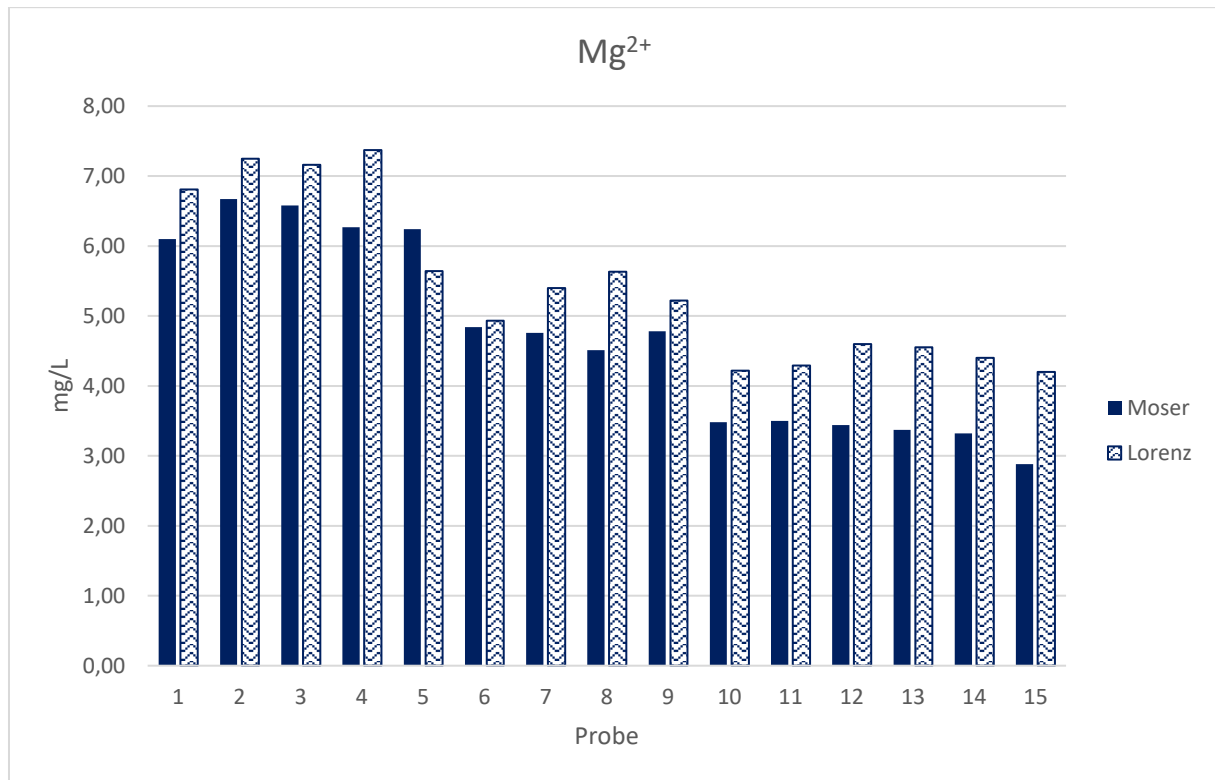


Abbildung 26: Vergleich der gemessenen Mg-Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Die Mg-Konzentration (Abb. 26) von Probenreihe „Lorenz“ war durchwegs höher als die von Probenreihe „Moser“. Beide Probenreihen wiesen einen ansteigenden Konzentrationsgradienten in Flussrichtung auf, wobei dieser nicht kontinuierlich, sondern sprunghaft ist (10-9 sowie 6-5 für „Moser“ und 5-4 für „Lorenz“). Der Minimalwert für „Moser“ lag bei 2,88mg/L (Probe 15) und der Maximalwert lag bei 6,67mg/L (Probe 2). Der Minimalwert für „Lorenz“ lag bei 4,20mg/L (Probe 15) und der Maximalwert lag bei 7,37mg/L (Probe 4). Der Durchschnitt für „Moser“ lag bei $4,72 \pm 1,31$ mg/L und für „Lorenz“ bei $5,44 \pm 1,13$ mg/L.

3.1.9 Natrium – Na⁺

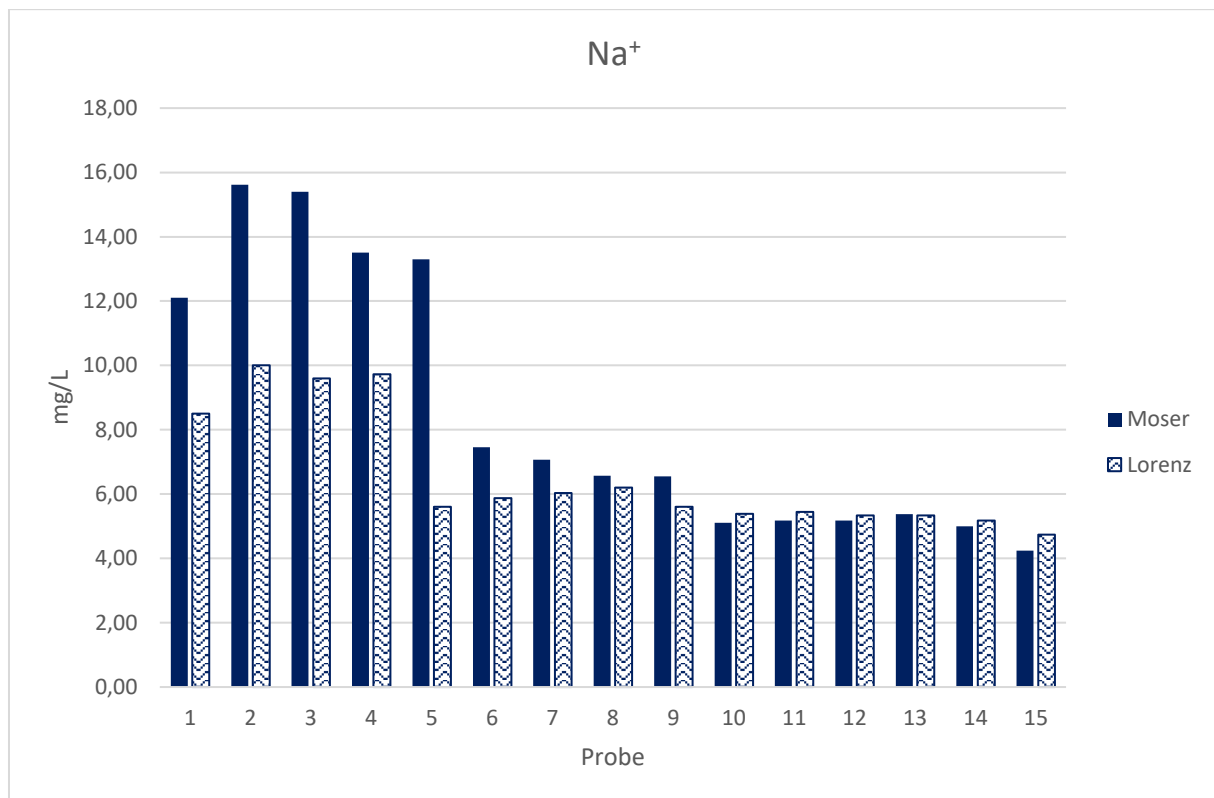


Abbildung 27: Vergleich der gemessenen Na-Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Die Na-Konzentration (Abb. 27) war bei Probe 15 für beide Probenreihen annähernd gleich. Bis Probe 9 blieben die Konzentrationen annähernd konstant, ab Probe 9 nahmen die Konzentrationen vor allem für „Moser“ zu. Bei Probe 5 (Moser) bzw. Probe 4 (Lorenz) war ein sehr starker Anstieg der Konzentration zu beobachten. Der Minimalwert für „Moser“ lag bei 4,24mg/L (Probe 15) und der Maximalwert bei 15,62mg/L (Probe 2). Der Minimalwert für „Lorenz“ lag bei 4,74mg/L (Probe 15) und der Maximalwert lag bei 10,00mg/L (Probe 2). Der Durchschnitt für „Moser“ lag bei $8,51 \pm 4,03$ mg/L und der Durchschnitt für „Lorenz“ lag bei $6,57 \pm 1,80$ mg/L.

3.1.10 Kalium – K⁺

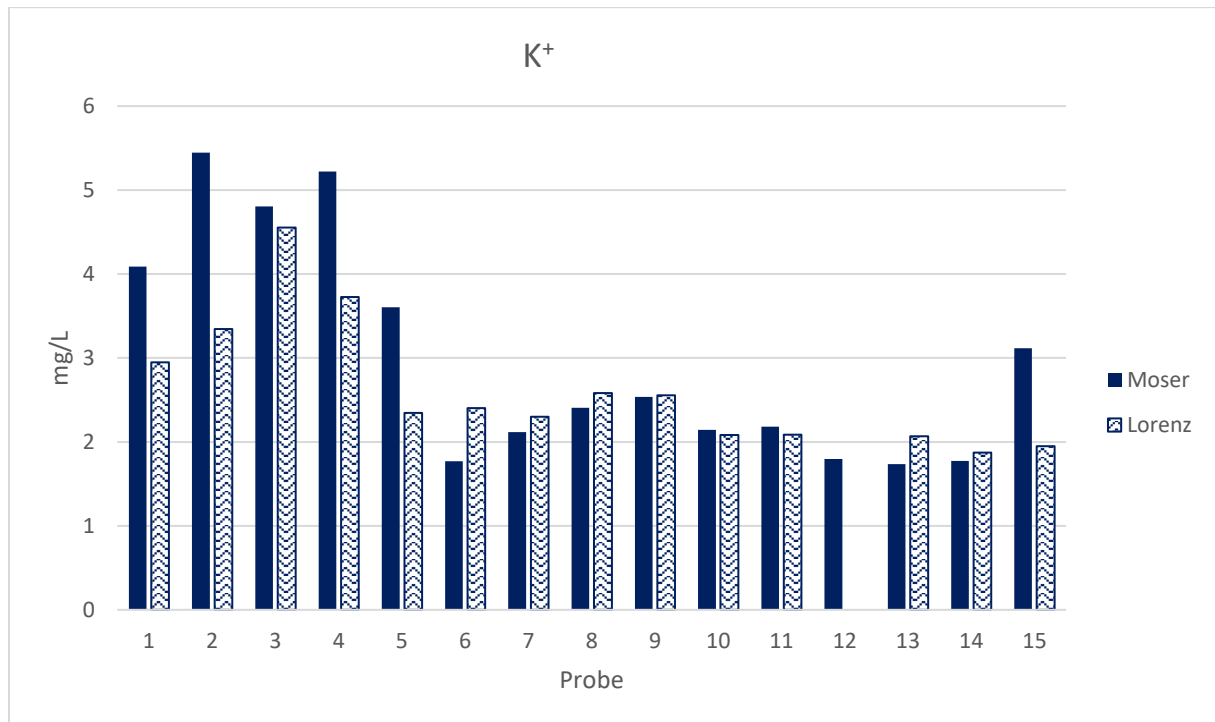


Abbildung 28: Vergleich der gemessenen K-Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Die K-Konzentration (Abb. 28) war für beide Probenreihen weitgehend ähnlich. Bei den Proben 5 (Moser) bzw. 4 (Lorenz) war ein starker Anstieg der Konzentration zu beobachten. Der Minimalwert für „Moser“ lag bei 1,74mg/L (Probe 14) und der Maximalwert lag bei 5,45mg/L (Probe 2). Der Minimalwert für „Lorenz“ lag bei 1,87mg/L (Probe 14) und der Maximalwert lag bei 4,55mg/L (Probe 3). Der Durchschnitt für „Moser“ lag bei $2,98 \pm 1,28$ mg/L und für „Lorenz“ bei $2,63 \pm 0,74$ mg/L.

3.1.11 Calcium – Ca^{2+}

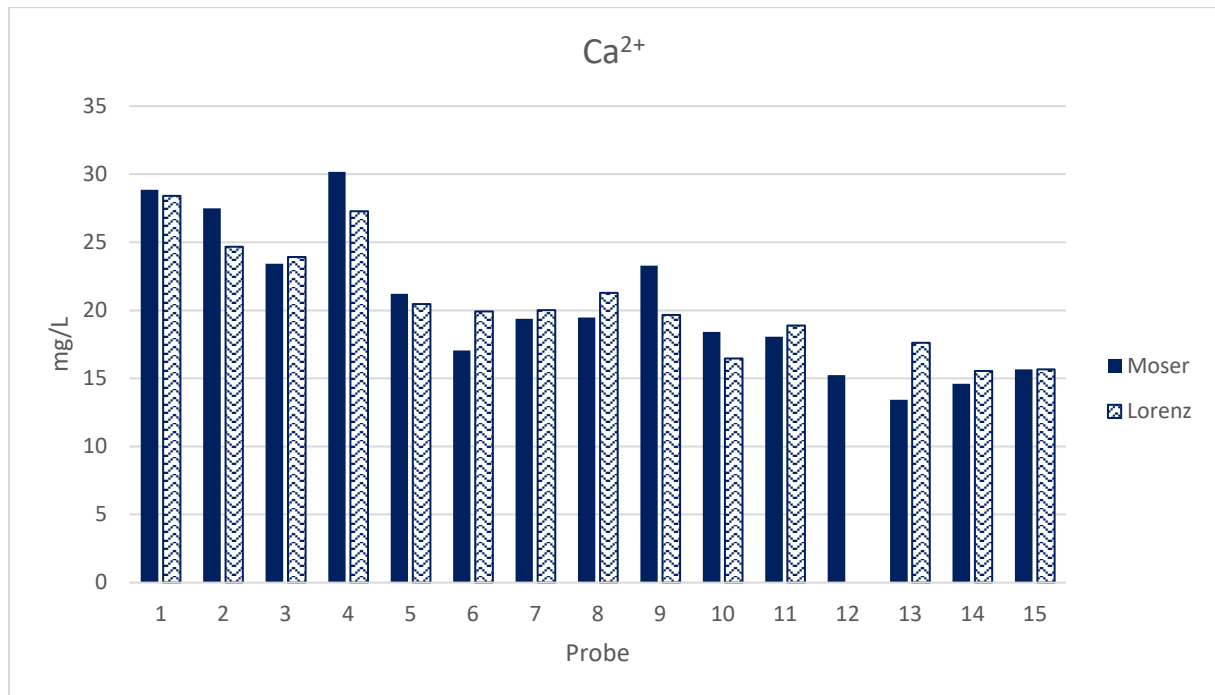


Abbildung 29: Vergleich der gemessenen Ca-Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Die Ca-Konzentration (Abb. 29) war für alle Proben annähernd gleich. Es wurde ein schwankend ansteigender Konzentrationsgradient in Flussrichtung beobachtet. Der Minimalwert für „Moser“ lag bei 13,42mg/L (Probe 13) und der Maximalwert lag bei 30,18mg/L (Probe 4). Der Minimalwert für „Lorenz“ lag bei 15,54mg/L (Probe 14) und der Maximalwert lag bei 28,4mg/L (Probe 1). Der Durchschnitt für „Moser“ lag bei $20,68 \pm 5,10$ mg/L und für „Lorenz“ bei $20,70 \pm 3,91$ mg/L.

3.1.12 Eisen – Fe^{x+}

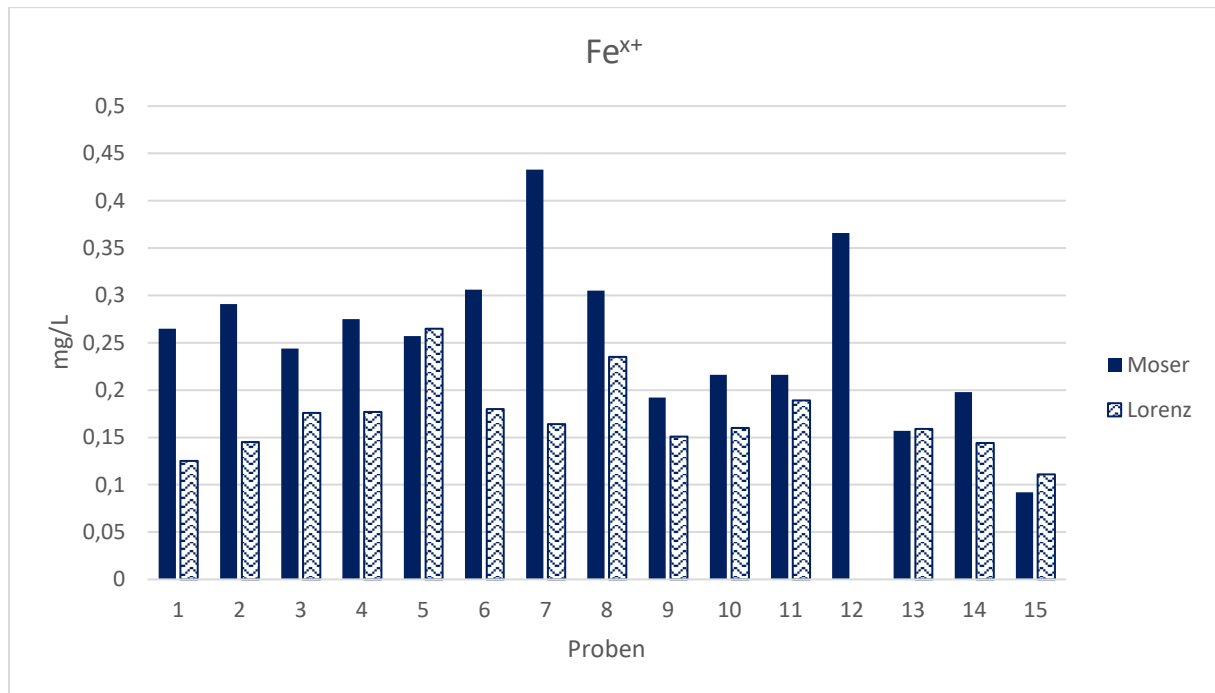


Abbildung 30: Vergleich der gemessenen Fe-Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Der Fe-Gehalt (Abb. 30) war für Probenreihe „Moser“ mit Ausnahme der Proben 5/13/15 höher als für Probenreihe „Lorenz“. Es lag kein Konzentrationsgradient vor. Der Minimalwert für „Moser“ betrug 0,092mg/L (Probe 15) und der Maximalwert betrug 0,433mg/L (Probe 7). Der Minimalwert für „Lorenz“ betrug 0,111mg/L (Probe 15) und der Maximalwert betrug 0,265mg/L (Probe 5). Der Durchschnitt für „Moser“ betrug $0,254 \pm 0,081$ mg/L und für „Lorenz“ $0,170 \pm 0,039$ mg/L.

3.1.13 Strontium – Sr^{2+}

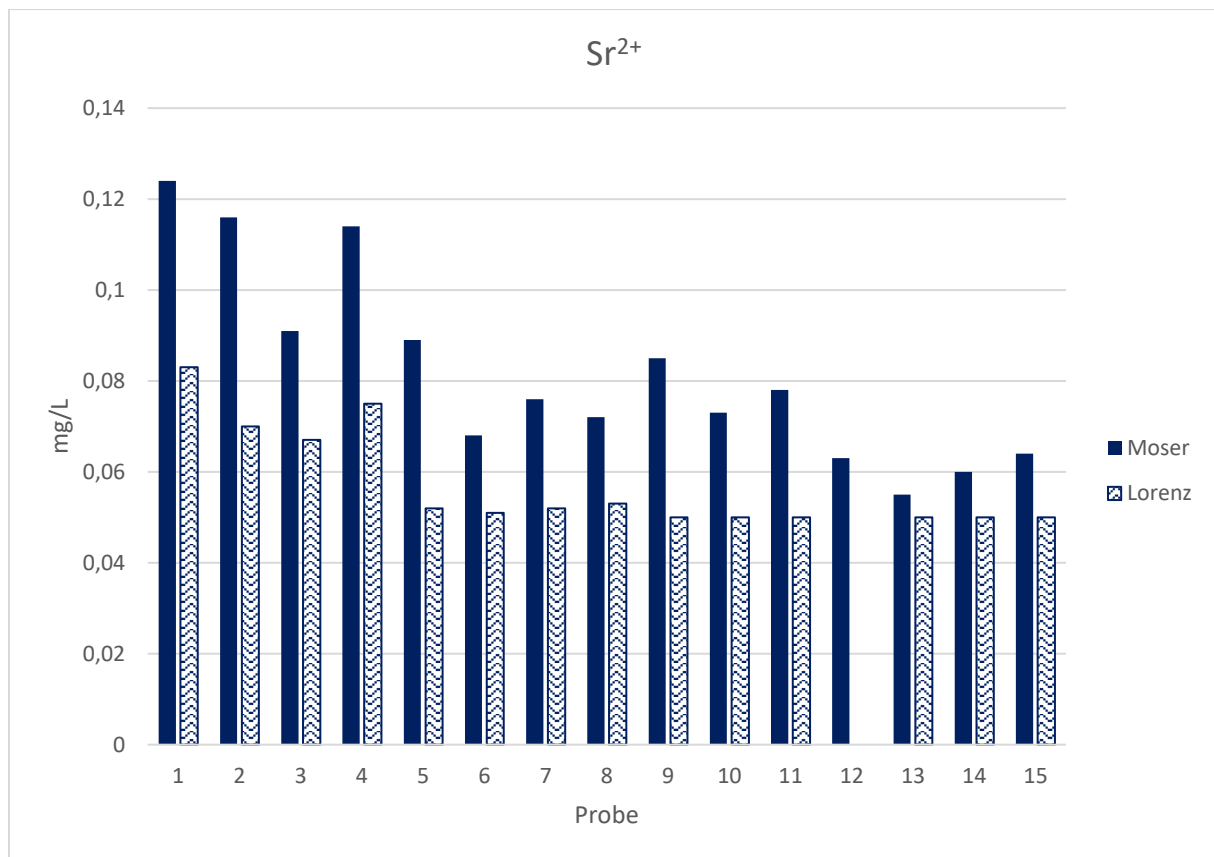


Abbildung 31: Vergleich der gemessenen Sr-Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Der Sr^{2+} -Gehalt (Abb. 31) war für Probenreihe „Moser“ höher als für Probenreihe „Lorenz“. Ein leichter, ansteigender Konzentrationsgradient lag in Flussrichtung vor, wobei erneut zwischen den Proben 6/5 (Moser) bzw. 5-4 (Lorenz) ein sprunghafter Anstieg zu beobachten war. Der Minimalwert für „Moser“ lag bei 0,055mg/L (Probe 13) und der Maximalwert lag bei 0,124mg/L (Probe 1). Der Minimalwert für „Lorenz“ lag bei <0,05mg/L (Proben 9-11/13-15), wobei hier die Konzentration unter der Nachweisgrenze der Methode lag. Der Maximalwert für „Lorenz“ lag bei 0,083mg/L (Probe 1). Der Durchschnitt für „Moser“ lag bei $0,082 \pm 0,021 \text{ mg/L}$, für „Lorenz“ wurde der Durchschnitt nicht berechnet, da zu viele Proben unter dem LOD lagen.

3.1.14 Zink – Zn^{2+}

Es wurde kein Zn in den Proben gemessen. (Alle Proben <0,05mg/L)

3.1.15 Ammonium – NH_4^+

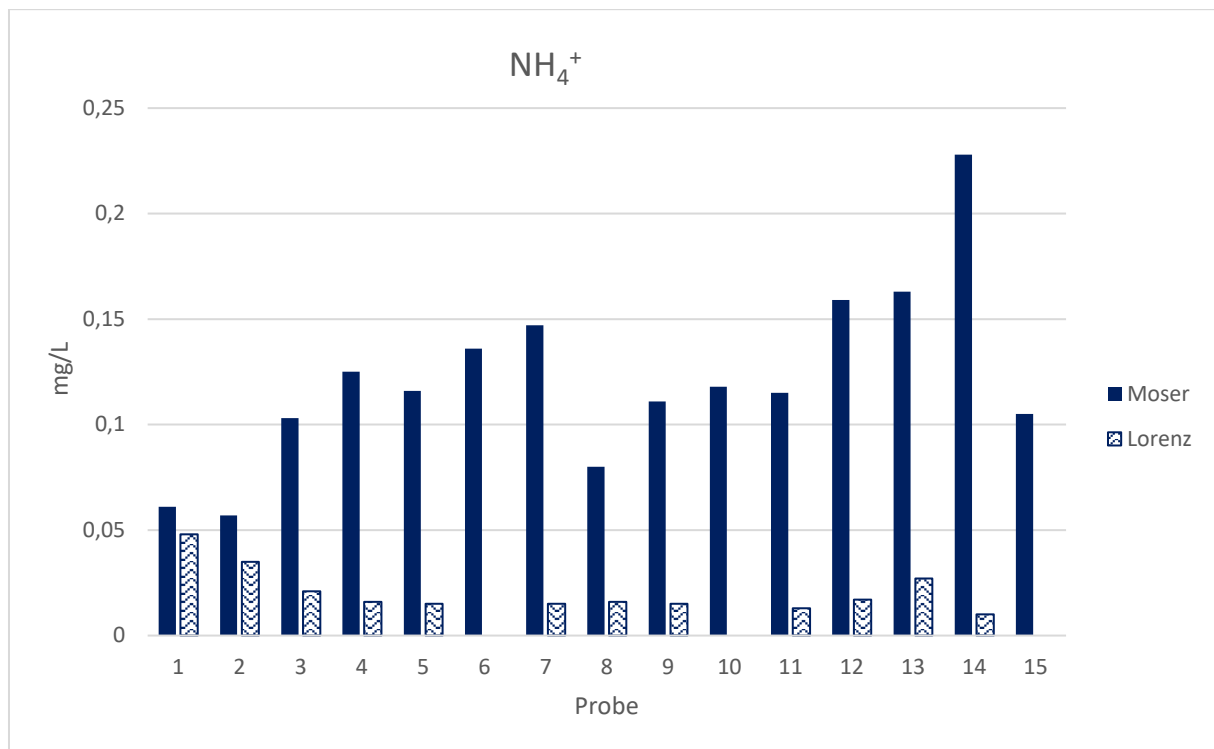


Abbildung 32: Vergleich der gemessenen NH_4^+ -Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Die NH_4^+ -Konzentration (Abb. 32) war für Probenreihe „Moser“ weitaus höher als für Probenreihe „Lorenz“. Während bei „Lorenz“ die Konzentration annähernd konstant war und lediglich bei den Proben 3/2/1 zu steigen begann, war bei Probenreihe „Moser“ zweimal ein sprunghafter Anstieg (Proben 14/7) mit einem absteigenden Konzentrationsgradienten in Flussrichtung zu beobachten. Der Maximalwert für „Moser“ betrug 0,228mg/L (Probe 14) und der Minimalwert betrug 0,057mg/L (Probe 2). Der Maximalwert für „Lorenz“ betrug 0,048mg/L (Probe 1) und der gemessene Minimalwert betrug 0,010mg/L (Probe 14). Der Durchschnitt für „Moser“ betrug $0,122 \pm 0,041 \text{ mg/L}$ und für „Lorenz“ $0,021 \pm 0,010 \text{ mg/L}$.

3.1.16 Chlorid – Cl⁻

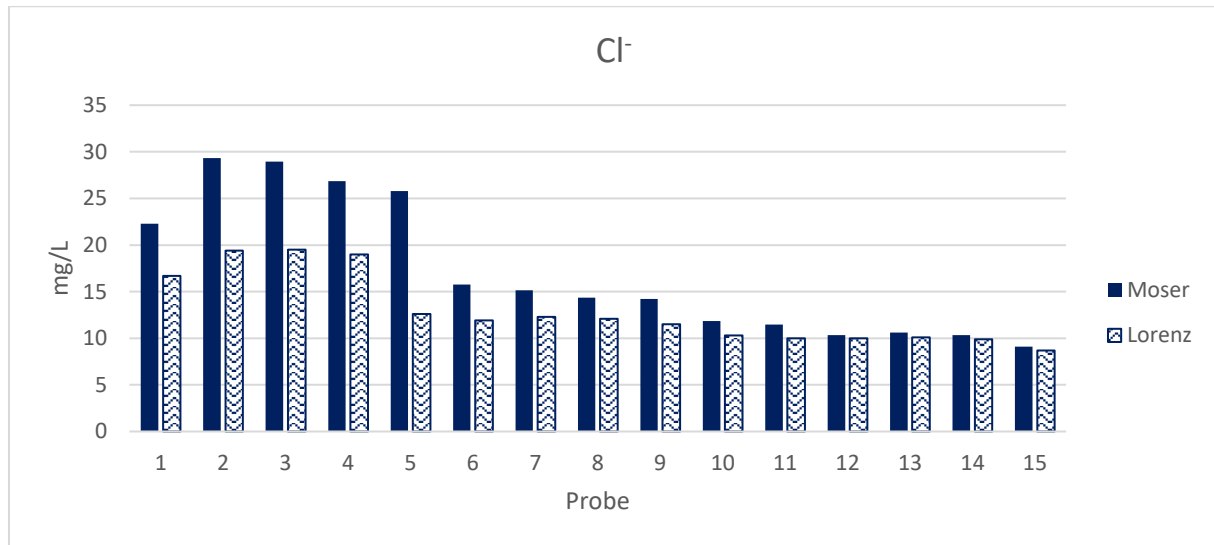


Abbildung 33: Vergleich der gemessenen Cl⁻-Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Der Cl⁻-Gehalt (Abb. 33) war für beide Probenreihen gleich (Proben 12-15) jedoch lag ein ansteigender Konzentrationsgradient in Flussrichtung vor und Probenreihe „Moser“ stieg weitaus stärker an als Probenreihe „Lorenz“. Bei den Proben 6-5 (Moser) bzw. 5-4 (Lorenz) war ein sprunghafter Anstieg zu beobachten. Der Minimalwert für „Moser“ lag bei 9,1mg/L (Probe 15) und der Maximalwert lag bei 29,3mg/L (Probe 2). Der Minimalwert für „Lorenz“ lag bei 8,7mg/L (Probe 15) und der Maximalwert lag bei 19,5mg/L (Probe 3). Der Durchschnitt für „Moser“ lag bei $17,1 \pm 7,1$ mg/L und für „Lorenz“ bei $12,9 \pm 3,6$ mg/L.

3.1.17 Nitrat – NO_3^-

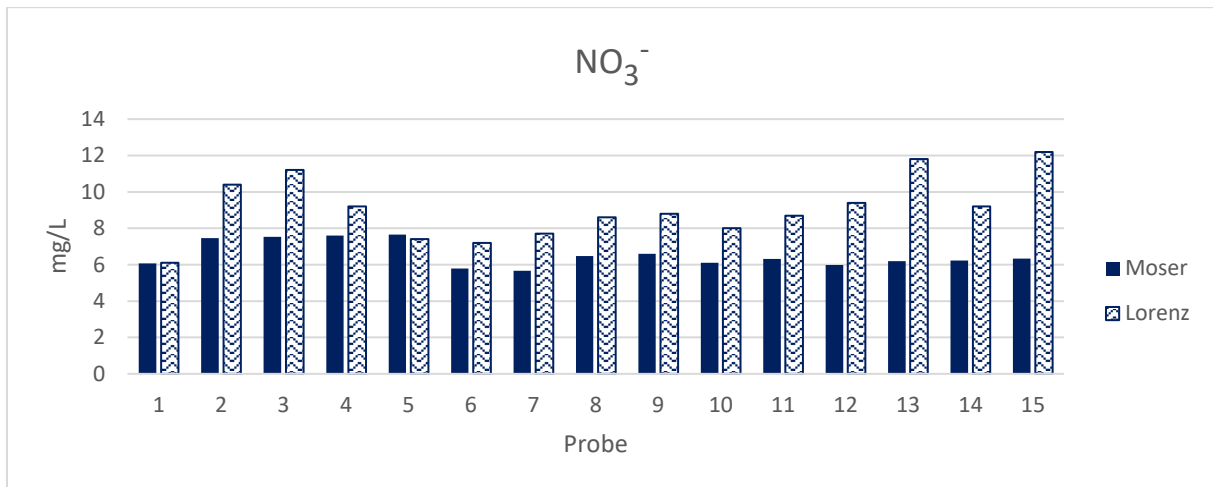


Abbildung 34: Vergleich der gemessenen NO_3^- -Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Der NO_3^- -Gehalt (Abb. 34) war für Probenreihe „Lorenz“ höher als für Probenreihe „Moser“. Es war kein Konzentrationsgradient zu beobachten, jedoch unterlag die Konzentration leichten Schwankungen. Der Minimalwert für „Moser“ lag bei 5,7mg/L (Probe 7) und der Maximalwert lag bei 7,5mg/L (Probe 3). Der Minimalwert für „Lorenz“ lag bei 6,1mg/L (Probe 1) und der Maximalwert lag bei 12,2mg/L (Probe 15). Der Durchschnitt für „Moser“ betrug $6,5 \pm 0,7 \text{ mg/L}$ und für „Lorenz“ $9,1 \pm 1,7 \text{ mg/L}$.

3.1.18 Nitrit – NO_2^-

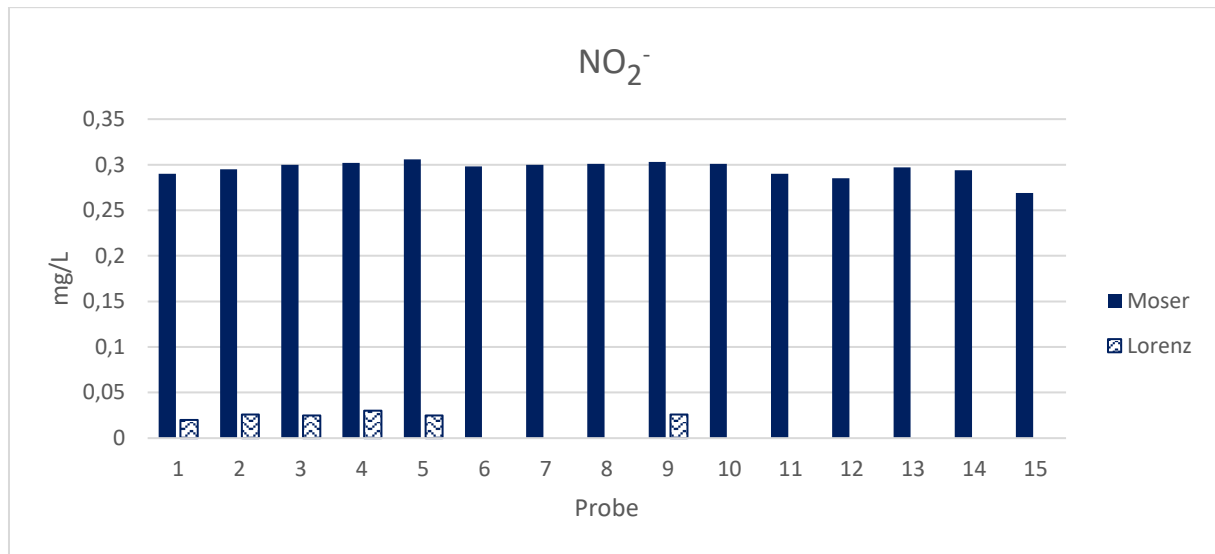


Abbildung 35: Vergleich der gemessenen NO_2^- -Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Der NO_2^- -Gehalt (Abb. 35) war für Probenreihe „Lorenz“ weitgehend unter dem LOD. Für Probenreihe „Moser“ lag kein Konzentrationsgradient vor und es waren auch keine nennenswerten Schwankungen zu beobachten. Der Minimalwert für „Moser“ lag bei 0,269mg/L (Probe 15) und der Maximalwert lag bei 0,306mg/L (Probe 5). Der Minimalwert für „Lorenz“ lag unter dem LOD der verwendeten Methode (Proben 6/7/8/10/11/12/13/14/15, Lorenz 2020) und der Maximalwert lag bei 0,030mg/L (Probe 4). Der Durchschnitt für „Moser“ lag bei $0,295 \pm 0,009$ mg/L, der Durchschnitt für Lorenz wurde nicht berechnet, da zu viele Proben unter dem LOD lagen.

3.1.19 Sulfat – SO_4^{2-}

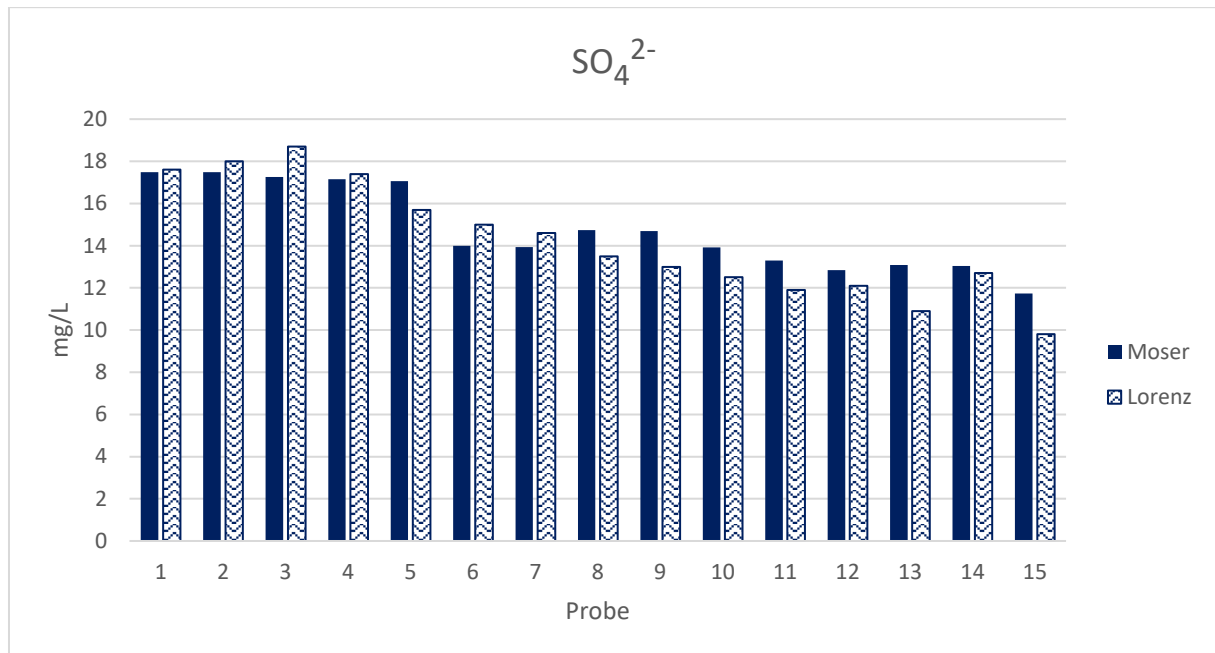


Abbildung 36: Vergleich der gemessenen SO_4^{2-} -Werte (Lorenz/Moser) in Form eines Balkendiagramms

Der SO_4^{2-} -Gehalt (Abb. 36) war für beide Probenreihen ähnlich hoch, es lag ein ansteigender, kontinuierlicher Konzentrationsgradient in Flussrichtung vor. Der Minimalwert für „Moser“ lag bei 11,7mg/L (Probe 15) und der Maximalwert lag bei 17,5mg/L (Proben 1/2). Der Minimalwert für „Lorenz“ lag bei 9,8mg/L (Probe 15) und der Maximalwert lag bei 18,7mg/L (Probe 3). Der Durchschnitt für „Moser“ lag bei $14,8 \pm 1,9$ mg/L und für „Lorenz“ bei $14,2 \pm 2,7$ mg/L.

3.2 Sediment

Soweit möglich, wurde für alle Elemente bei den Sedimentanalysen der österreichische Backgroundwert, sowie zumindest die erste Belastungseinstufung eingefügt. (BMLFUW 2004)

3.2.1 Verbrennungsverlust – LOI

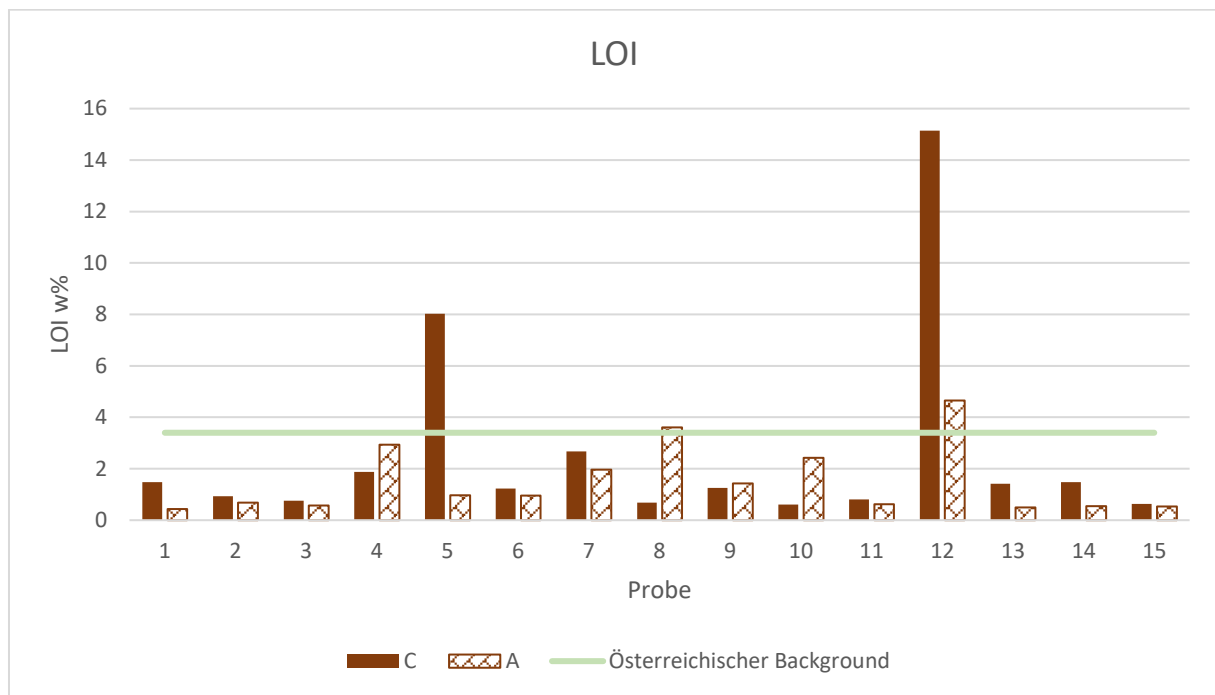


Abbildung 37: Vergleich der gemessenen LOI -Werte (Sedimentreihe C/A) in Form eines Balkendiagramms

Der organische Anteil (Abb. 37) war für beide Sedimentreihen ähnlich, bei Probe 5 und 12 lag Probenreihe C deutlich über A, bei Proben 8 und 9 lag A etwas über C. Der Minimalwert für C lag bei 0,61w% (Probe 10) der Maximalwert lag bei 15,15w% (Probe 12). Der Minimalwert für Probenreihe A lag bei 0,43w% (Probe 1) und der Maximalwert lag bei 4,65w% (Probe 12). Der Durchschnitt für C lag bei $2,60 \pm 3,79\text{w}\%$, der Durchschnitt für A lag bei $1,52 \pm 1,27\text{w}\%$. Die Proben 5C/8A/12AC lagen über dem österreichischen Backgroundwert.

3.2.2 Quecksilber – Hg

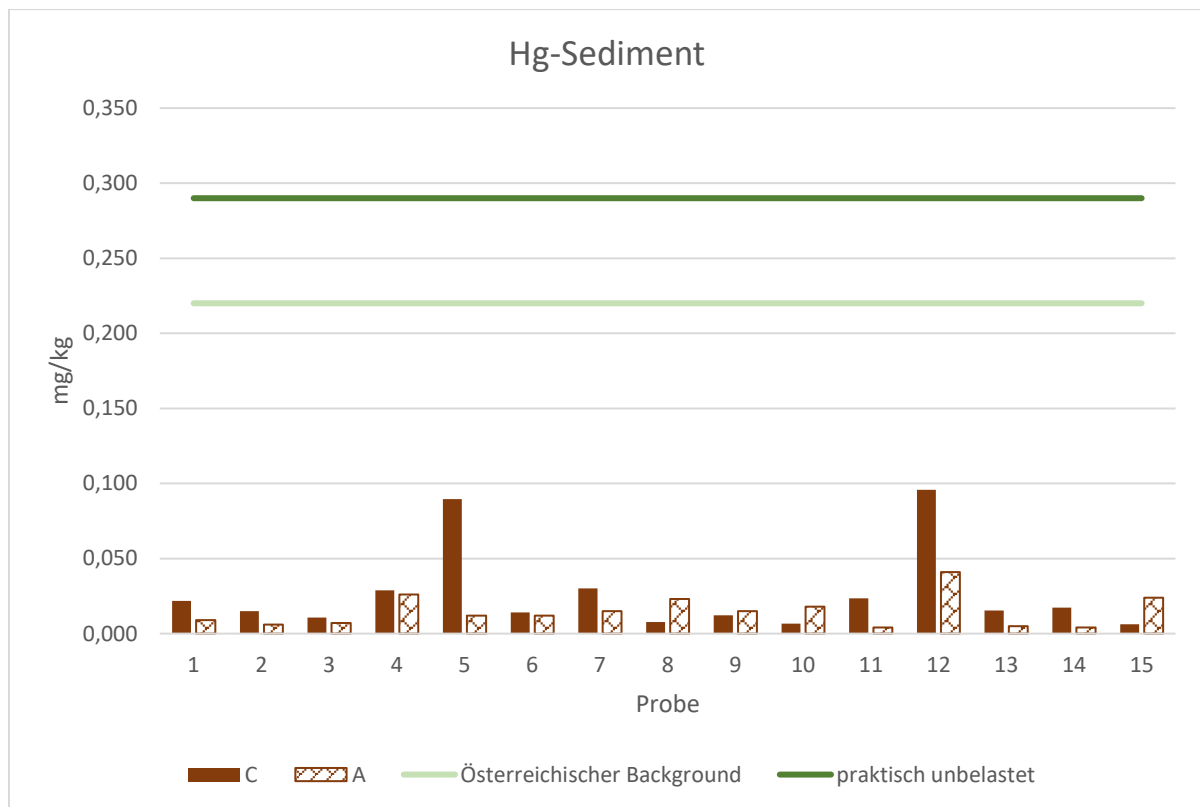


Abbildung 38: Vergleich der gemessenen Hg -Werte (Sedimentreihe C/A) in Form eines Balkendiagramms

Die Hg-Belastung (Abb. 38) des Sediments von Probenreihe C unterscheidet sich nur geringfügig von Probenreihe A. Zu bemerken ist jedoch die im Vergleich starke Belastung von C bei den Proben 5 und 12. Der Minimalwert von Probenreihe C liegt bei 0,007mg/kg (Probe 10) und der Maximalwert bei 0,096mg/kg (Probe 12). Der Minimalwert von A liegt bei 0,004mg/kg (Probe 11) und der Maximalwert liegt bei 0,041mg/kg (Probe 12). Der Durchschnitt für C liegt bei $0,026 \pm 0,027$ mg/kg und für A bei $0,015 \pm 0,010$ mg/kg. Keine der Proben liegt über dem österreichischen Background und somit liegt keine nennenswerte Belastung vor.

3.2.3 Chrom – Cr

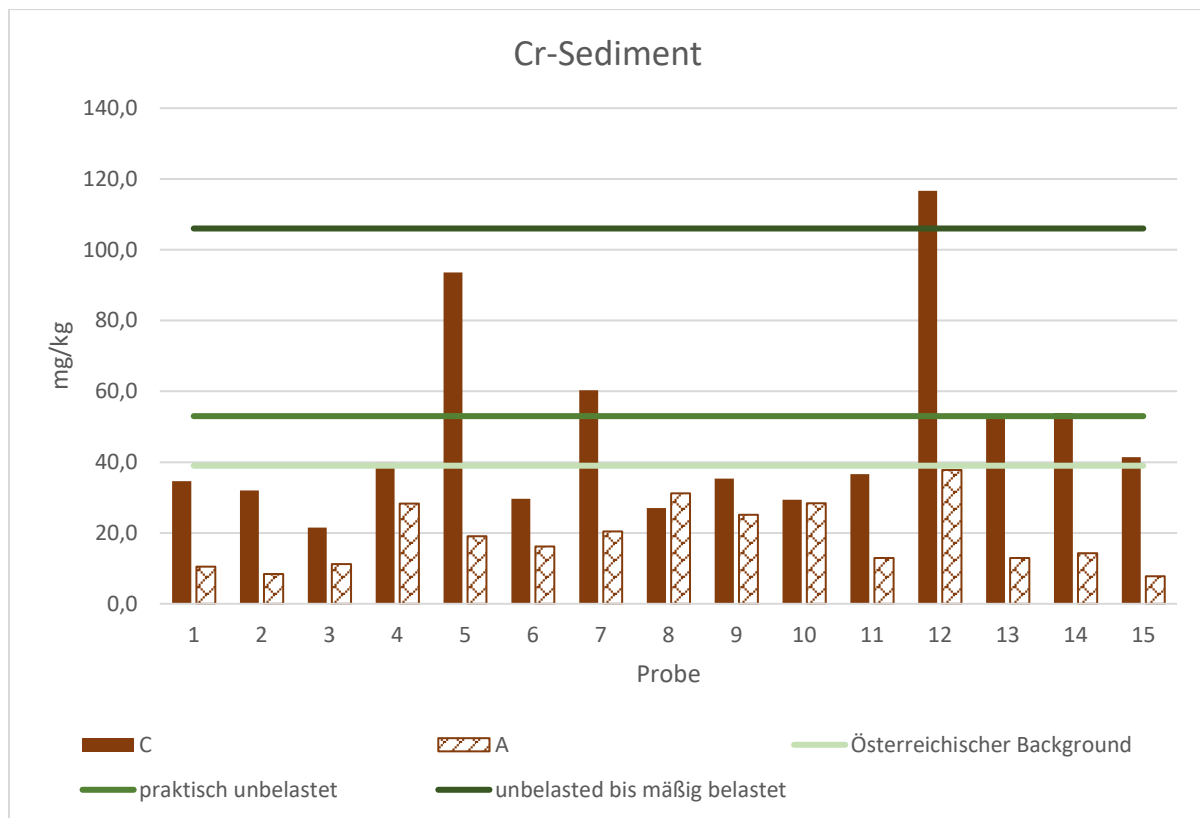


Abbildung 39: Vergleich der gemessenen Cr-Werte (Sedimentreihe C/A) in Form eines Balkendiagramms

Die Cr-Belastung (Abb. 39) ist bei Probenreihe C bei den meisten Proben etwas höher als bei Probenreihe A. Der Minimalwert für C liegt bei 21,5mg/kg (Probe 3), der Maximalwert bei 116,6mg/kg (Probe 12). Der Minimalwert für A liegt bei 7,8mg/kg (Probe 15) und der Maximalwert liegt bei 37,8mg/kg (Probe 12). Der Durchschnitt für Probenreihe C liegt bei $47,0 \pm 25,4$ mg/kg und für Probenreihe A bei $19,0 \pm 8,91$ mg/kg. Bei Probenreihe C liegen die Proben 4/5/7/12/13/14/15 über dem österreichischen Backgroundwert, die Proben 5/7/12/13/14 liegen über der Grenze, die als praktisch unbelastet bezeichnet wird und Probe 12 liegt über der Grenze, die als unbelastet bis mäßig belastet bezeichnet wird. Somit ist durchaus eine leichte Belastung des Sediments vorhanden.

3.2.4 Zink – Zn

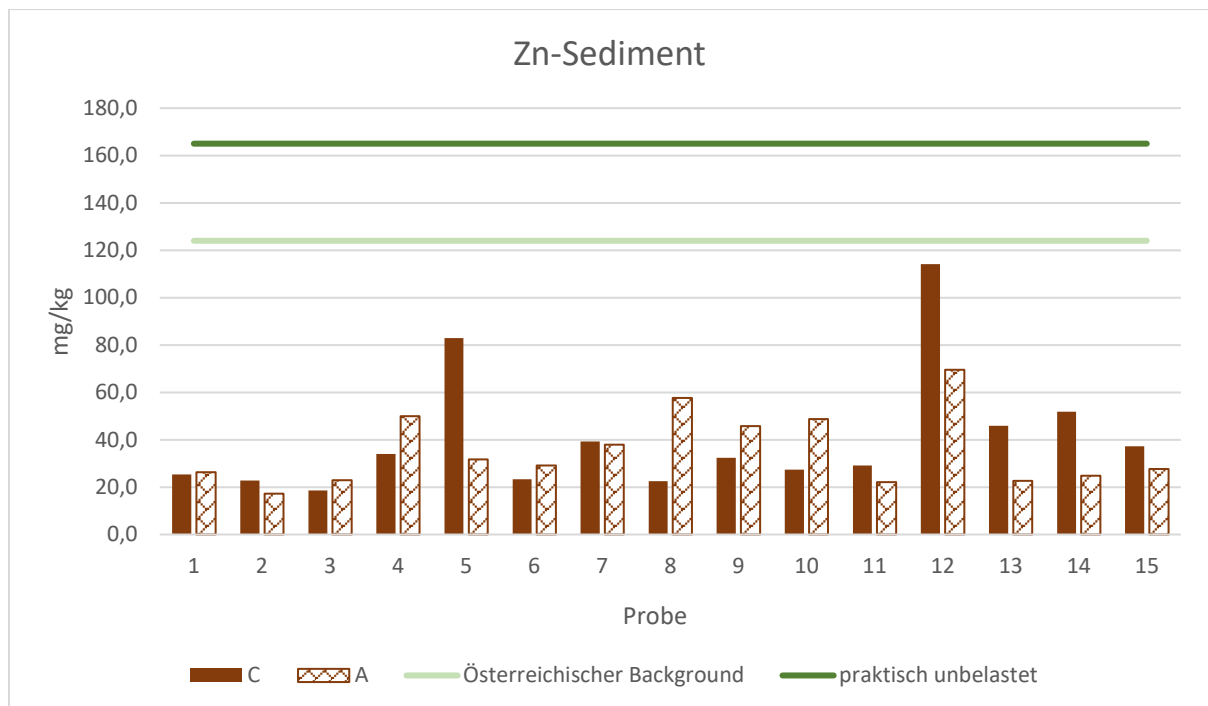


Abbildung 40: Vergleich der gemessenen Zn-Werte (Sedimentreihe C/A) in Form eines Balkendiagramms

Die Zn-Belastung (Abb. 40) von Probenreihe C ist für viele Proben ähnlich wie die Belastung von Probenreihe A. Wobei erneut die Proben 5 und 12 als Ausreißer hervorstechen. Der Minimalwert für Probenreihe C beträgt 18,5mg/kg (Probe 3) und der Maximalwert beträgt 114,1mg/kg (Probe 12). Der Minimalwert für A liegt bei 17,3mg/kg (Probe 2) und der Maximalwert liegt bei 69,6mg/kg (Probe 12). Der Durchschnitt für Probenreihe C beträgt $40,4 \pm 25,1$ mg/kg und für Probenreihe A $35,6 \pm 14,8$ mg/kg. Keine der Proben überschreitet den österreichischen Backgroundwert und somit liegt keine nennenswerte Belastung vor.

3.2.5 Nickel – Ni

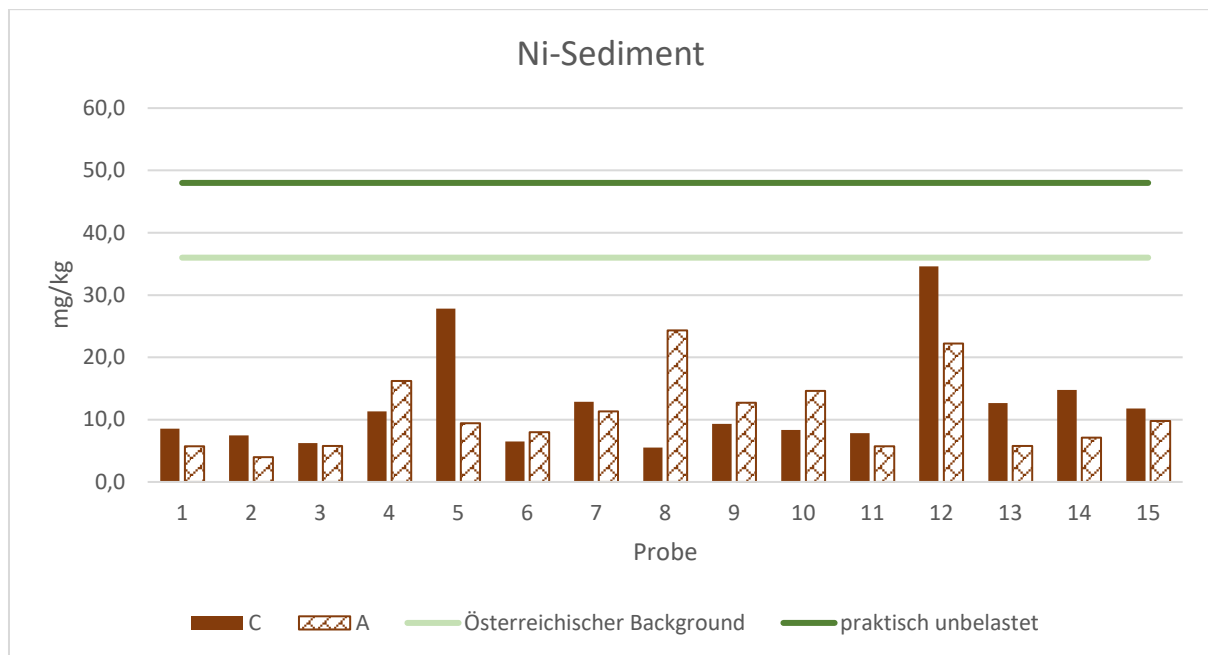


Abbildung 41: Vergleich der gemessenen Ni-Werte (Sedimentreihe C/A) in Form eines Balkendiagramms

Die Ni-Belastung (Abb. 41) ist für beide Probenreihen weitgehend gleich. Bei Probe 8 ist A weitaus stärker belastet, bei 5 und 12 ist C stärker belastet. Der Minimalwert für Probenreihe C liegt bei 5,5mg/kg (Probe 8), der Maximalwert liegt bei 34,6mg/kg (Probe 12). Der Minimalwert für A liegt bei 4,0mg/kg (Probe 2) und der Maximalwert bei 24,3mg/kg (Probe 8). Der Durchschnitt für Probenreihe C liegt bei $12,4 \pm 7,9$ mg/kg und für Probenreihe A $10,8 \pm 6,0$ mg/kg. Keine der Proben überschreitet den österreichischen Backgroundwert und somit liegt keine nennenswerte Belastung vor.

3.2.6 Arsen – As

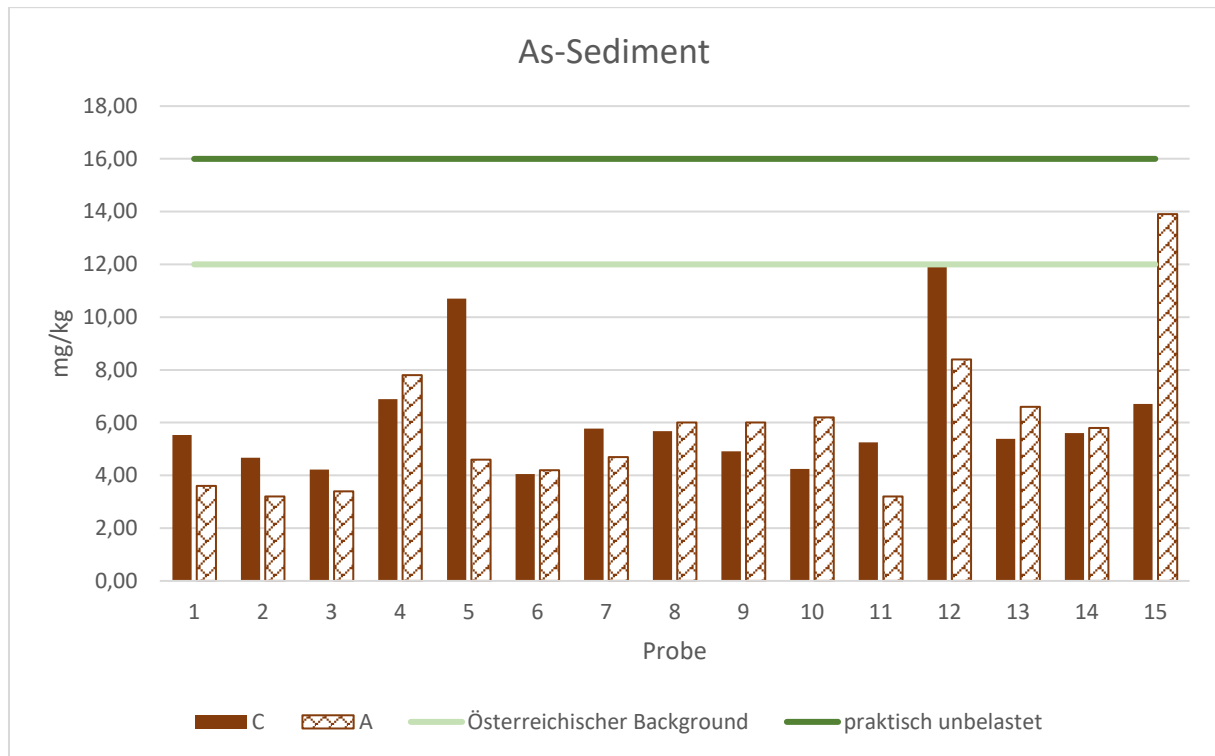


Abbildung 42: Vergleich der gemessenen As-Werte (Sedimentreihe C/A) in Form eines Balkendiagramms

Die As-Belastung (Abb. 42) der beiden Probenreihen ist sehr ähnlich, mit Ausnahme der Proben 5/12/15, wobei bei 5/12 C stärker belastet und bei 15 A stärker belastet ist. Der Minimalwert für Probenreihe C liegt bei 4,05mg/kg (Probe 6) und der Maximalwert bei 12,06mg/kg (Probe 12). Der Minimalwert für A liegt bei 3,20mg/kg (Probe 2/11) und der Maximalwert liegt bei 13,90mg/kg (Probe 15). Der Durchschnitt für Probenreihe C liegt bei $6,11 \pm 2,23$ mg/kg und für Probenreihe A bei $5,84 \pm 2,67$ mg/kg. Mit Ausnahme von Probe 12 (Sed C) und Probe 15 (Sed A) liegt keine Probe über dem österreichischen Backgroundwert. Es liegt somit keine nennenswerte Belastung vor.

3.2.7 Kupfer – Cu

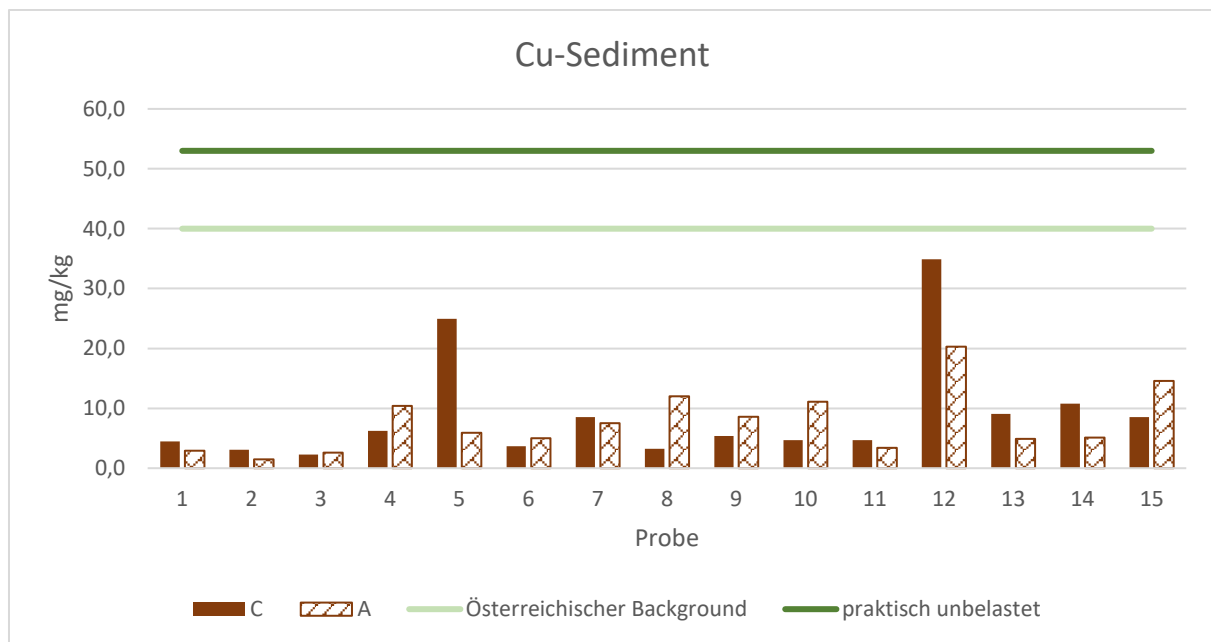


Abbildung 43: Vergleich der gemessenen Cu-Werte (Sedimentreihe C/A) in Form eines Balkendiagramms

Die Cu-Belastung (Abb. 43) ist für beide Probenreihen ähnlich, mit Ausnahme der Proben 5 und 12, wo C stärker belastet ist als A. Der Minimalwert für C liegt bei 2,3mg/kg (Probe 3), der Maximalwert bei 34,9mg/kg (Probe 12). Der Minimalwert für A liegt bei 1,5mg/kg (Probe 2) und der Maximalwert liegt bei 20,3mg/kg (Probe 12). Der Durchschnitt für Probenreihe C liegt bei $8,96 \pm 8,75$ mg/kg und für Probenreihe A bei $7,72 \pm 5,00$ mg/kg. Keine der Proben überschreitet den österreichischen Backgroundwert, es liegt somit keine nennenswerte Belastung vor.

3.2.8 Blei – Pb

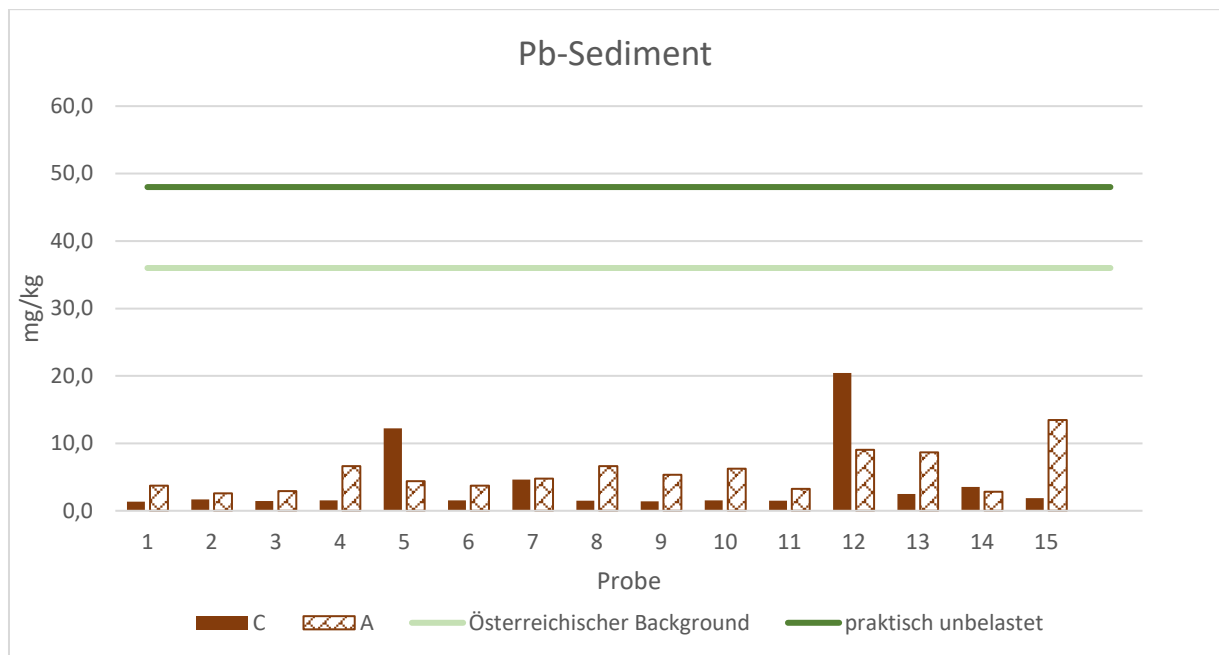


Abbildung 44: Vergleich der gemessenen Pb-Werte (Sedimentreihe C/A) in Form eines Balkendiagramms

Die Pb-Belastung (Abb. 44) ist für Probenreihe A etwas stärker als für C, mit Ausnahme der Proben 5 und 12, bei denen C stärker belastet ist. Der Minimalwert für Probenreihe C beträgt 1,3mg/kg (Probe 1), wobei es sich hier um das LOD der Methode handelt und die tatsächliche Konzentration wahrscheinlich kleiner ist. Ebenso liegen die Proben 2/3/4/6/8/9/10/11 unter dem LOD. Der Maximalwert von C liegt bei 20,5mg/kg (Probe 12). Der Minimalwert für Probenreihe A liegt bei 2,58mg/kg (Probe 2) und der Maximalwert liegt bei 13,46mg/kg (Probe 15). Ein Durchschnitt für Probenreihe C wurde nicht berechnet, da zu viele Proben unter der Nachweisgrenze lagen. Der Durchschnitt für Probenreihe A lag bei $5,61 \pm 2,88$ mg/kg. Keine der Proben lag über dem österreichischen Backgroundwert, somit liegt keine nennenswerte Belastung vor.

3.2.9 Cadmium – Cd

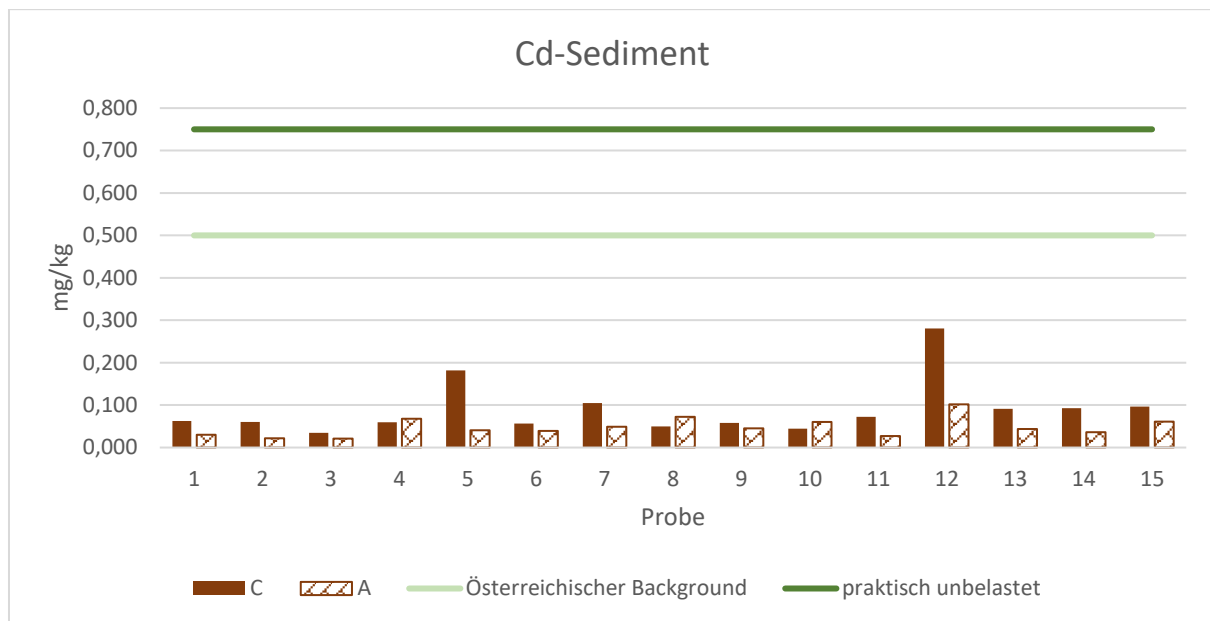


Abbildung 45: Vergleich der gemessenen Cd-Werte (Sedimentreihe C/A) in Form eines Balkendiagramms

Die Cd-Belastung (Abb. 45) ist für beide Probenreihen ähnlich, mit Ausnahme von Probe 5, und 12, bei denen C stärker belastet ist. Der Minimalwert für Probenreihe C beträgt 0,035mg/kg (Probe 3) und der Maximalwert beträgt 0,281mg/kg (Probe 12). Der Minimalwert für A beträgt 0,021mg/kg (Probe 3) und der Maximalwert liegt bei 0,102mg/kg (Probe 12). Der Durchschnitt für Probenreihe C liegt bei $0,090 \pm 0,062$ mg/kg und für Probenreihe A bei $0,048 \pm 0,021$ mg/kg. Keine der Proben überschreitet den österreichischen Backgroundwert, somit liegt keine nennenswerte Belastung vor.

3.2.10 Silber – Ag

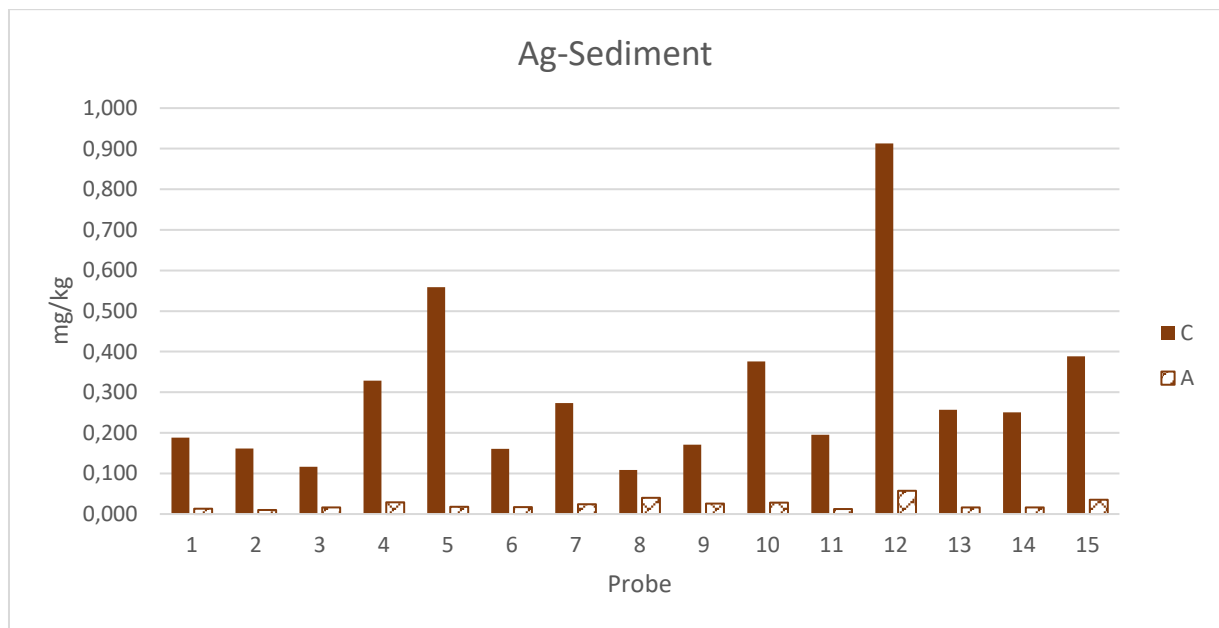


Abbildung 46: Vergleich der gemessenen Ag-Werte (Sedimentreihe C/A) in Form eines Balkendiagramms

Die Ag-Belastung (Abb. 46) ist für Probenreihe C um ein Vielfaches höher als für Probenreihe A. Der Minimalwert für C liegt bei 0,108mg/kg (Probe 8) und der Maximalwert liegt bei 0,913mg/kg (Probe 12). Der Minimalwert für A liegt bei 0,010mg/kg (Probe 2) und der Maximalwert liegt bei 0,057mg/kg (Probe 12). Der Durchschnitt für Probenreihe C liegt bei $0,297 \pm 0,202$ mg/kg und für Probenreihe A bei $0,024 \pm 0,012$ mg/kg.

3.2.11 Korrelation des LOI mit Cd und Cu

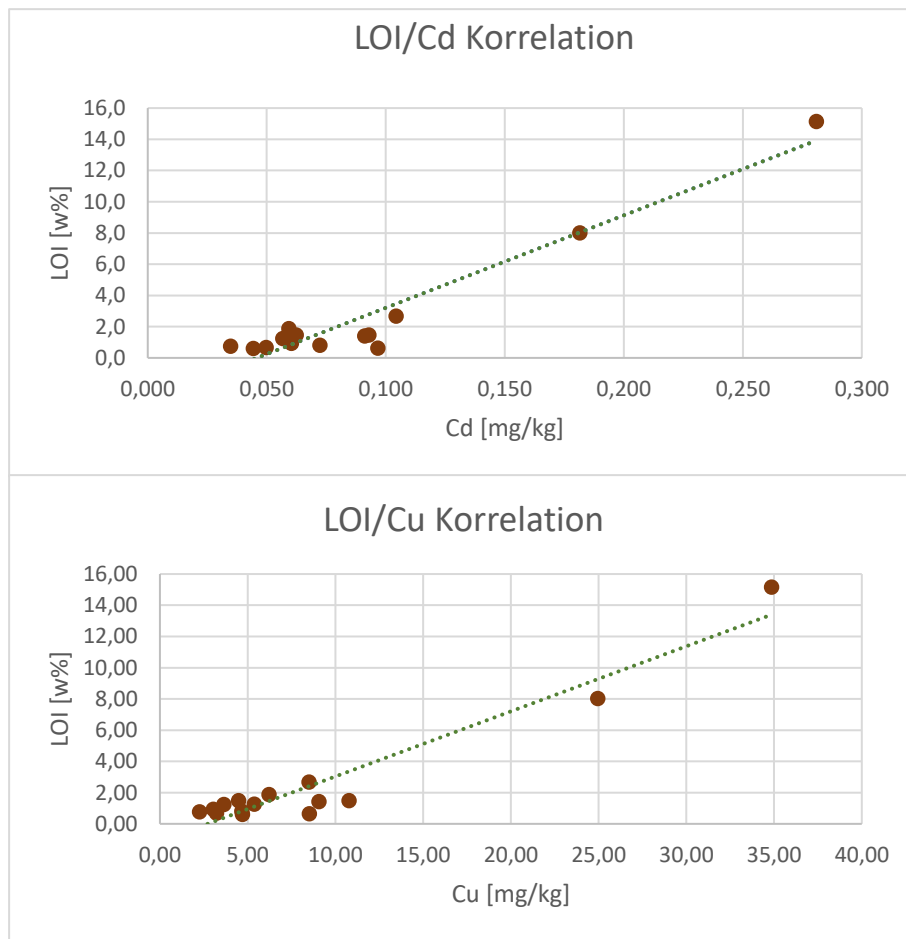


Abbildung 47: Graphische Darstellung der Korrelation LOI mit Cd (oben) und Cu (unten)

Abb. 47 zeigt graphisch die Korrelation des LOI mit den ausgewählten Elementen Cd und Cu. Sowohl Cd ($R^2=0,924$) als auch Cu ($R^2=0,925$) korrelierten sehr stark positiv mit dem LOI.

3.3 Fische

Bei den Ergebnissen der Fischanalysen wurden signifikant unterschiedliche Gewebeproben zwischen den beiden Fischarten mit einem * und signifikant unterschiedliche Gewebeproben innerhalb der jeweiligen Fischart mit a/b/c für die Nase und d/e/f für die Aitel markiert. Lagen mehr als die Hälfte der Messergebnisse einer Gewebeart unter dem LOD wurde der Durchschnitt mit *<berechneter Durchschnitt* angegeben und der Wertebereich ausgelassen. Zudem wurden die Ergebnisse nicht in der graphischen Darstellung inkludiert.

3.3.1 Quecksilber – Hg

Abb. 47 zeigt die Ergebnisse der Hg-Messungen. Dabei war der Hg-Gehalt sowohl für die Nase als auch für die Aitel in den Muskelproben mit $0,283 \pm 0,055 \text{ mg/kg dw}$ (dry weight) bzw. $0,462 \pm 0,177 \text{ mg/kg}$ am höchsten. Am wenigsten Hg war sowohl für die Nase als auch die Aitel in den Kiemenproben mit $0,053 \pm 0,012 \text{ mg/kg dw}$ bzw. $0,070 \pm 0,031 \text{ mg/kg dw}$. Zwischen den Fischarten gab es bei den Muskelproben einen signifikanten Unterschied, wobei die Aitel mehr Hg als die Nase enthielt. Einen Überblick über die Messergebnisse bietet Tabelle 10.

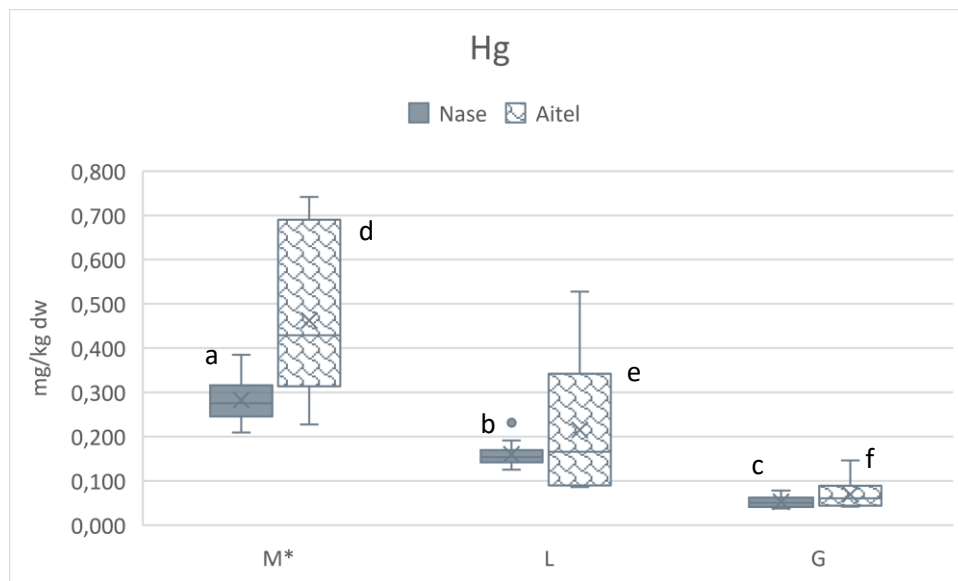


Abbildung 48: Boxplot-Darstellung der Ergebnisse der Hg-Messungen für Nase und Aitel, n=10

Tabelle 10: Mittelwert und Wertebereich der Hg-Messungen für die einzelnen Fisch- und Gewebearten

Gewebeart	Mittelwert (mg/kg dw)	Min-Max (mg/kg dw)
Nase-Muskel	$0,283 \pm 0,055$	0,210-0,385
Nase-Leber	$0,160 \pm 0,029$	0,126-0,231
Nase-Kieme	$0,053 \pm 0,012$	0,038-0,078
Aitel-Muskel	$0,462 \pm 0,177$	0,228-0,742
Aitel-Leber	$0,215 \pm 0,143$	0,090-0,528
Aitel-Kieme	$0,070 \pm 0,031$	0,042-0,147

3.3.2 Eisen – Fe

Abb. 48 zeigt die Ergebnisse der Fe-Messungen. Dabei war der Fe-Gehalt sowohl für die Nase als auch die Aitel in den Leberproben mit $400 \pm 164 \text{ mg/kg dw}$ bzw. $282 \pm 132 \text{ mg/kg}$ am höchsten. Am wenigsten war sowohl für die Nase als auch die Aitel in den Muskelproben mit $29,4 \pm 9,2 \text{ mg/kg dw}$ bzw. $24,4 \pm 8,9 \text{ mg/kg dw}$. Zwischen den Fischarten gab es einen signifikanten Unterschied bei den Kiemenproben, wobei die Nase mehr Fe als die Aitel enthielt. Einen Überblick über die Messergebnisse bietet Tabelle 11.

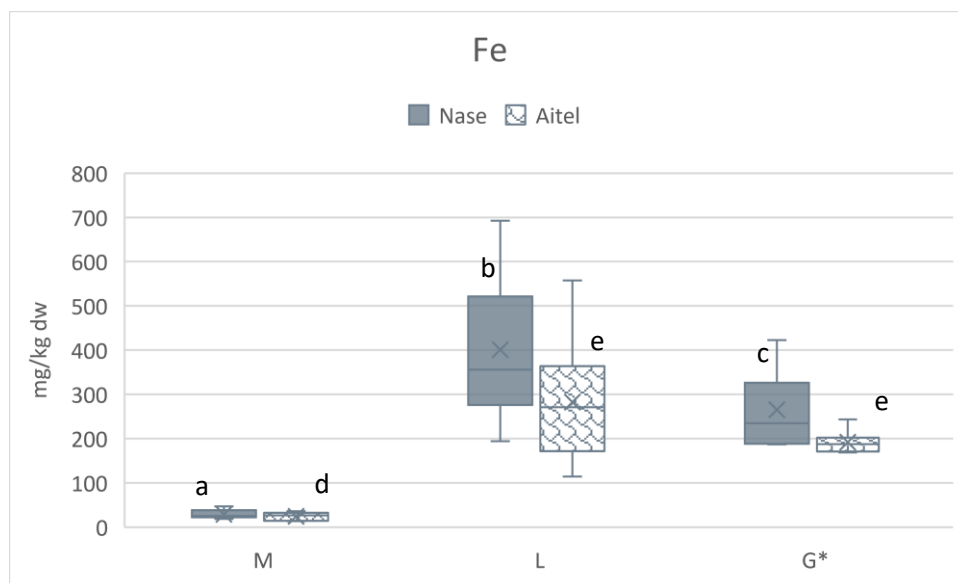


Abbildung 49: Boxplot-Darstellung der Ergebnisse der Fe-Messung für Nase und Aitel, n=10

Tabelle 11: Mittelwert und Wertebereich der Fe-Messungen für die einzelnen Fisch- und Gewebearten

Gewebeart	Mittelwert (mg/kg dw)	Min-Max (mg/kg dw)
Nase-Muskel	29,4±9,2	19,1-47,1
Nase-Leber	400±164	194-692
Nase-Kieme	265±78,2	186-423
Aitel-Muskel	24,4±8,9	13,9-36,2
Aitel-Leber	282±132	114-557
Aitel-Kieme	192±23,1	169-243

3.3.3 Zink – Zn

Abb. 49 zeigt die Ergebnisse der Zn-Messungen. Dabei war der Zn Gehalt für die Nase in Leber und Kieme mit $82,4 \pm 13,4 \text{ mg/kg dw}$ bzw. $85,0 \pm 12,5 \text{ mg/kg dw}$ am höchsten. Für die Aitel war der Gehalt in den Kiemen mit $370 \pm 116 \text{ mg/kg dw}$ am höchsten. Am niedrigsten war der Gehalt sowohl für Nase als auch Aitel im Muskelgewebe mit $18,7 \pm 1,81 \text{ mg/kg dw}$ bzw. $24,6 \pm 2,1 \text{ mg/kg dw}$. Zwischen den Fischarten gab es einen signifikanten Unterschied bei den Leber- und Kiemenproben, wobei in beiden Fällen die Aitel mehr Zn als die Nase enthielt. Einen Überblick über die Messergebnisse bietet Tabelle 12.

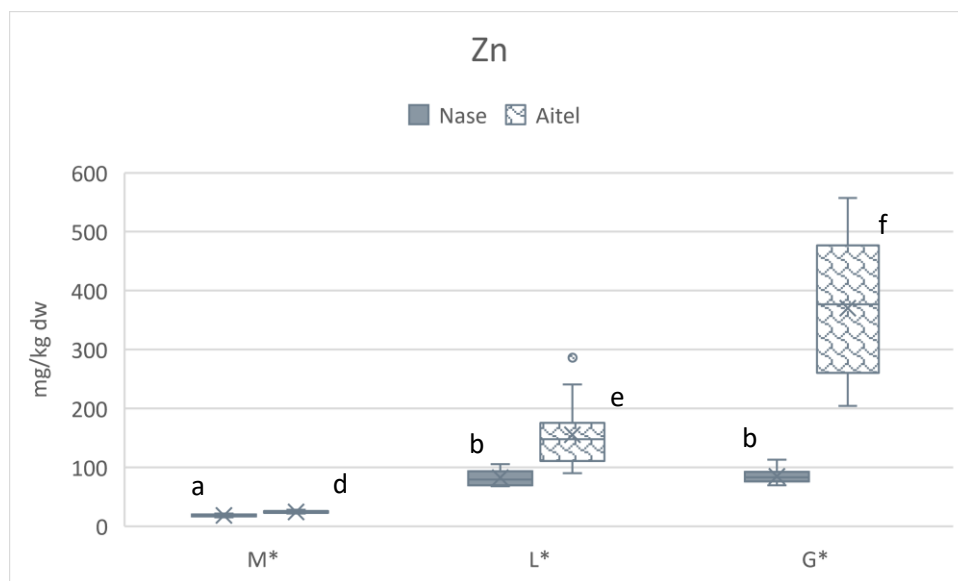


Abbildung 50: Boxplot-Darstellung der Ergebnisse der Zn-Messung für Nase und Aitel, $n=10$

Tabelle 12: Mittelwert und Wertebereich der Zn-Messungen für die einzelnen Fisch- und Gewebearten

Gewebeart	Mittelwert (mg/kg dw)	Min-Max (mg/kg dw)
Nase-Muskel	$18,7 \pm 1,81$	15,3-21,5
Nase-Leber	$82,4 \pm 13,4$	67,8-105
Nase-Kieme	$85,0 \pm 12,5$	69,7-113
Aitel-Muskel	$24,6 \pm 2,1$	21,7-28,4
Aitel-Leber	$155 \pm 58,8$	90,5-286
Aitel-Kieme	370 ± 116	204-557

3.3.4 Selen – Se

Abb. 50 Zeigt die Ergebnisse der Se-Messungen. Dabei war der Se-Gehalt für die Nase in den Kiemenproben mit $34,1 \pm 14,5 \text{ mg/kg dw}$ am höchsten. Am meisten war für die Aitel in den Kiemen mit $25,0 \pm 9,6 \text{ mg/kg dw}$ enthalten. Da sowohl für Aitel als auch Nase bei den Muskelproben mehr als 50% unter dem LOD lagen, wurden sie nicht in der Grafik inkludiert. Einen Überblick über die Messergebnisse bietet Tabelle 13.

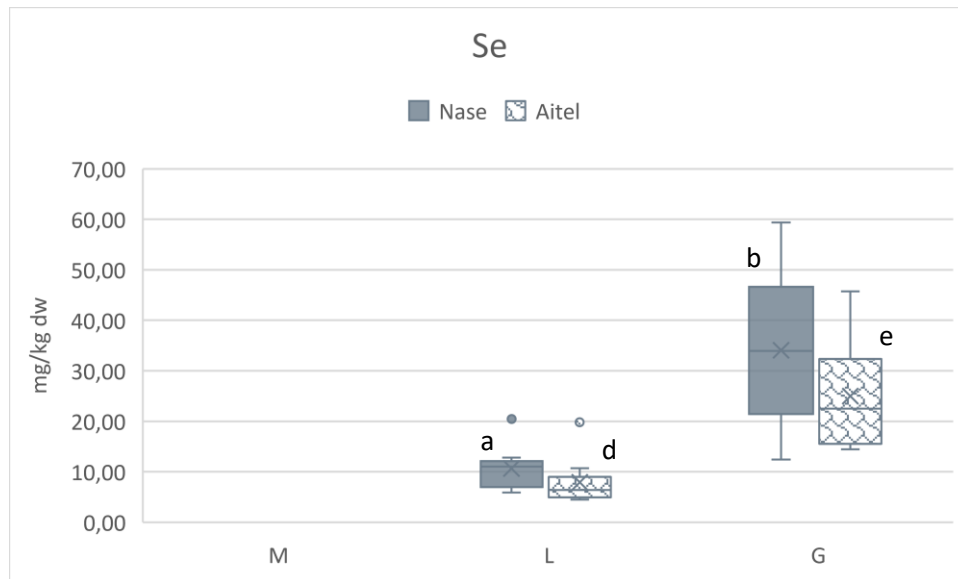


Abbildung 51: Boxplot-Darstellung der Ergebnisse der Se-Messungen für Nase und Aitel, n=10

Tabelle 13: Mittelwert und Wertebereich der Se-Messungen für die einzelnen Fisch- und Gewebearten

Gewebeart	Mittelwert (mg/kg dw)	Min-Max (mg/kg dw)
Nase-Muskel	$<3,79 \pm 0,05$	-
Nase-Leber	$10,6 \pm 4,0$	5,92-20,5
Nase-Kieme	$34,1 \pm 14,5$	12,4-59,4
Aitel-Muskel	$<3,81 \pm 0,24$	-
Aitel-Leber	$7,93 \pm 4,35$	<4,48-10,7
Aitel-Kieme	$25,0 \pm 9,6$	<14,5-45,8

3.3.5 Cadmium – Cd

Abb. 51 zeigt die Ergebnisse der Cd-Messungen. Dabei war der Cd-Gehalt sowohl für die Nase als auch die Aitel in der Leber mit $0,073 \pm 0,022 \text{ mg/kg dw}$ bzw. $0,114 \pm 0,038 \text{ mg/kg dw}$ am höchsten. Am niedrigsten war der Gehalt für die Nase mit $0,007 \pm 0,002 \text{ mg/kg dw}$ im Muskelgewebe, für die Aitel war sowohl im Muskel-, als auch im Kiemengewebe bei mehr als der Hälfte der Werte das LOD erreicht, weshalb sie nicht in die Grafik inkludiert wurden. Es gab für die beiden Fischarten einen signifikanten Unterschied im Lebergewebe, wobei die Aitel mehr Cd enthielt. Einen Überblick über die Messergebnisse bietet Tabelle 14.

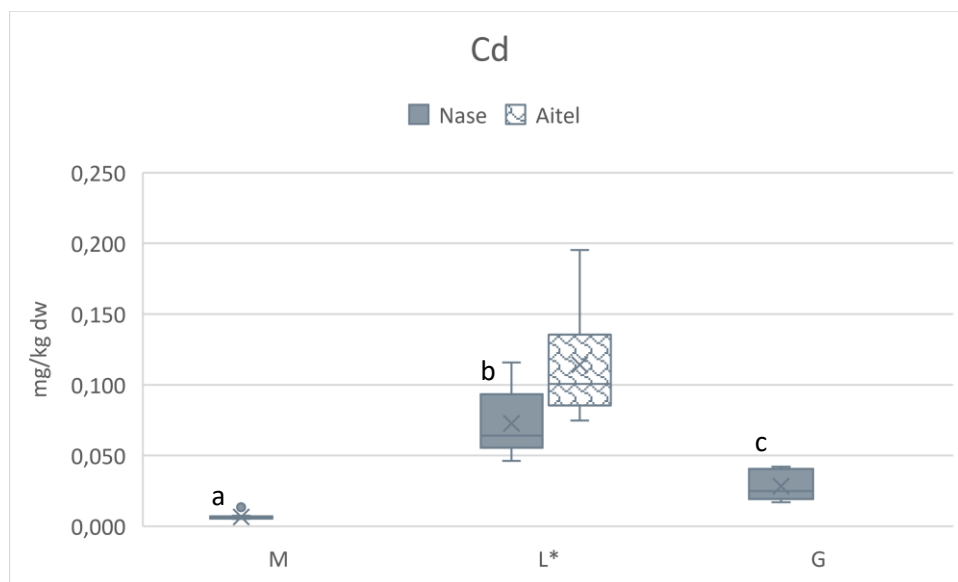


Abbildung 52: Boxplot-Darstellung der Ergebnisse der Cd-Messungen für Nase und Aitel, n=10

Tabelle 14: Mittelwert und Wertebereich der Cd-Messungen für die einzelnen Fisch- und Gewebearten

Gewebeart	Mittelwert (mg/kg dw)	Min-Max (mg/kg dw)
Nase-Muskel	$0,007 \pm 0,002$	$<0,005 - 0,014$
Nase-Leber	$0,073 \pm 0,022$	$0,049 - 0,116$
Nase-Kieme	$0,028 \pm 0,009$	$<0,026 - 0,041$
Aitel-Muskel	$<0,006 \pm 0,002$	-
Aitel-Leber	$0,114 \pm 0,038$	$0,075 - 0,195$
Aitel-Kieme	$<0,026 \pm 0,005$	-

3.3.6 Silber – Ag

Abb. 52 zeigt die Ergebnisse der Ag-Messungen. Dabei war der Ag-Gehalt sowohl für die Nase als auch die Aitel in der Leber mit $1,57 \pm 0,45 \text{ mg/kg dw}$ bzw. $1,50 \pm 0,99 \text{ mg/kg dw}$ am höchsten. Am niedrigsten war der Gehalt für die Nase in Muskel- und Kiemengewebe mit $0,250 \pm 0,516 \text{ mg/kg dw}$ bzw. $0,201 \pm 0,159 \text{ mg/kg dw}$. Für die Aitel war der Gehalt im Muskelgewebe mit $0,053 \pm 0,058 \text{ mg/kg}$ am niedrigsten. Einen Überblick über die Messergebnisse bietet Tabelle 15.

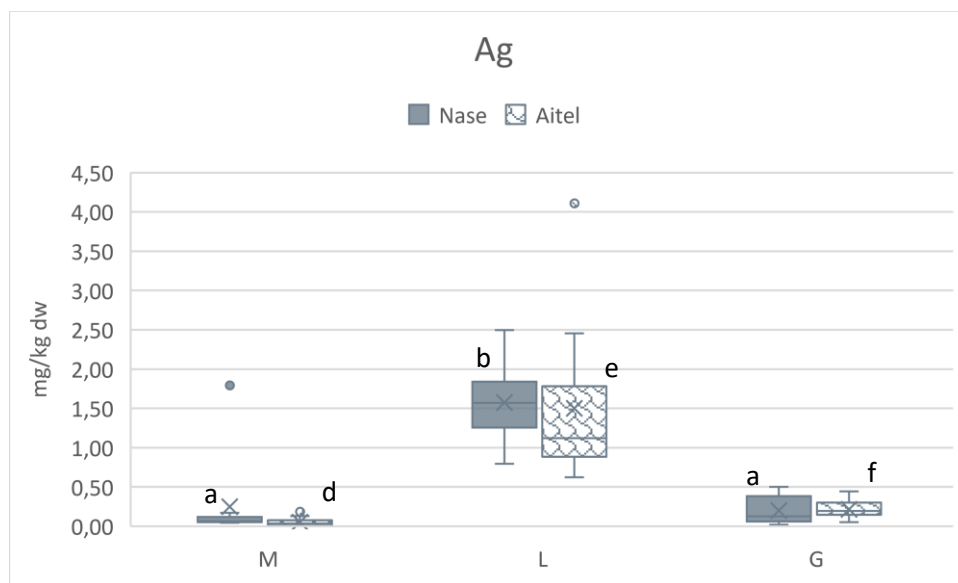


Abbildung 53: Boxplot-Darstellung der Ergebnisse der Ag-Messungen für Nase und Aitel, n=10

Tabelle 15: Mittelwert und Wertebereich der Ag-Messungen für die einzelnen Fisch- und Gewebearten

Gewebeart	Mittelwert (mg/kg dw)	Min-Max (mg/kg dw)
Nase-Muskel	0,250±0,516	0,046-1,79
Nase-Leber	1,57±0,45	0,794-2,50
Nase-Kieme	0,201±0,159	0,020-0,502
Aitel-Muskel	0,053±0,058	<0,002-0,185
Aitel-Leber	1,50±0,99	0,625-4,11
Aitel-Kieme	0,217±0,109	0,055-0,445

3.3.7 Kupfer – Cu

Abb. 53 zeigt die Ergebnisse der Cu-Messungen. Dabei war der Cu-Gehalt sowohl für die Nase als auch die Aitel mit $26,5 \pm 5,6 \text{ mg/kg dw}$ bzw. $37,1 \pm 14,5 \text{ mg/kg dw}$ in der Leber am höchsten. Am niedrigsten war der Gehalt sowohl für die Nase als auch die Aitel mit $1,60 \pm 1,58 \text{ mg/kg dw}$ bzw. $1,79 \pm 0,17 \text{ mg/kg dw}$ im Muskelgewebe. Die beiden Fischarten wiesen einen signifikanten Unterschied im Leber- und Kiemengewebe auf, wobei in beiden Fällen die Aitel etwas mehr Cu enthielt. Einen Überblick über die Messergebnisse bietet Tabelle 16.

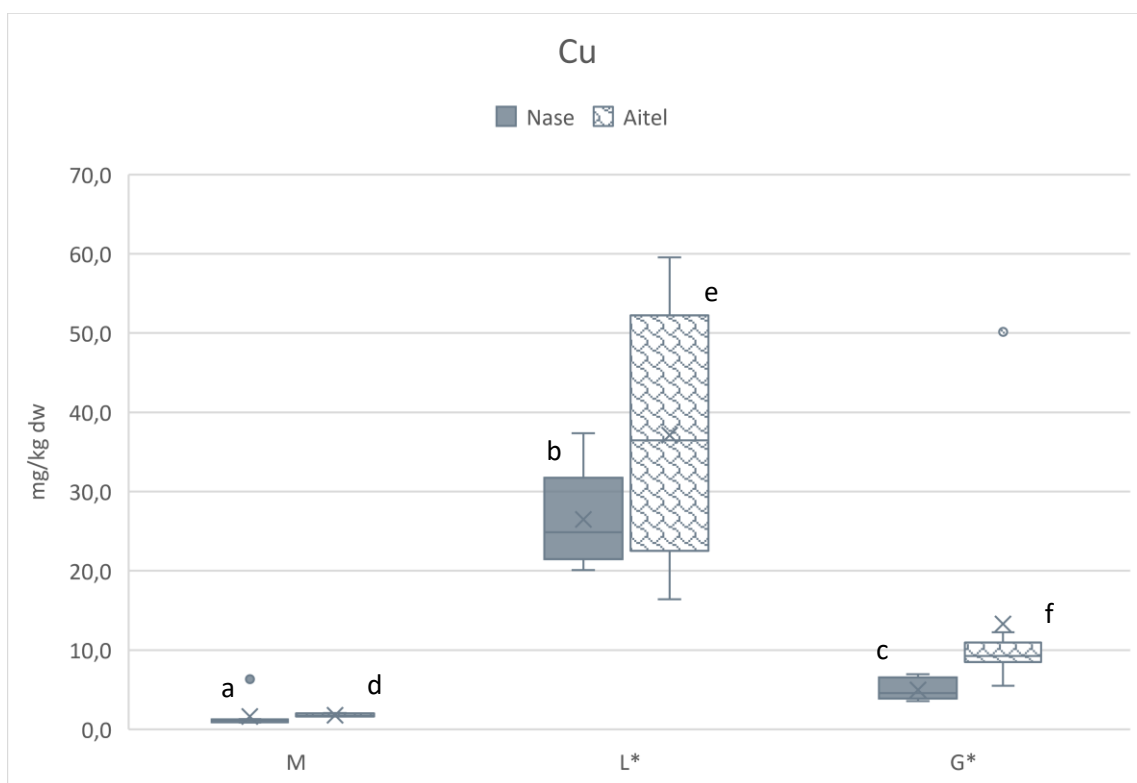


Abbildung 54: Boxplot-Darstellung der Ergebnisse der Cu-Messungen für Nase und Aitel, n=10

Tabelle 16: Mittelwert und Wertebereich der Cu-Messungen für die einzelnen Fisch- und Gewebearten

Gewebeart	Mittelwert (mg/kg dw)	Min-Max (mg/kg dw)
Nase-Muskel	$1,60 \pm 1,58$	0,86-6,32
Nase-Leber	$26,5 \pm 5,6$	20,1-37,3
Nase-Kieme	$4,99 \pm 1,22$	3,56-6,93
Aitel-Muskel	$1,79 \pm 0,17$	1,60-2,04
Aitel-Leber	$37,1 \pm 14,5$	16,4-59,6
Aitel-Kieme	$12,9 \pm 11,2$	5,51-46,3

3.3.8 Nickel – Ni

Abb. 54 zeigt die Ergebnisse der Ni-Messungen. Da kein Ni in den Aitelproben gemessen werden konnte, wurden die Ergebnisse für die Aitel nicht in der Grafik inkludiert. Am meisten Ni war in den Leber- und Kiemenproben mit einem Gehalt von $0,509 \pm 0,325 \text{ mg/kg}$ bzw. $0,665 \pm 0,476 \text{ mg/kg}$. Der Gehalt in den Muskelproben war mit $0,100 \pm 0,036 \text{ mg/kg}$ signifikant geringer. Einen Überblick über die Messergebnisse bietet Tabelle 17.

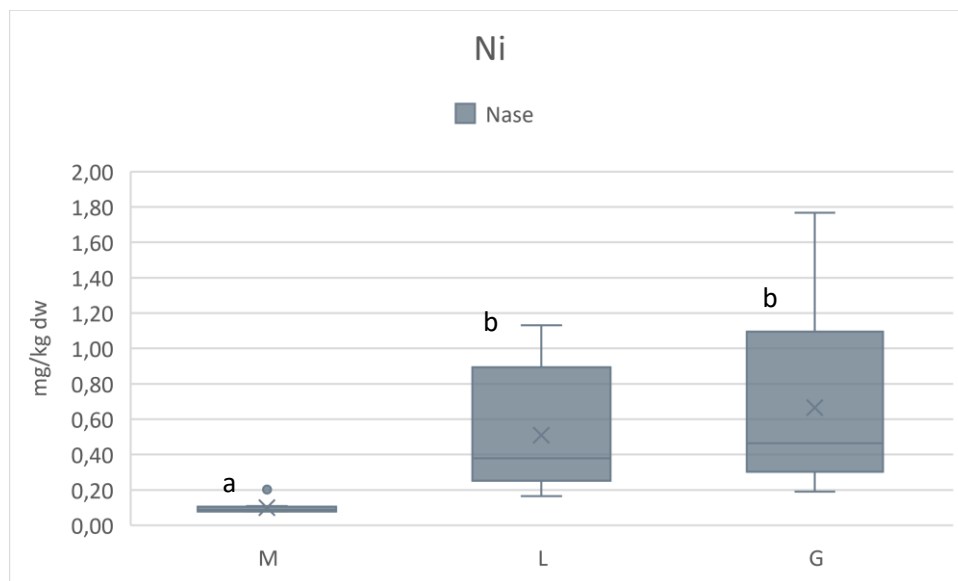


Abbildung 55: Boxplot-Darstellung der Ergebnisse der Ni-Messungen für Nase und Aitel, n=10

Tabelle 17: Mittelwert und Wertebereich der Ni-Messungen für die einzelnen Fisch- und Gewebearten

Gewebeart	Mittelwert (mg/kg dw)	Min-Max (mg/kg dw)
Nase-Muskel	$0,100 \pm 0,036$	$<0,078 - 0,109$
Nase-Leber	$0,509 \pm 0,325$	$0,165 - 1,13$
Nase-Kieme	$0,665 \pm 0,476$	$0,190 - 1,76$
Aitel-Muskel	$<0,097 \pm 0,022$	-
Aitel-Leber	$<0,164 \pm 0,109$	-
Aitel-Kieme	$<0,548 \pm 0,532$	-

3.3.9 Arsen – As

Abb. 55 zeigt die Ergebnisse der As-Messungen. Da nur die Leberproben der Nase messbare Konzentrationen enthielten, wurde nur die Leberkonzentration in der Grafik dargestellt. Die Leberproben der Nasen enthielten $0,470 \pm 0,137 \text{ mg/kg As}$. Einen Überblick über die Ergebnisse bietet Tabelle 18.

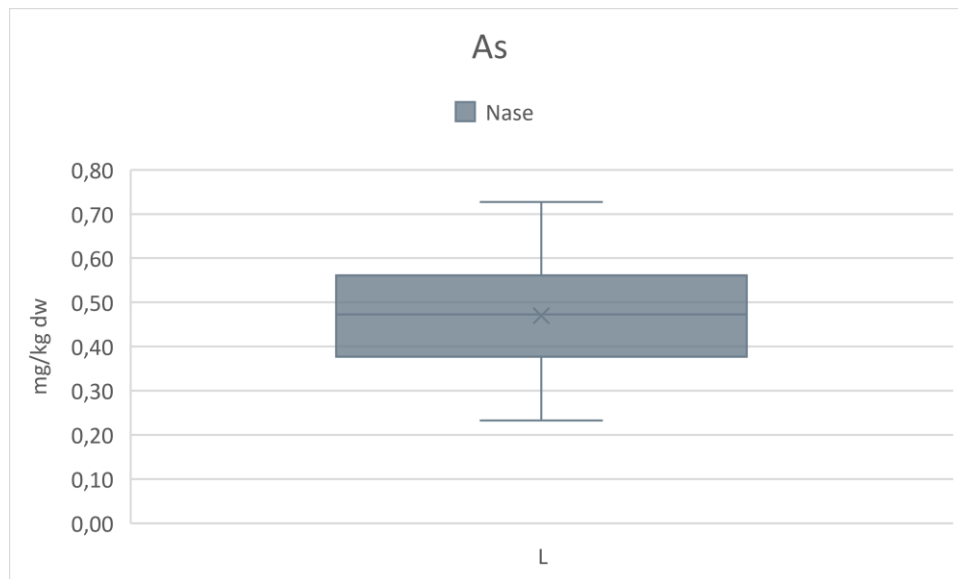


Abbildung 56: Boxplot-Darstellung der Ergebnisse der As-Messungen für Nase und Aitel, n=10

Tabelle 18: Mittelwert und Wertebereich der As-Messungen für die einzelnen Fisch- und Gewebearten

Gewebeart	Mittelwert (mg/kg dw)	Min-Max (mg/kg dw)
Nase-Muskel	$<0,036 \pm 0,014$	-
Nase-Leber	$0,470 \pm 0,137$	0,232-0,727
Nase-Kieme	$<0,118 \pm 0,054$	-
Aitel-Muskel	$<0,030 \pm 0,001$	-
Aitel-Leber	$<0,072 \pm 0,041$	-
Aitel-Kieme	$<0,134 \pm 0,027$	-

3.3.10 Blei – Pb

Abb. 56 zeigt die Ergebnisse der Pb-Messungen. Dabei war der Pb-Gehalt für die Nase in Leber und Kieme mit $0,150 \pm 0,075 \text{ mg/kg dw}$ bzw. $0,292 \pm 0,281 \text{ mg/kg dw}$ am höchsten. Für die Aitel war der Gehalt in den Kiemen mit $0,158 \pm 0,079 \text{ mg/kg dw}$ am höchsten. Am niedrigsten war der Gehalt für sowohl Nase als auch Aitel mit $0,040 \pm 0,022 \text{ mg/kg dw}$ bzw. $0,021 \pm 0,014 \text{ mg/kg dw}$ im Muskelgewebe. Zwischen den beiden Fischarten gab es einen signifikanten Unterschied in den Muskel- und Leberproben, wobei die Nase mehr Pb enthielt. Einen Überblick über die Messergebnisse bietet Tabelle 19.

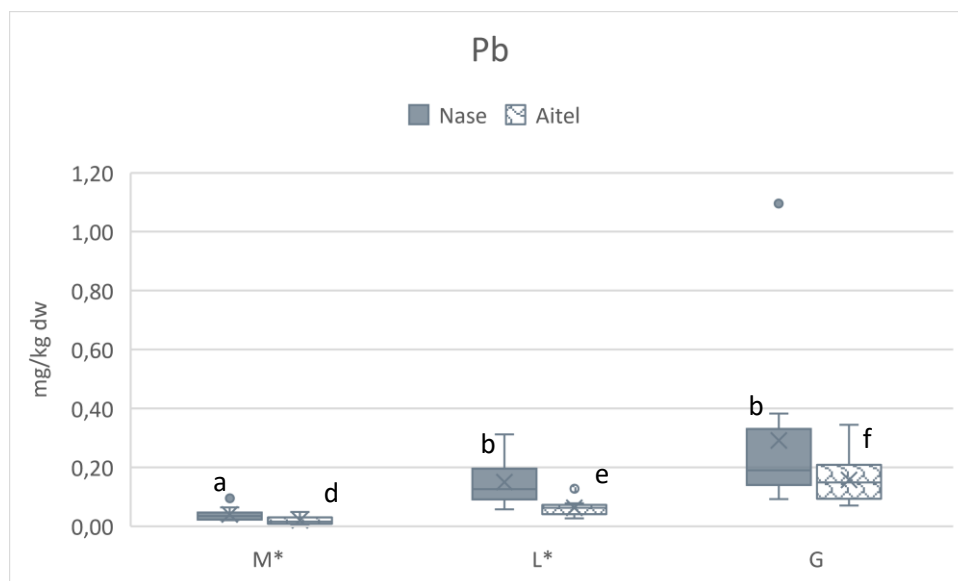


Abbildung 57: Boxplot-Darstellung der Pb-Analysen der Nasen- und Aitel-Proben, n=10

Tabelle 19: Mittelwert und Wertebereich der Pb-Messungen für die einzelnen Fisch- und Gewebearten

Gewebeart	Mittelwert (mg/kg dw)	Min-Max (mg/kg dw)
Nase-Muskel	$0,040 \pm 0,022$	0,020-0,095
Nase-Leber	$0,150 \pm 0,075$	0,058-0,312
Nase-Kieme	$0,292 \pm 0,281$	0,092-1,10
Aitel-Muskel	$0,021 \pm 0,014$	0,004-0,049
Aitel-Leber	$0,063 \pm 0,026$	0,027-0,127
Aitel-Kieme	$0,158 \pm 0,079$	0,071-0,344

3.3.11 Chrom – Cr

Abb. 57 zeigt die Ergebnisse der Cr-Messungen. Dabei war sowohl für die Proben der Nase als auch die Proben der Aitel am meisten Cr mit durchschnittlich $1,49 \pm 0,495$ bzw. $1,73 \pm 0,493$ mg/kg dw in den Kiemen vorhanden. Am wenigsten war für die Nasen-Proben in der Leber mit durchschnittlich $0,228 \pm 0,146$ mg/kg dw enthalten. Signifikant unterschieden haben sich Nase und Aitel nur in den Muskelproben, wobei die Nase etwas mehr Cr enthält. Einen genauen Überblick über die Messergebnisse bietet Tabelle 20.

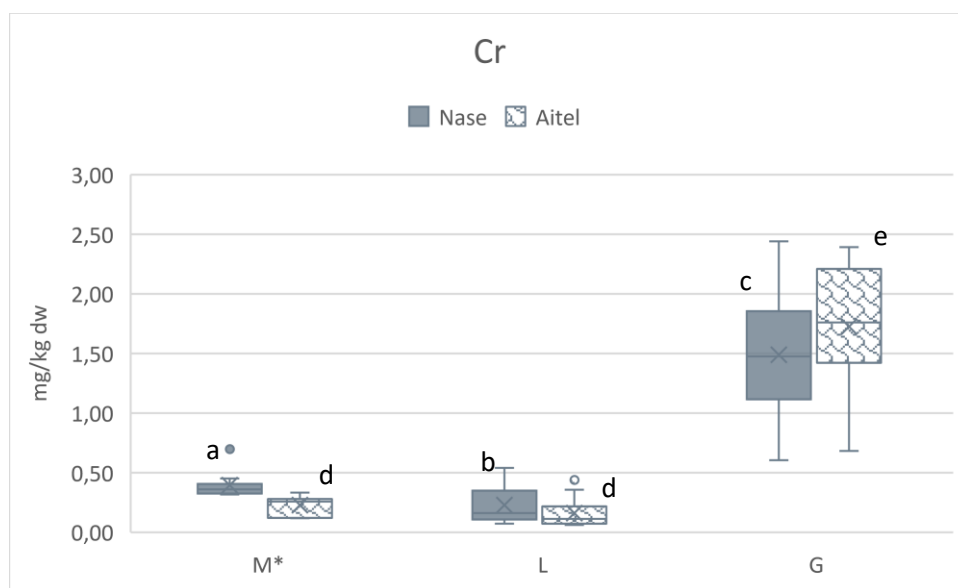


Abbildung 58: Boxplot-Darstellung der Ergebnisse der Cr-Messungen für Nase und Aitel, n=10

Tabelle 20: Mittelwert und Wertebereich der Cr-Messungen für die einzelnen Fisch- und Gewebearten

Gewebeart	Mittelwert (mg/kg dw)	Min-Max (mg/kg dw)
Nase-Muskel	$0,393 \pm 0,108$	0,316-0,696
Nase-Leber	$0,228 \pm 0,146$	0,072-0,540
Nase-Kieme	$1,49 \pm 0,495$	0,604-2,44
Aitel-Muskel	$0,239 \pm 0,073$	0,118-0,333
Aitel-Leber	$0,159 \pm 0,124$	0,061-0,438
Aitel-Kieme	$1,73 \pm 0,493$	0,682-2,31

3.3.12 Biokonzentrationsfaktoren – Leber/Sediment und Muskel/Sediment

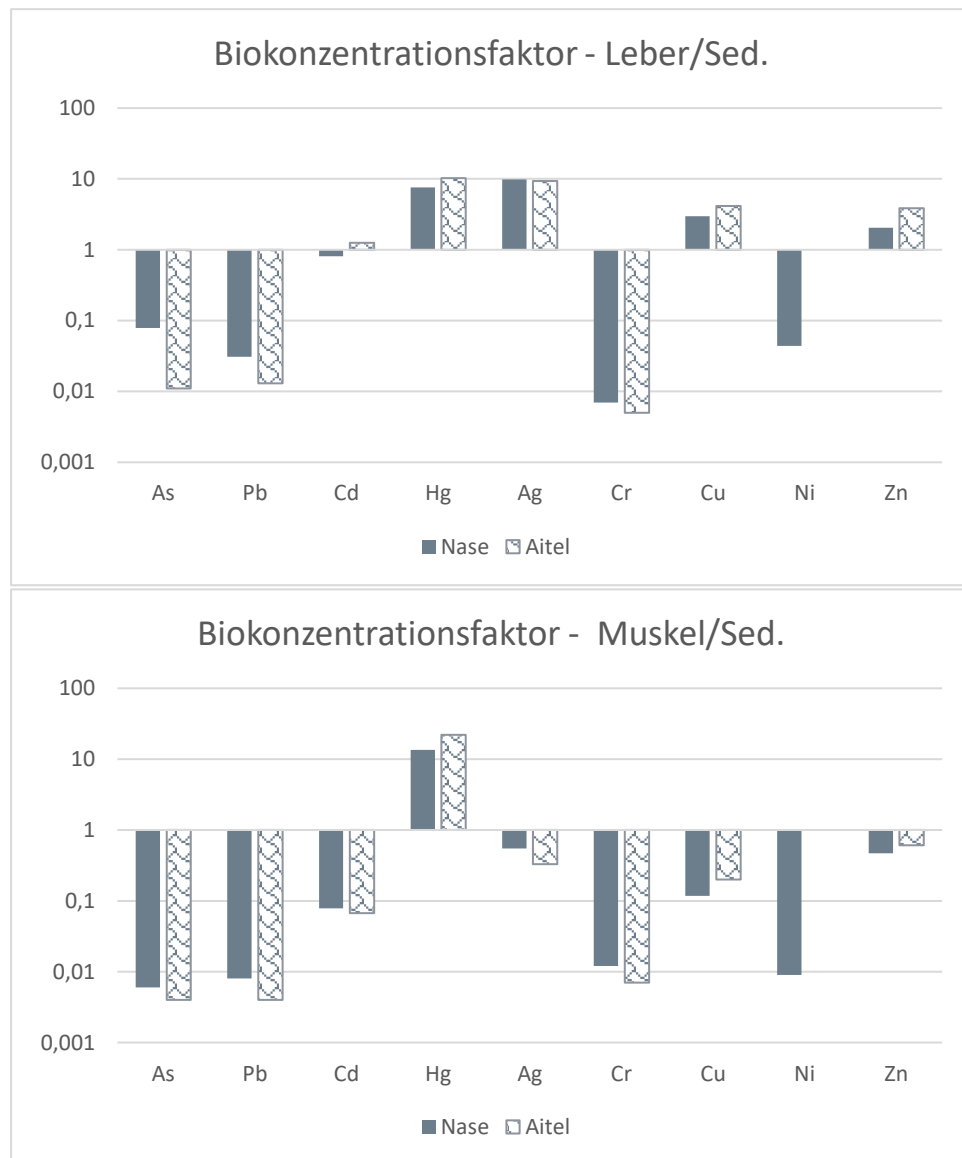


Abbildung 59: Biokonzentrationsfaktoren für Leber/Sediment (oben) und Muskel/Sediment (unten)

Abbildung 59 zeigt die berechneten Biokonzentrationsfaktoren für Leber und Muskel von Nase und Aitel in Bezug auf das Sediment. Am geringsten wurde bei den Aitel-Lebern Cr mit einem BCF von 0,005 angereichert und am meisten Hg mit einem BCF von 10,2. Am geringsten wurde bei den Nasen-Lebern Cr mit einem BCF von 0,007 angereichert und am meisten Ag mit einem BCF von 9,81. Am geringsten wurde bei den Aitel-Muskeln As und Pb mit einem BCF von 0,004 angereichert und am meisten Hg mit einem BCF von 22,0. Am geringsten wurde bei den Nasen-Muskeln As mit einem BCF von 0,006 angereichert und am meisten Hg mit einem BCF von 13,5.

4. Diskussion

4.1 Düngemiteleintrag ins Wasser

Sowohl bei vielen analysierten Anionen ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$) als auch bei vielen analysierten Metallen ($\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+/\text{Sr}^{2+}$) war das Maximum der Konzentrationen in den Proben 1-5 zu finden, sowohl für Probenreihe „Moser“ als auch „Lorenz“ (Ausnahme NO_3^- bei „Lorenz“). Dies spiegelt sich auch in den gelösten Feststoffen (Abb.24) und der Leitfähigkeit (Abb.23) wider. Des Weiteren ist oftmals ein sprunghafter Anstieg der Konzentration zu betrachten, wobei dies für „Moser“ zwischen den Proben 5/6 und für „Lorenz“ zwischen den Proben 4/5 geschieht. Mit Ausnahme von Sr sind alle der genannten Elemente und Anionen Bestandteile mineralischer Dünger bzw. ihrer Ausgangsstoffe (Düngemittelverordnung 2004). Sr hingegen kann eine Verunreinigung von Düngern auf Phosphorbasis sein, da die phosphatischen Ausgangsrohstoffe zur Herstellung dieser Dünger, wie z.B. CaPO_4 , mit Sr Verunreinigt sein können, indem das Ca des Phosphats durch Sr ersetzt wird (Dorozhkin 2016 / Kratz, Schnug 2005). Dies verleitet zur Annahme, dass der sprunghafte Anstieg dieser Analyten auf einen punktuellen Düngemiteleintrag zurückzuführen ist. Des Weiteren scheint dieser Eintrag über einen längeren Zeitraum zu erfolgen, zumindest war er sowohl im Herbst 2020 als auch im Frühjahr 2021 mit fast gleicher Intensität nachzuweisen (Vgl 3.1). Als wahrscheinlichste Ursache wird die Firma *Frutur* angenommen, deren Gewächshauskomplex zwischen den Probenahmestellen 5 und 6 liegt, wie Abb. 56 zeigt.



Abbildung 60: Satellitenbild der Probenahmestellen 5/6, Rot umkreist ist der Gewächshauskomplex der Firma Frutur

Die Firma *Frutura* produziert dort verschiedene Gemüsesorten, laut Website (*Frutura.com*) Tomaten, Paprika, Gurken, Melanzani und Radieschen. Dies ist interessant, da die genannten Gemüsesorten als chloridempfindlich gelten (Sternecker 2014 / Blank 2009) und deshalb ein Cl^- -Anstieg, wie er hier vorliegt, wider der Erwartung ist. Jedoch ist die Chloridempfindlichkeit der genannten Pflanzen nicht absolut, sondern bis zu einem gewissen Grad tolerieren die Pflanzen das Cl^- und somit könnte der Cl^- -Anstieg dennoch aus einem Düngemiteleinsatz für die genannten Pflanzen resultieren. Ein weiterer Erklärungsansatz wäre, dass das zur Bewässerung verwendete Thermalwasser einen erhöhten Cl^- -Gehalt besitzt und kein Cl^- -haltiger Dünger zum Einsatz kommt. (BMLFUW 2008 / *Frutura.com*) Dem widerspricht jedoch ein weiteres Interessantes Detail. Laut *Frutura*-Website liegt ein geschlossener Wasserkreislauf vor (Zitat: „Bei dem gesamten Vorgang [der Bewässerung; Anm.] geht kein Tropfen Wasser verloren!“), was einem Anstieg durch in den Fluss geleitetes Abwasser aus der Bewässerung widerspricht. (*Frutura.com*) Um abschließend zu klären, ob und wie der Anstieg der verschiedenen Elemente und Ionen durch *Frutura* verursacht wird, oder ob eventuelle eine andere Quelle für den Eintrag verantwortlich ist, sind weitere Analysen erforderlich. Der Umstand, dass im Vergleich „Moser“/„Lorenz“ der sprunghafte Anstieg um eine Probenahmestelle verschoben scheint, liegt darin begründet, dass bei der Probennahme für „Moser“ eine Probenahmestelle nicht exakt wiedergefunden werden konnte und deshalb der Anstieg um eine Probenahmestelle verschoben wiederzufinden war.

4.2 Zusammenhang LOI und Schwermetallgehalt

Bei der Analyse der verschiedenen Schwermetalle in den Sedimentproben wurde festgestellt, dass der Schwermetallgehalt stark mit dem Gehalt an organischem Material zusammenhängt. Abb. 47 zeigt diesen Zusammenhang beispielhaft an den Elementen Cd und Cu und wie zu erkennen ist, liegt eine starke Korrelation mit dem LOI vor. Aus dieser Korrelation einen kausalen Zusammenhang abzuleiten ist naheliegend, doch vielleicht nur bedingt richtig. Dawson und Macklin (Dawson, Macklin 1998) haben 1998 an Sedimentproben aus Flussauen eines englischen Flusses untersucht, woran sich ausgewählte Schwermetalle im Sediment binden. Sie stellten große, elementspezifische Unterschiede im Bindungsverhalten der Schwermetalle fest. Manche Schwermetalle zeigten eine höhere Affinität für anorganische Adsorbentien, wie Fe/Mn Oxide und Hydroxide, andere zeigten eine höhere Affinität für organische Bestandteile. In Abb. 47 ist ersichtlich, dass sowohl Cu als auch Cd eine ähnlich hohe Korrelation mit dem LOI aufweisen. In Dawsons Untersuchung wurde jedoch beschrieben, dass Cu zwar eine hohe Affinität zu organischem Material aufweist, Cd hingegen eine weitaus höhere Affinität zu

Carbonaten besitzt. In Bezug auf Abb. 47 scheint dies etwas widersprüchlich, wenn man bedenkt, dass ein höherer Anteil an organischem Material gleichzeitig einen geringeren Anteil anorganischen Materials bedeutet und für Cd dementsprechend eher eine negative Korrelation mit dem steigenden LOI vorliegen sollte. Einen möglichen Erklärungsansatz liefern Hu et al. 2013 (Hu et al. 2013 / vgl auch Gao, Li 2012 / Haddout et al. 2021) indem sie die Korrelation von organischen Bestandteilen und Schwermetallgehalt auf die Partikelgröße des Sediments zurückführen. So dass demnach sowohl die Menge an organischem Material als auch die Schwermetallbelastung mit einer Proportionalität gleichen Vorzeichens von der Korngröße abhängen. Durch den höheren Anteil an organischem Material, bei sinkender Korngröße, steigt der Gehalt an Elementen organischer Affinität und gleichzeitig steigt durch die größere spezifische Oberfläche der Gehalt an Elementen anorganischer Affinität. Mit diesem Ansatz könnte erklärt werden, wieso sowohl Elemente organischer Affinität als auch Elemente anorganischer Affinität mit dem LOI zunehmen. Da die Korngrößenverteilung der Sedimentproben im Rahmen dieser Arbeit nicht bestimmt wurde, kann abschließend nicht gesagt werden, ob zwischen LOI und Schwermetallgehalt für jedes Element eine direkte, kausale Abhängigkeit besteht, oder ob die Korngrößenverteilung als zugrunde liegende Größe für das beobachtete Phänomen in Frage kommt.

4.3 Belastung des Sediments, Häufigkeit in der Erdkruste

Tabelle 21 gibt einen Überblick über die einzelnen analysierten Elemente im Sediment und stellt sie im Vergleich mit dem österr. Background sowie der „praktisch unbelastet“ Einstufung übersichtlich dar. In der Tabelle wurden die Werte aus Sedimentreihe A und C zusammengefasst (n=30). Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass das Sediment der Lafnitz im untersuchten Abschnitt für nahezu alle Elemente weit bis sehr weit unter dem österreichischen Backgroundwert liegt und somit als unbelastet einzustufen ist und auch ein anthropogener Eintrag von Schwermetallen als unwahrscheinlich gilt. Die einzige Ausnahme ist Cr, das im Durchschnitt zwar unter dem österreichischen Background liegt, doch bei einigen Probenahmestellen als praktisch unbelastet einzustufen ist und bei Probenahmestelle 12 (Vgl. Abb. 39) ist das Sediment sogar als unbelastet bis mäßig belastet einzustufen.

Tabelle 21: Darstellung von Mittelwert (MW), Standardabweichung (STAW) und dem 90. Percentil im Vergleich zum österr. Background, dem Richtwert für praktisch unbelastetes Sediment und dem durchschnittlichen Gehalt der oberen Kontinentalkruste (UCC). Es wurden die Probenreihen A und C zusammengefasst (n=30). Alle Werte sind als mg/kg zu verstehen.

Element	MW	STAW	90. Percentil	Österr. Background	Praktisch unbelastet	UCC
As	5,98	2,50	6,89	12	16	1,5
Pb	4,82	4,32	4,46	36	48	-
Cd	0,090	0,064	0,104	0,5	0,75	-
Cr	33,0	24,3	60,4	39	53	35
Cu	8,96	9,06	10,8	40	53	-
Ni	11,60	7,23	21,3	36	48	20
Hg	0,021	0,022	0,020	0,22	0,29	-
Ag	0,160	0,201	0,388	-	-	-
Zn	40,4	26,0	51,8	124	165	71

Vergleicht man die erhaltenen Mittelwerte mit denen der oberen Kontinentalkruste (McLennan 1985), so sie vorhanden sind, dann wird ersichtlich, dass bis auf As, das in den Proben der Lafnitz weitaus stärker vorhanden ist als in der UUC, alle Elemente, für die Werte vorhanden sind, unter dem Wert der UUC liegen. Bei Cr und Ni liegt zwar der Mittelwert unter, das 90. Percentil jedoch über dem Wert der UUC.

4.4 Fischbelastung

Grundsätzlich kann zu den Fischanalysen gesagt werde, dass die Leberproben in der Regel höhere Schwermetallgehalte aufwiesen, als die Muskelproben. Die große Ausnahme dazu ist Hg, welches in den Muskelproben weitaus stärker vertreten war. Dies ist jedoch nicht weiter verwunderlich, denn die Leber fungiert als Speicherorgan für Spurenelemente und ist gleichzeitig das Hauptorgan für ihren Stoffwechsel (1.3.2 / Hofer, Lackner 1995). Hg hingegen wird hauptsächlich in Form von Me-Hg gespeichert, was sich durch eine hohe Lipophilie und Affinität zu Muskelgewebe auszeichnet. Die spiegelt sich auch in den unterschiedlichen Biokonzentrationsfaktoren für Muskel und Leber wider, die in Abb. 59 dargestellt sind (Anhang Tabelle 23). Dabei ist ersichtlich, dass in der Leber, mit Ausnahme von Hg und evtl. Cr, eine weitaus stärkere Anreicherung in Bezug auf das Sediment stattfindet.

Auch wenn für die Tiere die Belastung jedes Organs von Relevanz ist, ist für den Mensch die Belastung des Muskelfleischs von besonderem Interesse, da hauptsächlich dieses konsumiert wird. Um eine gewisse Ernährungssicherheit zu gewährleisten hat die EU 2006 in ihrer *Verordnung zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln* (EU-Verordnung 2006) für diverse Schadstoffe, unter anderem Pb, Cd und Hg, Grenzwerte für Muskelfleisch von Fischen festgelegt. Tabelle 22 zeigt den Vergleich der EU-Grenzwerte für Muskelfleisch von Fischen mit den gemessenen Werten der jeweiligen Fischarten. Zu beachten ist, dass die EU-Grenzwerte auf das Frischgewicht bezogen sind. Um auf das Frischgewicht der Fische zurückzurechnen, wurden die Werte für das Trockengewicht durch 5 dividiert, da das Frischgewicht bei Süßwasserfischen in der Regel das Fünffache des Trockengewichts beträgt. (Palle 2018)

Tabelle 22: Darstellung des EU-Grenzwerts der Elemente Pb, Cd und Hg für Muskelfleisch von Fischen, sowie die Mittelwerte (MW, n=10) und Höchstwerte für Nase und Aitel. Alle Werte sind in mg/kg fw (fresh weight) zu verstehen

Element	EU-Grenzwert	Nase MW	Nase Höchstw.	Aitel MW	Aitel Höchstw.
Pb	0,30	0,008±0,004	0,019	0,004±0,003	0,010
Cd	0,050	0,001±0,000	0,003	<0,001±0,000	0,002
Hg	0,50	0,057±0,011	0,077	0,092±0,035	0,148

Aus Tabelle 22 ist ersichtlich, dass keine der untersuchten Fischarten für kein Element die angegebenen Grenzwerte überschreitet, weder im Durchschnitt noch liegt der höchste gemessene Wert über dem EU-Grenzwert. Somit gelten sowohl die untersuchten Nasen als auch die untersuchten Aitel nach EU-Vorschrift, in Bezug auf die genannten Elemente, als sicher für den Verzehr.

Auch wenn die gemessenen Werte ernährungstechnisch für den Menschen als harmlos einzustufen sind, heißt dies nicht, dass durch Konzentrationen dieser Größenordnung generell kein Schaden entstehen kann. So hat die Europäische Union 2013 in ihrer *Richtlinie zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik* als Umweltqualitätsnorm (UQN) Hg und Hg-haltige Verbindungen als prioritär gefährliche Stoffe eingestuft und als Richtwert, um einen negativen Einfluss auf den Lebensraum der Spezies weitgehend auszuschließen, für Fische einen Muskelgehalt von 0,020mg/kg fw angegeben. Wie in Tabelle 22 ersichtlich, wird dieser Wert sowohl für die Nase als auch die Aitel um mehr als das Doppelte überschritten. Deshalb kann durchaus ein Schaden für das Ökosystem bereits bestehen, auch wenn für den Menschen direkt noch keine Gefahr besteht.

Als abschließendes Fazit ist zu sagen, dass das Sediment der Lafnitz, sowie die untersuchten Fische, den Eindruck eines von Schwermetallen weitgehend unbelasteten Ökosystems hinterlassen. Doch auch wenn die Belastungssituation derzeit keinen Handlungsbedarf nahelegt, so gibt es doch Dinge, wie der hohen Biokonzentrationsfaktor für manche Schwermetalle, oder eben der weit überschrittene empfohlene Hg-Gehalt nach EU UQN, die man aus ökotoxikologischer Sicht im Hinterkopf behalten sollte.

5. Zusammenfassung

Im Laufe der globalen Industrialisierung wurden mehr und mehr Schadstoffe in die Umwelt freigesetzt. Eine große und problematische Schadstoffklasse, besonders in aquatischen Systemen, stellen die Schwermetalle und ihre Verbindungen dar. Sowohl in den Meeren dieser Welt als auch in Süßgewässern – Schwermetallbelastungen bedrohen diese Ökosysteme weltweit. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der österreichische Fluss „Lafnitz“ und die zwei dort heimischen Fischarten Aitel (*Squalius cephalus*) und Nase (*Chondrostoma nasus*) auf ihre Schwermetallbelastung untersucht. Zur Analyse wurden die gefriergetrockneten Sediment- und Gewebeproben mit Säure aufgeschlossen und anschließend mittels Graphitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie (AAS), Kaltdampf-AAS und Total reflection X-Ray Fluorescence (TXRF) untersucht. Es wurden 15 Sedimentproben und 60 Fischproben untersucht, wobei pro Fischart (n=10) 30 Proben, gleichmäßig auf die Gewebearten „Muskel“, „Leber“ und „Kieme“ aufgeteilt, vorlagen. Die analysierten Sedimentproben waren durchwegs unbelastet und unter dem österreichischen Background. Die Ausnahme stellte das Element Chrom, das bei einigen Proben vermehrt vorlag und bei Probe 12 mit 116,6mg/kg zur Einstufung „unbelastet bis mäßig belastet“ führte. Bei den Sedimentproben wurde eine starke Korrelation des Schwermetallgehalts und dem Anteil organischer Bestandteile gefunden ($R^2=0,9247$ für Kupfer). Die Fischproben wiesen teilweise signifikante Unterschiede in der Speicherfunktion der einzelnen Gewebearten auf, wobei für die statistische Auswertung verschiedene t-Tests von Microsoft Excel verwendet wurden. So lag Quecksilber in den Muskelproben der Aitel in einer Konzentration von $0,462 \pm 0,177 \text{ mg/kg dw}$ vor, während die Kiemenproben nur $0,070 \pm 0,031 \text{ mg/kg dw}$ enthielten. Auch zwischen den Fischarten lagen teilweise große Unterschiede im Aufnahme- und Speichervermögen vor. Nickel war bei den Aitelproben nicht festzustellen, bei den Nasen hingegen enthielten die Leberproben z.B. $0,509 \pm 0,325 \text{ mg/kg dw}$. Zum Vergleich der unterschiedlichen Speicherkapazitäten von Leber und Muskel wurden die Biokonzentrationsfaktoren (BCF) für die genannten Gewebearten in Bezug auf das Sediment berechnet. Zudem wurden die Elementkonzentrationen von Blei, Cadmium und Quecksilber mit den Lebensmittelgrenzwerten der EU verglichen, wobei die in den Fischen gemessenen Werte weit unter diesen Grenzwerten lagen.

Weiters wurden 15 Wasserproben der Lafnitz physikalisch-chemisch charakterisiert. Dies inkludiert z.B. Temperatur, Leitfähigkeit, pH und das Säurebindungsvermögen. Außerdem wurden die Wasserproben auf diverse Anionen und Kationen untersucht, wie z.B. K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ , SO_4^{2-} . Für die Ionen NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Sr^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} wurde ein sprunghafter Konzentrationsanstieg zwischen Probe 5 und 6 beobachtet. Der Anstieg wurde auf einen neben dem Fluss liegenden Glashauskomplex der Firma Frutura als wahrscheinliche Ursache zurückgeführt.

6. Abstract

In the recent history of globalized industrialization more and more harmful substances got introduced into the environment. One huge class of pollutants, especially in aquatic systems, are heavy metals and their compounds. Be it salt- or freshwater – heavy metal pollution threatens global ecosystems. The aim of this work was to investigate the Austrian river “Lafnitz” and the two native species “Aitel” (*Squalius cephalus*) and “Nase” (*Chondrostoma nasus*) with regards to their heavy metal pollution levels. The used samples were freeze-dried, before they got digested with acid. The dissolved samples were then analyzed by graphite-furnace-atom-absorption-spectroscopy (AAS), cold-vapor AAS and total reflection x-ray fluorescence (TXRF). 15 sediment samples and 60 fish samples were analyzed, whereby for each fish-species 30 samples, spread evenly among the three tissue-types “muscle”, “liver” and “gills”, were present. The analyzed sediment samples did not contain any relevant concentration of the investigated heavy metals, except for chromium. Chromium, in some samples, was found to be in higher concentrations than the Austrian background, with the maximum of 116,6mg/kg in sample 12. This led to the classification of sample 12 as “unencumbered to moderately polluted”. A high correlation of the content of organics and the content of heavy metals was found in the sediment samples ($r^2=0,9247$ for Cu). For statistical analysis of the results of the fish-samples different t-tests in Microsoft excel were used. The fish-tissues differed significantly in many cases, regarding their storage capacity of heavy metals. For example, the mercury concentration in the muscle-samples of the Aitel amounted to $0,462\pm0,177\text{mg/kg dry weight (dw)}$, whereas the concentration in the gills only amounted to $0,070\pm0,031\text{mg/kg dw}$. Also, there was a difference in the storage and intake capacity of some elements for some tissues between the fish species. Nickel was not present in any Aitel-tissue, but it was found in all Nase-tissues (e.g., liver: $0,509\pm0,325\text{mg/kg dw}$). To compare those different storage capacities, the bioconcentrationfactors (BCF) between the tissues and sediment were calculated. Additionally, the concentrations of cadmium, mercury and lead were compared with the EU food-limits. No relevant contamination was found.

In addition to that, 15 water samples were characterized on their physico-chemical properties, including temperature, conductivity, pH and the acid binding capacity. Aside from that, the water-samples were analyzed for different ions (positive and negative) like K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ , SO_4^{2-} . For the ions NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Sr^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} a sharp increase in their concentrations was observed between samples 5 and 6. As a probable cause, the glasshouse of the company “Frutura” was identified.

7. Literaturverzeichnis

- Alloway, B.J., Ayres, D.C. Chemical Principles of Environmental Pollution, B.J. Alloway and D.C. Ayres. *Water, Air, & Soil Pollution* **102**, 216–218 (1998). <https://doi.org/10.1023/A:1004986209096>
- Andreas, H. (1996). Schweinfurter grün - Das brillante gift. *Chemie in Unserer Zeit*, 30(1), 23–31. <https://doi.org/10.1002/ciuz.19960300105>
- ATSDR. (1990). Public Health Statement Silver. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, 1–5.
- Baer, J., Blank, S., Chucholl, Ch., Dußling, U. & Brinker A. (2014): Die Rote Liste für Baden-Württembergs Fische, Neunaugen und Flußkrebse - Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, Stuttgart, 64 S
- Beek, B. (2000). Bioaccumulation – New Aspects and Developments. 10.1007/10503050
- BMLFUW (2004), *Erhebung der Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 2004*
- BMLFUW. (2008). Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Garten- und Feldgemüsebau, 3. Auflage. *Bundesministerium Für Land- Und Forstwirtschaft, Umwelt Und Wasserwirtschaft, Wien*.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (2004): *Düngemittelverordnung*
- Bundesinstitut für Risikobewertung (2012). *Kontaktallergene in Spielzeug: Gesundheitliche Bewertung von Nickel und Duftstoffen*. 010, 1–17.
- Burkhardt-Holm, P. (2017). Der Fisch – wie läßt er sich als Indikator für die Qualität seiner Umwelt einsetzen? *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 10(1), 6–15. <https://doi.org/10.14512/gaia.10.1.4>
- Brian J. Alloway. (2013). Heavy Metals in Soils. In *Heavy Metals in Soils*. http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-94-007-4470-7_10
- Caffrey, J. M., Acevedo, S., Gallagher, K., & Britton, R. (2008). Chub (*Leuciscus cephalus*): A new potentially invasive fish species in Ireland. *Aquatic Invasions*, 3(2), 201–209. <https://doi.org/10.3391/ai.2008.3.2.11>

SUBSTANCE EVALUATION CONCLUSION as required by REACH Article 48 and EVALUATION REPORT
for silver, 2018

Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union. (2013). Richtlinie 2013/39/EU der Kommission vom 12. August 2013 zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik. *Amtsblatt Der Europäischen Gemeinschaften L*, 226, 17.

Dawson, E. J., & Macklin, M. G. (1998). Speciation of heavy metals in floodplain and flood sediments: a reconnaissance survey of the Aire Valley, West Yorkshire, Great Britain. In *Environmental Geochemistry and Health* (Vol. 20, Issue 2, pp. 67–76).
<https://doi.org/10.1023/A:1006541724394>

Deutscher Angelfischerverband e.V. (2020) *Die Nase (Chondrostoma Nasus) Fisch des Jahres 2020*

Dorozhkin, S. V. (2016). Calcium orthophosphates (CaPO₄): occurrence and properties. In *Progress in Biomaterials* (Vol. 5, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s40204-015-0045-z>

Dümpelmann, C., & Korte, E. (2013). Rote Liste der Fische und Rundmäuler Hessens (Pisces & Cyclostomata). *Natur in Hessen*, 4, 37.

Europäisches Parlament und Rat (2005). *L 350/58*. 58–67.

Gao, X., & Li, P. (2012). Concentration and fractionation of trace metals in surface sediments of intertidal Bohai Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 64(8), 1529–1536.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.04.026>

Haddout, S., Priya, K. L., Casila, J. C. C., & Samad, B. (2021). Assessment of heavy metal contamination in the surficial sediments from the Sebou River Estuary, Morocco. *Environmental Forensics*, 0(0), 1–9. <https://doi.org/10.1080/15275922.2021.1887970>

Hofer, R., and R. Lackner. 1995. *Fischtoxikologie: Theorie und Praxis* (Fischer)

Hu, B., Li, G., Li, J., Bi, J., Zhao, J., & Bu, R. (2013). Spatial distribution and ecotoxicological risk assessment of heavy metals in surface sediments of the southern Bohai Bay, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(6), 4099–4110.
<https://doi.org/10.1007/s11356-012-1332-z>

- IARC. (2012). and Dusts. *Iarc Monographs*, 100(Arsenic, metals, fibres, and dusts), 407–443.
<https://www.iarc.fr/> aufgerufen am 14.09.21
- Institut für Pflanzenernährung Fachgebiet, Blank O. (2009): *Rhizosphäre und Düngung Universität Hohenheim Müssen Johannisbeeren chloridfrei gedüngt werden? -Studien zur Aufnahme und Verlagerung von Chlorid durch verschiedene Johannisbeerarten.*
- Kaim, Wolfgang, and Brigitte Schwederski. 2005. *Bioanorganische Chemie: zur Funktion chemischer Elemente in Lebensprozessen (B.G. Teubner: Stuttgart).*
- Kohlert, S. (2020). *BACHELORARBEIT Unterrichtsfach Chemie: Metalle in Sedimenten des Lafnitz - Flusses.*
- Kommission, E. (2006). VERORDNUNG (EG) Nr. 1881/2006 DER KOMMISSION vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. *Amtsblatt Der Europäischen Union*, 2006(1881), 5–24.
- Korte, E. (2017). *Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Rote Liste der Fische und Rundmäuler Hessens (Pisces & Cyclostomata). January 2013.*
- Kratz, S., & Schnug, E. (2005). Schwermetalle in P-Düngern. *Landbauforschung Völkenrode*, 286, 37–46.
- Lorenz, S. (2020). *Unterrichtsfach Chemie: Die physikalisch-chemische Charakterisierung der Lafnitz.*
- Markert, Bernd, Stefan Fränzle, & Simone Wünschmann. 2015. *Chemical Evolution: The Biological System of the Elements*. In, 1 online resource (XVII, 282 pages 75 illustrations, 48 illustrations in color. Cham: Springer International Publishing: Imprint: Springer
- Nachman, K. E., Graham, J. P., Price, L. B., & Silbergeld, E. K. (2005). Arsenic: A roadblock to potential animal waste management solutions. *Environmental Health Perspectives*, 113(9), 1123–1124.
<https://doi.org/10.1289/ehp.7834>
- Outa, J. O., Kowenje, C. O., Plessl, C., & Jirsa, F. (2020). Distribution of arsenic, silver, cadmium, lead and other trace elements in water, sediment and macrophytes in the Kenyan part of Lake Victoria: spatial, temporal and bioindicative aspects. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(2), 1485–1498. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06525-9>
- Palle, O. H. (2018). *DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS: Schwermetalle im Flussbarsch Perca fluviatilis aus dem Müggelsee bei Berlin.*

- Prasad, A. S. (2020). Clinical and immunological effects and biomarkers of zinc deficiency. In *Essential and Toxic Trace Elements and Vitamins in Human Health*. Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-805378-2.00002-4>
- Rahman, M. A., Hogan, B., Duncan, E., Doyle, C., Krasso, R., Rahman, M. M., Naidu, R., Lim, R. P., Maher, W., & Hassler, C. (2014). Toxicity of arsenic species to three freshwater organisms and biotransformation of inorganic arsenic by freshwater phytoplankton (*Chlorella* sp. CE-35). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 106, 126–135.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.03.004>
- Riedel, Erwin and Janiak, Christoph. *Anorganische Chemie*, Berlin, New York: De Gruyter, 2011.
<https://doi.org/10.1515/9783110225679>
- Reichenbach-Klinke H.H. (1974) *Der Süßwasserfisch als Nährstoffquelle und Umweltindikator*
- Romig, Gerstmeier (1998) *Die Süßwasserfische Europas*
- Schnuch, A., Uter, W., Geier, J., & Gefeller, O. (2002). Epidemiology of contact allergy: An estimation of morbidity employing the clinical epidemiology and drug-utilization research (CE-DUR) approach. *Contact Dermatitis*, 47(1), 32–39. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0536.2002.470107.x>
- Silbergeld, E. K., & Nachman, K. (2008). The environmental and public health risks associated with arsenical use in animal feeds. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1140, 346–357.
<https://doi.org/10.1196/annals.1454.049>
- Spindler, T. (1997). Fischfauna in Österreich: Ökologie – Gefährdung – Bioindikation Fischerei – Gesetzgebung. In *Umweltbundesamt Österreich*.
- S.R., McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution: An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks*. Blackwell Scientific
- Sternecker C. (2014). *Universität für Bodenkultur Wien Masterarbeit: AUSWIRKUNG UNTERSCHIEDLICHER KONZENTRATIONEN QUALITÄTSPARAMETER BEI GEMÜSEKULTUREN*
- Strasdeit, H. (2001). Das erste cadmiumspezifische Enzym. *Angewandte Chemie*, 113(4), 730–732.
[https://doi.org/10.1002/1521-3757\(20010216\)113:4<730::aid-ange7300>3.3.co;2-j](https://doi.org/10.1002/1521-3757(20010216)113:4<730::aid-ange7300>3.3.co;2-j)

United Nations Environment Programme (2009). *Minamata Convention on Mercury*. 1–30.

Wadhera, A., & Fung, M. (2005). Systemic argyria associated with ingestion of colloidal silver. *Dermatology Online Journal*, 11(1). <http://dx.doi.org/10.5070/D30832g6d3> Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/0832g6d3>

Wang, H., Liang, Y., Li, S., & Chang, J. (2013). Acute Toxicity, Respiratory Reaction, and Sensitivity of Three Cyprinid Fish Species Caused by Exposure to Four Heavy Metals. *PLoS ONE*, 8(6), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065282>

Wolfram, G., & Mikschi, E. (2007). Rote Liste der Fische (Pisces) Österreichs Abstract. *Rote Listen Gefährdeter Tiere Österreichs: Checklisten, Gefährdungsanalysen, Handlungsbedarf. Teil 2. Grüne Reihe Des Lebensministeriums Band 14/2*, 61–198.

Links – allesamt aufgerufen am 14.09.2021

Frutura-Website, <https://frutura.com/ueber-uns/frischevorsprung/thermal-gemuesewelt/>

<https://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/10173883/4664282/>

https://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=magazin_30_2001

<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea32-heavy-metal-hm-emissions-1/assessment-10>

<https://www.mercuryconvention.org/en>

<https://goldbook.iupac.org/terms/view/CT01038>

https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/active-substances/?event=as.details&as_id=891#inline-nav-1

<http://www.deutsch.felber-forestal.com/impraegnierung/index.html>

<https://www.sciencedirect.com/topics/physics-and-astronomy/gallium-arsenides>

<https://www.indexmundi.com/minerals/?country=cn&product=cadmium>

<https://www.ciaaw.org/atomic-weights.htm>

<https://www.epa.gov/international-cooperation/mercury-emissions-global-context#worldwide>

<https://insg.org/index.php/about-nickel/production-usage/>

<https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/minerals-mining/minerals-metals-facts/zinc-facts/20534>

<https://www.iucnredlist.org/species/61205/19009224>

Webelements:

1. <https://www.webelements.com/cadmium/>
2. <https://www.webelements.com/lead/>

Statista:

1. <https://www.statista.com/statistics/253293/silver-production-volume-worldwide/>
2. <https://www.statista.com/statistics/797505/arsenic-worldwide-production/>
3. <https://www.statista.com/statistics/598261/global-refinery-production-of-cadmium/>
4. <https://www.statista.com/statistics/598320/mine-production-of-chromium-worldwide/>
5. <https://www.statista.com/statistics/254917/total-global-copper-production-since-2006/>
6. <https://www.statista.com/statistics/587342/mine-production-of-mercury-worldwide/>
7. <https://www.statista.com/statistics/264872/world-production-of-lead-metal/>

Wikipedia:

1. [https://de.wikipedia.org/wiki/Nase_\(Fisch\)#/media/Datei:Chondrostoma_nasus_\(aka\).jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Nase_(Fisch)#/media/Datei:Chondrostoma_nasus_(aka).jpg)
2. https://de.wikipedia.org/wiki/D%C3%B6bel#/media/Datei:Squalius_cephalus_Prague_Vltava_1.jpg

Anhang

Alle angegebenen Daten von Statista standen zum Veröffentlichungszeitpunkt für nicht-kommerzielle Zwecke frei zur Verfügung. (Vgl. Abb. 61).

▼ Kann ich Statista-Diagramme und -Graphen im Internet verwenden?

Ja, wir gestatten die Verwendung der Diagramme der frei zugänglichen Basis-Statistiken, wenn Sie unsere [Nutzungsbedingungen](#) beachten. Bitte setzen Sie bei Einbindung einer Basis-Statistik auf Ihrer Webseite einen Link auf die entsprechende Statistik bei Statista. Statista bietet speziell für Blogs und Nachrichtenseiten einen kostenlosen [Infografik-Service](#) an. Hier veröffentlichen wir jeden Tag spannende Statistiken in attraktiver grafischer Aufmachung. Renommierete Webseiten und Blogs nutzen diesen Service, u. a. SPIEGEL ONLINE und Mashable.

Abbildung 61: Statista über ihre Einstellung zum Zitieren von Abbildungen. 14.09.21

Der verwendete Graph (Abb.1) von der European Environmental Agency wird mit Erlaubnis eben dieser verwendet (Abb. 62).

Can I use EEA content in my work or in my organisation's products?

EEA reports, graphs and data can be reused and reproduced for both non-commercial and commercial purposes under the following condition:

"The source (EEA) should be clearly acknowledged. Content used may not be altered without the explicit permission of the EEA. However, the use of excerpts of reports is permissible, as long as it is made clear what is EEA material and what is not."

Please read the [legal notice page](#) on our website carefully and pay attention to copyright information relative to the content you would like to reuse or reproduce. For further information, please contact info@eea.europa.eu.

Abbildung 62: Copyright EEA

Die von Wikipedia verwendeten Bilder sind zum Veröffentlichungszeitpunkt für die nicht-kommerzielle Veröffentlichung freigegeben (vgl. Abb. 63 und 64)

Dieses Bild zeigt eine Nase (*Chondrostoma nasus*).

Einzelheiten zur Genehmigung

Diese Datei ist unter der [Creative-Commons-Lizenz „Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 2.5 generisch“](#) (US-amerikanisch) lizenziert.

Dieses Werk darf von dir

- **verbreitet werden** – vervielfältigt, verbreitet und öffentlich zugänglich gemacht werden
- **neu zusammengestellt werden** – abgewandelt und bearbeitet werden

Zu den folgenden Bedingungen:

- **Namensnennung** – Du musst angemessene Urheber- und Rechteangaben machen, einen Link zur Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Diese Angaben dürfen in jeder angemessenen Art und Weise gemacht werden, allerdings nicht so, dass der Eindruck entsteht, der Lizenzgeber unterstütze gerade dich oder deine Nutzung besonders.
- **Weitergabe unter gleichen Bedingungen** – Wenn du das Material wiedermischst, transformierst oder darauf aufbaust, musst du deine Beiträge unter der [gleichen oder einer kompatiblen Lizenz wie das Original](#) verbreiten.

Abbildung 63: Screenshot zur Lizenzierung des Nasen-Bildes auf Wikipedia

Gemeinfrei

File: Squalius cephalus Prague Vltava 1.jpg

Erstellt: 1. März 2011

Standort: 50° 5' 16,64" N, 14° 25' 18,51" E

Abbildung 64: Screenshot zu Lizenzierung des Aitel-Bildes auf Wikipedia

Tabelle 23 zeigt die Biokonzentrationsfaktoren für die untersuchten Fisch- und Gewebearten.

Tabelle 23: Biokonzentrationsfaktoren für die untersuchten Fisch- und Gewebearten

Element	Nase/Sediment			Aitel/Sediment		
	L	M	K	L	M	K
As	0,079	0,006	0,013	0,011	0,004	0,015
Pb	0,031	0,008	0,050	0,013	0,004	0,033
Cd	0,811	0,078	0,311	1,26	0,067	0,289
Hg	7,62	13,48	2,52	10,24	22,0	3,33
Ag	9,81	0,55	1,26	9,38	0,331	1,36
Cr	0,007	0,012	0,045	0,005	0,007	1,725
Cu	2,96	0,118	0,555	4,14	0,200	8,76
Ni	0,044	0,009	0,057	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	2,04	0,469	2,10	3,85	0,609	9,16

Tabelle 24 zeigt die Länge, Masse und das Geschlecht der untersuchten Fische

Tabelle 24: Länge, Masse und Geschlecht der untersuchten Fische

Probe	<i>C. nasus</i>			<i>S. cephalus</i>		
	Länge (cm)	Masse (g)	Geschlecht	Länge (cm)	Masse (g)	Geschlecht
1	25,0	258	m	23,5	148	m
2	22,5	106	m	23,9	139	f
3	24,5	140	f	23,0	147	m
4	21,0	81	juv	19,5	84	m
5	22,5	139	m	19,5	102	f
6	22,5	133	m	19,0	75	f
7	23,5	151	m	21,5	115	f
8	25,0	155	f	25,0	160	f
9	25,0	169	m	20,5	95	m
10	20,5	84	juv	20,0	95	m
Mittelwert	23,2	142		21,5	116,0	
Standard-abweichung	1,7	50,5		2,0	28,7	

8. Einzelergebnisse

Wasser

Leitfähigkeit/T

Probe	Leitfähigkeit (uS/cm)	T (°C)
1	284	16,2
2	315	16,1
3	307	17,4
4	301	16,2
5	237	17,2

Probe	Leitfähigkeit (uS/cm)	T (°C)
6	217	16,8
7	212	18,5
8	205	16,8
9	205	16,8
10	175	16,5
11	168,9	17,2
12	170	17,9
13	171	18,2
14	170	18,6
15	153	17,5

pH

Probe	pH
1	8,22
2	8,286
3	8,299*
4	8,133
5	8,329
6	8,175
7	8,154
8	8,175
9	8,104
10	8,058
11	8,015
12	7,968
13	8,124
14	7,956
15	7,994

SBV

100uL 0,1M HCl	Probe							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	8,22	8,286	7,79*	8,133	8,329	8,175	8,154	8,175
1	7,315	8,015	7,04	7,191	7,228	7,113	7,081	7,072
2	6,955	8,253	6,65	6,835	6,813	6,718	6,684	6,648
3	6,707	-	6,39	6,572	6,518	6,672	6,356	6,308
4	6,487	-	6,18	6,347	6,225	6,272	6,059	5,902
5	6,268	-	5,96	6,11	5,881	5,772	5,5	5,035
6	6,008	6,5	5,68	5,823	5,036	4,27	3,994	3,742
7	5,625	5,7	5,29	5,345	3,688	3,59	3,499	3,398
8	4,578	3,95	4,22	4,034	3,34	3,334	3,271	3,206
9	3,723	3,56	3,66	3,509	3,142	3,161	-	3,068
10	3,426	3,37	3,45	3,269	3,01	3,042	3,009	2,985
11	3,25	3,25	3,31	3,118	2,908	2,947	2,918	2,897
12	3,119	3,17	3,22	3,004	2,823	2,87	2,847	
13	3,024		3,15					
14			3,09					

*Für die pH-Messung wurde Probe 3 erneut gemessen, da das nur für Probe 3 bei der SBV-Bestimmung verwendete pH-Meter nicht für pH-Werte über 7 kalibriert war.

100uL 0,1M HCl	Probe						
	9	10	11	12	13	14	15
0	8,104	8,058	8,015	7,968	8,124	7,956	7,994
1	7,064	6,969	6,968	6,952	7,026	6,951	6,887
2	6,66	6,529	6,503	6,515	6,597	6,502	6,406
3	6,345	6,139	6,102	6,117	6,195	6,04	5,902
4	5,995	5,569	5,441	5,455	5,664	5,015	4,5
5	5,472	4,042	3,918	3,922	4,121	3,756	3,644
6	4,049	3,541	3,493	3,496	3,554	3,433	3,367
7	3,54	-	3,281	3,287	3,312	3,245	3,193

100uL 0,1M HCl	Probe						
	9	10	11	12	13	14	15
8	3,309	3,049	3,139	3,142	3,158	3,111	3,067
9	3,158	2,961	3,033	3,033	3,043	3,009	2,973
10	3,051	2,887	2,949	2,945	2,951	2,925	2,892
11	2,964		2,877	2,874	2,877		
12	2,892						

TDS

Probe		Becherglas (g)	Becherglas+Rückstand(g)	TDS (g)	TDS (mg/L)
1	150	117,1393	117,168	0,0287	191,3
2	150	118,7585	118,7877	0,0292	194,7
3	152	116,6087	116,6383	0,0296	194,7
4	150	108,8531	108,8823	0,0292	194,7
5	150	115,8775	115,9044	0,0269	179,3
6	150	105,2599	105,2818	0,0219	146,0
7	150	109,4023	109,423	0,0207	138,0
8	152	116,873	116,8924	0,0194	127,6
9	150	103,0399	103,0614	0,0215	143,3
10	150	117,3296	117,3472	0,0176	117,3
11	150	117,005	117,0206	0,0156	104,0
12	150	119,499	119,5153	0,0163	108,7
13	150	105,5863	105,6045	0,0182	121,3
14	152	116,9068	116,924	0,0172	113,2
15	150	117,6068	117,6242	0,0174	116,0

NH₄⁺/TN/DOC

Probe	c(NH ₄ ⁺) [mg/L]	DOC (mg/L)	TN (mg/L)
1	0,061	2,265	1,392
2	0,057	2,240	1,665
3	0,103	2,485	1,622

Probe	c(NH ₄ ⁺) [mg/L]	DOC (mg/L)	TN (mg/L)
4	0,125	2,291	1,652
5	0,116	2,210	1,684
6	0,136	2,212	1,266
7	0,147	2,140	1,251
8	0,08	1,846	1,384
9	0,111	1,831	1,351
10	0,118	1,644	1,267
11	0,115	1,748	1,305
12	0,159	1,595	1,382
13	0,163	1,847	1,461
14	0,228	1,500	1,521
15	0,105	1,495	1,416

Probe	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Sr (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)
1	4,089	28,86	0,265	0,124	6,10	12,10
2	5,447	27,48	0,291	0,116	6,67	15,62
3	4,807	23,43	0,244	0,091	6,58	15,40
4	5,222	30,18	0,275	0,114	6,27	13,51
5	3,605	21,22	0,257	0,089	6,24	13,3
6	1,769	17,04	0,306	0,068	4,84	7,46
7	2,116	19,38	0,433	0,076	4,76	7,07
8	2,407	19,48	0,305	0,072	4,51	6,57
9	2,536	23,27	0,192	0,085	4,78	6,55
10	2,144	18,42	0,216	0,073	3,48	5,11
11	2,18	18,05	0,216	0,078	3,50	5,18
12	1,795	15,23	0,366	0,063	3,44	5,18
13	1,735	13,42	0,157	0,055	3,37	5,38
14	1,773	14,61	0,198	0,06	3,32	5,00
15	3,115	15,66	0,092	0,064	2,88	4,24

Ionenchromatographie

Probe	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
1	nd	22,277	0,29	6,068	17,481
2	nd	29,336	0,295	7,453	17,489
3	nd	28,963	0,300	7,529	17,26
4	nd	26,86	0,302	7,606	17,151
5	nd	25,798	0,306	7,656	17,068
6	nd	15,766	0,298	5,78	13,998
7	nd	15,151	0,300	5,673	13,936
8	nd	14,349	0,301	6,47	14,736
9	nd	14,227	0,303	6,6	14,694
10	nd	11,851	0,301	6,112	13,914
11	nd	11,475	0,290	6,318	13,296
12	nd	10,346	0,285	5,991	12,84
13	nd	10,62	0,297	6,192	13,079
14	nd	10,328	0,294	6,226	13,042
15	nd	9,111	0,269	6,337	11,739

Sediment

Alle Ergebnisse gelten für die Sedimentreihe C.

Hg

Probe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konzentration (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
S1	0,558	15	0,807	0,0217
S2	0,447	15	0,443	0,0149
S3	0,5155	15	0,371	0,0108
S4	0,4917	15	0,946	0,0289
S5	0,5072	15	3,032	0,0897
S6	0,4892	15	0,462	0,0142
S7	0,5145	15	1,033	0,0301
S8	0,4965	15	0,253	0,0076
S9	0,5348	15	0,432	0,0121

Probe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konzentration (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
S10	0,4846	15	0,214	0,0066
S11	0,4943	15	0,777	0,0236
S12	0,4862	15	3,101	0,0957
S13	0,4842	15	0,494	0,0153
S14	0,5008	15	0,575	0,0172
S15	0,4854	15	0,202	0,0062

Cd

Probe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konzentration (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
S1	0,558	15	2,325	0,0625
S2	0,447	15	1,8	0,0604
S3	0,5155	15	1,2	0,0349
S4	0,4917	15	1,945	0,0593
S5	0,5072	15	6,141	0,1816
S6	0,4892	15	1,854	0,0568
S7	0,5145	15	3,583	0,1045
S8	0,4965	15	1,65	0,0498
S9	0,5348	15	2,079	0,0583
S10	0,4846	15	1,437	0,0445
S11	0,4943	15	2,387	0,0724
S12	0,4862	15	9,107	0,2810
S13	0,4842	15	2,944	0,0912
S14	0,5008	15	3,102	0,0929
S15	0,4854	15	3,132	0,0968

Ag

Probe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konzentration (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
S1	0,558	15	7,005	0,188
S2	0,447	15	4,805	0,161
S3	0,5155	15	4	0,116
S4	0,4917	15	10,78	0,329
S5	0,5072	15	18,91	0,559
S6	0,4892	15	5,244	0,161
S7	0,5145	15	9,383	0,274
S8	0,4965	15	3,586	0,108
S9	0,5348	15	6,098	0,171
S10	0,4846	15	12,15	0,376
S11	0,4943	15	6,43	0,195
S12	0,4862	15	29,59	0,913
S13	0,4842	15	8,294	0,257
S14	0,5008	15	8,364	0,251
S15	0,4854	15	12,57	0,388

Cr

Probe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konzentration (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
S1	0,558	15	1,287	34,60
S2	0,447	15	0,955	32,05
S3	0,5155	15	0,74	21,53
S4	0,4917	15	1,305	39,81
S5	0,5072	15	3,164	93,57
S6	0,4892	15	0,968	29,68
S7	0,5145	15	2,07	60,35
S8	0,4965	15	0,895	27,04

Probe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konzentration (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
S9	0,5348	15	1,26	35,34
S10	0,4846	15	0,949	29,37
S11	0,4943	15	1,208	36,66
S12	0,4862	15	3,781	116,65
S13	0,4842	15	1,713	53,07
S14	0,5008	15	1,798	53,85
S15	0,4854	15	1,339	41,38

Ni

Probe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konzentration (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
S1	0,558	15	0,318	8,55
S2	0,447	15	0,222	7,45
S3	0,5155	15	0,214	6,23
S4	0,4917	15	0,371	11,32
S5	0,5072	15	0,941	27,83
S6	0,4892	15	0,212	6,50
S7	0,5145	15	0,442	12,89
S8	0,4965	15	0,182	5,50
S9	0,5348	15	0,332	9,31
S10	0,4846	15	0,269	8,33
S11	0,4943	15	0,258	7,83
S12	0,4862	15	1,122	34,62
S13	0,4842	15	0,409	12,67
S14	0,5008	15	0,493	14,77
S15	0,4854	15	0,381	11,77

Cu

Probe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konzentration (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
S1	0,558	15	0,167	4,49
S2	0,447	15	0,091	3,05
S3	0,5155	15	0,078	2,27
S4	0,4917	15	0,204	6,22
S5	0,5072	15	0,844	24,96
S6	0,4892	15	0,119	3,65
S7	0,5145	15	0,292	8,51
S8	0,4965	15	0,107	3,23
S9	0,5348	15	0,192	5,39
S10	0,4846	15	0,152	4,70
S11	0,4943	15	0,154	4,67
S12	0,4862	15	1,13	34,86
S13	0,4842	15	0,293	9,08
S14	0,5008	15	0,36	10,78
S15	0,4854	15	0,276	8,53

Zn

Probe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konzentration (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
S1	0,558	15	0,942	25,32
S2	0,447	15	0,677	22,72
S3	0,5155	15	0,637	18,54
S4	0,4917	15	1,114	33,98
S5	0,5072	15	2,803	82,90
S6	0,4892	15	0,759	23,27
S7	0,5145	15	1,345	39,21
S8	0,4965	15	0,746	22,54
S9	0,5348	15	1,153	32,34

Probe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konzentration (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
S10	0,4846	15	0,884	27,36
S11	0,4943	15	0,96	29,13
S12	0,4862	15	3,699	114,12
S13	0,4842	15	1,48	45,85
S14	0,5008	15	1,73	51,82
S15	0,4854	15	1,207	37,30

As

Probe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konzentration (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
S1	0,5580	15	0,206	5,54
S2	0,4470	15	0,139	4,66
S3	0,5155	15	0,145	4,22
S4	0,4917	15	0,226	6,89
S5	0,5072	15	0,362	10,71
S6	0,4892	15	0,132	4,05
S7	0,5145	15	0,198	5,77
S8	0,4965	15	0,188	5,68
S9	0,5348	15	0,175	4,91
S10	0,4846	15	0,137	4,24
S11	0,4943	15	0,173	5,25
S12	0,4862	15	0,391	12,06
S13	0,4842	15	0,174	5,39
S14	0,5008	15	0,187	5,60
S15	0,4854	15	0,217	6,71

Pb

Probe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konzentration (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
S1	0,5580	15	<0,05	<1,34
S2	0,4470	15	<0,05	<1,68
S3	0,5155	15	<0,05	<1,45
S4	0,4917	15	<0,05	<1,53
S5	0,5072	15	0,414	12,24
S6	0,4892	15	<0,05	<1,53
S7	0,5145	15	0,159	4,64
S8	0,4965	15	<0,05	<1,51
S9	0,5348	15	<0,05	<1,40
S10	0,4846	15	<0,05	<1,55
S11	0,4943	15	<0,05	<1,52
S12	0,4862	15	0,663	20,45
S13	0,4842	15	0,081	2,51
S14	0,5008	15	0,118	3,53
S15	0,4854	15	0,061	1,89

Fische

Lagen Werte unter dem LOD wurden beliebige Werte zwischen 0 und dem LOD zur Berechnung herangezogen. In der Spalte rechts daneben steht immer der jeweilige Wert für das LOD.

Hg

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
<i>C. nasus</i>	1	M	0,1935	15	4,97	0,385
<i>C. nasus</i>	2	M	0,1968	15	4,672	0,356
<i>C. nasus</i>	3	M	0,2026	15	3,676	0,272
<i>C. nasus</i>	4	M	0,1989	15	3,371	0,254
<i>C. nasus</i>	5	M	0,196	15	3,957	0,303

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
<i>C. nasus</i>	6	M	0,1967	15	3,437	0,262
<i>C. nasus</i>	7	M	0,197	15	3,779	0,288
<i>C. nasus</i>	8	M	0,2001	15	3,727	0,279
<i>C. nasus</i>	9	M	0,196	15	2,871	0,220
<i>C. nasus</i>	10	M	0,202	15	2,826	0,210
<i>C. nasus</i>	1	L	0,1985	15	3,062	0,231
<i>C. nasus</i>	2	L	0,1398	15	1,785	0,192
<i>C. nasus</i>	3	L	0,1771	15	1,793	0,152
<i>C. nasus</i>	4	L	0,1393	15	1,451	0,156
<i>C. nasus</i>	5	L	0,2001	15	2,134	0,160
<i>C. nasus</i>	6	L	0,1652	15	1,383	0,126
<i>C. nasus</i>	7	L	0,2108	15	2,279	0,162
<i>C. nasus</i>	8	L	0,199	15	1,989	0,150
<i>C. nasus</i>	9	L	0,198	15	1,926	0,146
<i>C. nasus</i>	10	L	0,1091	15	0,941	0,129
<i>C. nasus</i>	1	G	0,1523	15	0,608	0,060
<i>C. nasus</i>	2	G	0,0452	15	0,150	0,050
<i>C. nasus</i>	3	G	0,054	15	0,186	0,052
<i>C. nasus</i>	4	G	0,0249	15	0,130	0,078
<i>C. nasus</i>	5	G	0,0605	15	0,261	0,065
<i>C. nasus</i>	6	G	0,0398	15	0,106	0,040
<i>C. nasus</i>	7	G	0,0905	15	0,272	0,045
<i>C. nasus</i>	8	G	0,0698	15	0,285	0,061
<i>C. nasus</i>	9	G	0,0666	15	0,168	0,038
<i>C. nasus</i>	10	G	0,0374	15	0,104	0,042
<i>S. cephalus</i>	1	M	0,203	15	4,607	0,340
<i>S. cephalus</i>	2	M	0,194	15	8,964	0,693
<i>S. cephalus</i>	3	M	0,2039	15	3,591	0,264
<i>S. cephalus</i>	4	M	0,1986	15	5,376	0,406
<i>S. cephalus</i>	5	M	0,1942	15	2,951	0,228
<i>S. cephalus</i>	6	M	0,199	15	4,387	0,331
<i>S. cephalus</i>	7	M	0,2077	15	6,259	0,452

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
<i>S.cephalus</i>	8	M	0,1932	15	9,557	0,742
<i>S.cephalus</i>	9	M	0,2029	15	6,474	0,479
<i>S.cephalus</i>	10	M	0,2057	15	9,458	0,690
<i>S.cephalus</i>	1	L	0,1254	15	1,532	0,183
<i>S.cephalus</i>	2	L	0,2085	15	7,336	0,528
<i>S.cephalus</i>	3	L	0,0888	15	0,536	0,091
<i>S.cephalus</i>	4	L	0,0378	15	0,905	0,359
<i>S.cephalus</i>	5	L	0,1375	15	1,368	0,149
<i>S.cephalus</i>	6	L	0,1154	15	0,662	0,086
<i>S.cephalus</i>	7	L	0,1673	15	0,984	0,088
<i>S.cephalus</i>	8	L	0,1861	15	4,18	0,337
<i>S.cephalus</i>	9	L	0,1946	15	1,168	0,090
<i>S.cephalus</i>	10	L	0,1204	15	1,946	0,242
<i>S.cephalus</i>	1	G	0,051	15	0,25	0,074
<i>S.cephalus</i>	2	G	0,0475	15	0,464	0,147
<i>S.cephalus</i>	3	G	0,0381	15	0,14	0,055
<i>S.cephalus</i>	4	G	0,0373	15	0,22	0,088
<i>S.cephalus</i>	5	G	0,0487	15	0,144	0,044
<i>S.cephalus</i>	6	G	0,0348	15	0,097	0,042
<i>S.cephalus</i>	7	G	0,0527	15	0,157	0,045
<i>S.cephalus</i>	8	G	0,0777	15	0,479	0,092
<i>S.cephalus</i>	9	G	0,0491	15	0,145	0,044
<i>S.cephalus</i>	10	G	0,039	15	0,174	0,067

Cd

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)	<LOD (0,07 µg/L)
<i>C. nasus</i>	1	M	0,1935	15	0,061	0,005	0,005
<i>C. nasus</i>	2	M	0,1968	15	0,1742	0,014	
<i>C. nasus</i>	3	M	0,2026	15	0,0766	0,006	

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)	<LOD (0,07 µg/L)
<i>C. nasus</i>	4	M	0,1989	15	0,091	0,007	
<i>C. nasus</i>	5	M	0,1960	15	0,055	0,004	0,005
<i>C. nasus</i>	6	M	0,1967	15	0,042	0,003	0,005
<i>C. nasus</i>	7	M	0,1970	15	0,0788	0,006	
<i>C. nasus</i>	8	M	0,2001	15	0,039	0,003	0,005
<i>C. nasus</i>	9	M	0,196	15	0,0964	0,007	
<i>C. nasus</i>	10	M	0,202	15	0,0743	0,006	
<i>C. nasus</i>	1	L	0,1985	15	0,7911	0,060	
<i>C. nasus</i>	2	L	0,1398	15	0,9284	0,100	
<i>C. nasus</i>	3	L	0,1771	15	1,366	0,116	
<i>C. nasus</i>	4	L	0,1393	15	0,4289	0,046	
<i>C. nasus</i>	5	L	0,2001	15	1,093	0,082	
<i>C. nasus</i>	6	L	0,1652	15	0,7549	0,069	
<i>C. nasus</i>	7	L	0,2108	15	0,8098	0,058	
<i>C. nasus</i>	8	L	0,199	15	0,6503	0,049	
<i>C. nasus</i>	9	L	0,198	15	0,7663	0,058	
<i>C. nasus</i>	10	L	0,1091	15	0,6646	0,091	
<i>C. nasus</i>	1	G	0,1523	15	0,1862	0,018	
<i>C. nasus</i>	2	G	0,0452	15	0,0977	0,032	
<i>C. nasus</i>	3	G	0,054	15	0,084	0,023	
<i>C. nasus</i>	4	G	0,0249	15	0,012	0,007	0,042
<i>C. nasus</i>	5	G	0,0605	15	0,095	0,024	
<i>C. nasus</i>	6	G	0,0398	15	0,045	0,017	0,026
<i>C. nasus</i>	7	G	0,0905	15	0,1177	0,020	
<i>C. nasus</i>	8	G	0,0698	15	0,1896	0,041	
<i>C. nasus</i>	9	G	0,0666	15	0,0752	0,017	
<i>C. nasus</i>	10	G	0,0374	15	0,1012	0,041	
<i>S. cephalus</i>	1	M	0,203	15	0,027	0,002	0,005
<i>S. cephalus</i>	2	M	0,194	15	0,059	0,005	0,005
<i>S. cephalus</i>	3	M	0,2039	15	0,054	0,004	0,005
<i>S. cephalus</i>	4	M	0,1986	15	0,067	0,005	0,005

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)	<LOD (0,07 µg/L)
<i>S.cephalus</i>	5	M	0,1942	15	0,0825	0,006	
<i>S.cephalus</i>	6	M	0,199	15	0,025	0,002	0,005
<i>S.cephalus</i>	7	M	0,2077	15	0,011	0,001	0,005
<i>S.cephalus</i>	8	M	0,1932	15	0,037	0,003	0,005
<i>S.cephalus</i>	9	M	0,2029	15	0,1301	0,010	
<i>S.cephalus</i>	10	M	0,2057	15	0,1224	0,009	
<i>S.cephalus</i>	1	L	0,1254	15	0,7425	0,089	
<i>S.cephalus</i>	2	L	0,2085	15	1,252	0,090	
<i>S.cephalus</i>	3	L	0,0888	15	0,4459	0,075	
<i>S.cephalus</i>	4	L	0,0378	15	0,2586	0,103	
<i>S.cephalus</i>	5	L	0,1375	15	1,791	0,195	
<i>S.cephalus</i>	6	L	0,1154	15	0,7588	0,099	
<i>S.cephalus</i>	7	L	0,1673	15	0,8336	0,075	
<i>S.cephalus</i>	8	L	0,1861	15	2,103	0,170	
<i>S.cephalus</i>	9	L	0,1946	15	1,591	0,123	
<i>S.cephalus</i>	10	L	0,1204	15	0,9961	0,124	
<i>S.cephalus</i>	1	G	0,051	15	0,0845	0,025	
<i>S.cephalus</i>	2	G	0,0475	15	0,068	0,021	0,022
<i>S.cephalus</i>	3	G	0,0381	15	0,0736	0,029	
<i>S.cephalus</i>	4	G	0,0373	15	0,058	0,023	0,028
<i>S.cephalus</i>	5	G	0,0487	15	0,0893	0,028	
<i>S.cephalus</i>	6	G	0,0348	15	0,046	0,020	0,030
<i>S.cephalus</i>	7	G	0,0527	15	0,037	0,011	0,020
<i>S.cephalus</i>	8	G	0,0777	15	0,055	0,011	0,014
<i>S.cephalus</i>	9	G	0,0491	15	0,1096	0,033	
<i>S.cephalus</i>	10	G	0,039	15	0,062	0,024	0,027

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)	<LOD (0,03 µg/L)
<i>C. nasus</i>	1	M	0,1935	15	1,199	0,093	
<i>C. nasus</i>	2	M	0,1968	15	0,673	0,051	
<i>C. nasus</i>	3	M	0,2026	15	0,892	0,066	
<i>C. nasus</i>	4	M	0,1989	15	23,79	1,794	
<i>C. nasus</i>	5	M	0,196	15	0,595	0,046	
<i>C. nasus</i>	6	M	0,1967	15	0,805	0,061	
<i>C. nasus</i>	7	M	0,197	15	0,675	0,051	
<i>C. nasus</i>	8	M	0,2001	15	0,858	0,064	
<i>C. nasus</i>	9	M	0,196	15	2,215	0,170	
<i>C. nasus</i>	10	M	0,202	15	1,346	0,100	
<i>C. nasus</i>	1	L	0,1985	15	24,02	1,815	
<i>C. nasus</i>	2	L	0,1398	15	12,06	1,294	
<i>C. nasus</i>	3	L	0,1771	15	13,4	1,135	
<i>C. nasus</i>	4	L	0,1393	15	14,52	1,564	
<i>C. nasus</i>	5	L	0,2001	15	21,08	1,580	
<i>C. nasus</i>	6	L	0,1652	15	19,59	1,779	
<i>C. nasus</i>	7	L	0,2108	15	26,96	1,918	
<i>C. nasus</i>	8	L	0,199	15	17,95	1,353	
<i>C. nasus</i>	9	L	0,198	15	32,96	2,497	
<i>C. nasus</i>	10	L	0,1091	15	5,772	0,794	
<i>C. nasus</i>	1	G	0,1523	15	0,199	0,020	
<i>C. nasus</i>	2	G	0,0452	15	0,164	0,054	
<i>C. nasus</i>	3	G	0,054	15	1,357	0,377	
<i>C. nasus</i>	4	G	0,0249	15	0,204	0,123	
<i>C. nasus</i>	5	G	0,0605	15	0,258	0,064	
<i>C. nasus</i>	6	G	0,0398	15	1,332	0,502	
<i>C. nasus</i>	7	G	0,0905	15	1,421	0,236	
<i>C. nasus</i>	8	G	0,0698	15	0,496	0,107	
<i>C. nasus</i>	9	G	0,0666	15	0,569	0,128	

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)	<LOD (0,03 µg/L)
<i>C. nasus</i>	10	G	0,0374	15	0,986	0,395	
<i>S. cephalus</i>	1	M	0,203	15	0,759	0,056	
<i>S. cephalus</i>	2	M	0,194	15	1,693	0,131	
<i>S. cephalus</i>	3	M	0,2039	15	2,517	0,185	
<i>S. cephalus</i>	4	M	0,1986	15	0,793	0,060	
<i>S. cephalus</i>	5	M	0,1942	15	0,724	0,056	
<i>S. cephalus</i>	6	M	0,199	15	0,136	0,010	
<i>S. cephalus</i>	7	M	0,2077	15	0,244	0,018	
<i>S. cephalus</i>	8	M	0,1932	15	0,021	0,002	0,002
<i>S. cephalus</i>	9	M	0,2029	15	0,161	0,012	
<i>S. cephalus</i>	10	M	0,2057	15	0,014	0,001	0,002
<i>S. cephalus</i>	1	L	0,1254	15	6,657	0,796	
<i>S. cephalus</i>	2	L	0,2085	15	16,21	1,166	
<i>S. cephalus</i>	3	L	0,0888	15	6,377	1,077	
<i>S. cephalus</i>	4	L	0,0378	15	10,35	4,107	
<i>S. cephalus</i>	5	L	0,1375	15	14,26	1,556	
<i>S. cephalus</i>	6	L	0,1154	15	7,036	0,915	
<i>S. cephalus</i>	7	L	0,1673	15	11,63	1,043	
<i>S. cephalus</i>	8	L	0,1861	15	15,99	1,289	
<i>S. cephalus</i>	9	L	0,1946	15	8,103	0,625	
<i>S. cephalus</i>	10	L	0,1204	15	19,71	2,456	
<i>S. cephalus</i>	1	G	0,051	15	1,089	0,320	
<i>S. cephalus</i>	2	G	0,0475	15	0,614	0,194	
<i>S. cephalus</i>	3	G	0,0381	15	0,58	0,228	
<i>S. cephalus</i>	4	G	0,0373	15	1,107	0,445	
<i>S. cephalus</i>	5	G	0,0487	15	0,959	0,295	
<i>S. cephalus</i>	6	G	0,0348	15	0,465	0,200	
<i>S. cephalus</i>	7	G	0,0527	15	0,595	0,169	
<i>S. cephalus</i>	8	G	0,0777	15	0,428	0,083	
<i>S. cephalus</i>	9	G	0,0491	15	0,58	0,177	
<i>S. cephalus</i>	10	G	0,039	15	0,143	0,055	

Cu

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
<i>C. nasus</i>	1	M	0,1935	15	15,9	1,233
<i>C. nasus</i>	2	M	0,1968	15	12,05	0,918
<i>C. nasus</i>	3	M	0,2026	15	15,43	1,142
<i>C. nasus</i>	4	M	0,1989	15	12,63	0,952
<i>C. nasus</i>	5	M	0,196	15	11,22	0,859
<i>C. nasus</i>	6	M	0,1967	15	11,29	0,861
<i>C. nasus</i>	7	M	0,197	15	17,08	1,301
<i>C. nasus</i>	8	M	0,2001	15	15,7	1,177
<i>C. nasus</i>	9	M	0,196	15	82,56	6,318
<i>C. nasus</i>	10	M	0,202	15	16,69	1,239
<i>C. nasus</i>	1	L	0,1985	15	334	25,239
<i>C. nasus</i>	2	L	0,1398	15	209	22,425
<i>C. nasus</i>	3	L	0,1771	15	289	24,478
<i>C. nasus</i>	4	L	0,1393	15	293	31,551
<i>C. nasus</i>	5	L	0,2001	15	270	20,240
<i>C. nasus</i>	6	L	0,1652	15	355	32,234
<i>C. nasus</i>	7	L	0,2108	15	412	29,317
<i>C. nasus</i>	8	L	0,199	15	290	21,859
<i>C. nasus</i>	9	L	0,198	15	493	37,348
<i>C. nasus</i>	10	L	0,1091	15	146	20,073
<i>C. nasus</i>	1	G	0,1523	15	36,16	3,561
<i>C. nasus</i>	2	G	0,0452	15	20,05	6,654
<i>C. nasus</i>	3	G	0,054	15	14,19	3,942
<i>C. nasus</i>	4	G	0,0249	15	11,51	6,934
<i>C. nasus</i>	5	G	0,0605	15	14,74	3,655
<i>C. nasus</i>	6	G	0,0398	15	13,98	5,269
<i>C. nasus</i>	7	G	0,0905	15	29,37	4,868
<i>C. nasus</i>	8	G	0,0698	15	19,92	4,281
<i>C. nasus</i>	9	G	0,0666	15	18,65	4,200
<i>C. nasus</i>	10	G	0,0374	15	16,2	6,497

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
<i>S.cephalus</i>	1	M	0,203	15	16,99	1,622
<i>S.cephalus</i>	2	M	0,194	15	16,02	1,601
<i>S.cephalus</i>	3	M	0,2039	15	21,44	2,038
<i>S.cephalus</i>	4	M	0,1986	15	19,15	1,869
<i>S.cephalus</i>	5	M	0,1942	15	20,02	1,998
<i>S.cephalus</i>	6	M	0,199	15	18,31	1,784
<i>S.cephalus</i>	7	M	0,2077	15	17,59	1,642
<i>S.cephalus</i>	8	M	0,1932	15	20,34	2,041
<i>S.cephalus</i>	9	M	0,2029	15	17,06	1,630
<i>S.cephalus</i>	10	M	0,2057	15	18,11	1,707
<i>S.cephalus</i>	1	L	0,1254	15	199	23,804
<i>S.cephalus</i>	2	L	0,2085	15	467	33,597
<i>S.cephalus</i>	3	L	0,0888	15	110	18,581
<i>S.cephalus</i>	4	L	0,0378	15	147	58,333
<i>S.cephalus</i>	5	L	0,1375	15	345	37,636
<i>S.cephalus</i>	6	L	0,1154	15	290	37,695
<i>S.cephalus</i>	7	L	0,1673	15	394	35,326
<i>S.cephalus</i>	8	L	0,1861	15	623	50,215
<i>S.cephalus</i>	9	L	0,1946	15	213	16,418
<i>S.cephalus</i>	10	L	0,1204	15	478	59,551
<i>S.cephalus</i>	1	G	0,051	15	132	46,285
<i>S.cephalus</i>	2	G	0,0475	15	27,97	10,530
<i>S.cephalus</i>	3	G	0,0381	15	19,5	9,153
<i>S.cephalus</i>	4	G	0,0373	15	18,97	9,095
<i>S.cephalus</i>	5	G	0,0487	15	25,51	9,367
<i>S.cephalus</i>	6	G	0,0348	15	19,57	10,056
<i>S.cephalus</i>	7	G	0,0527	15	25,04	8,497
<i>S.cephalus</i>	8	G	0,0777	15	23,96	5,514
<i>S.cephalus</i>	9	G	0,0491	15	23,22	8,457
<i>S.cephalus</i>	10	G	0,039	15	26,75	12,266

Ni

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)	<LOD (0,8 µg/L)
<i>C. nasus</i>	1	M	0,1935	15	2,024	0,203	
<i>C. nasus</i>	2	M	0,1968	15	0,822	0,081	
<i>C. nasus</i>	3	M	0,2026	15	1,011	0,097	
<i>C. nasus</i>	4	M	0,1989	15	0,539	0,053	0,078
<i>C. nasus</i>	5	M	0,196	15	1,046	0,104	
<i>C. nasus</i>	6	M	0,1967	15	0,611	0,060	0,079
<i>C. nasus</i>	7	M	0,197	15	0,600	0,059	0,079
<i>C. nasus</i>	8	M	0,2001	15	0,380	0,037	0,078
<i>C. nasus</i>	9	M	0,196	15	0,957	0,095	
<i>C. nasus</i>	10	M	0,202	15	1,132	0,109	
<i>C. nasus</i>	1	L	0,1985	15	4,235	0,480	
<i>C. nasus</i>	2	L	0,1398	15	7,027	1,130	
<i>C. nasus</i>	3	L	0,1771	15	3,011	0,382	
<i>C. nasus</i>	4	L	0,1393	15	5,453	0,880	
<i>C. nasus</i>	5	L	0,2001	15	8,282	0,931	
<i>C. nasus</i>	6	L	0,1652	15	2,764	0,376	
<i>C. nasus</i>	7	L	0,2108	15	2,567	0,274	
<i>C. nasus</i>	8	L	0,199	15	2,346	0,265	
<i>C. nasus</i>	9	L	0,198	15	1,846	0,210	
<i>C. nasus</i>	10	L	0,1091	15	0,8	0,165	
<i>C. nasus</i>	1	G	0,1523	15	2,915	0,392	
<i>C. nasus</i>	2	G	0,0452	15	1,253	0,567	
<i>C. nasus</i>	3	G	0,054	15	2,865	1,085	
<i>C. nasus</i>	4	G	0,0249	15	2,15	1,766	
<i>C. nasus</i>	5	G	0,0605	15	3,328	1,125	
<i>C. nasus</i>	6	G	0,0398	15	1,029	0,529	
<i>C. nasus</i>	7	G	0,0905	15	0,839	0,190	
<i>C. nasus</i>	8	G	0,0698	15	1,042	0,305	
<i>C. nasus</i>	9	G	0,0666	15	1,299	0,399	
<i>C. nasus</i>	10	G	0,0374	15	0,537	0,294	

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)	<LOD (0,8 µg/L)
<i>S.cephalus</i>	1	M	0,203	15	1,458	0,010	
<i>S.cephalus</i>	2	M	0,194	15	0,089	0,012	0,093
<i>S.cephalus</i>	3	M	0,2039	15	0,106	0,057	0,088
<i>S.cephalus</i>	4	M	0,1986	15	0,508	0,018	0,091
<i>S.cephalus</i>	5	M	0,1942	15	0,157	0,079	0,093
<i>S.cephalus</i>	6	M	0,199	15	0,7	0,043	0,090
<i>S.cephalus</i>	7	M	0,2077	15	0,4	0,058	0,087
<i>S.cephalus</i>	8	M	0,1932	15	0,5	0,066	0,093
<i>S.cephalus</i>	9	M	0,2029	15	0,6	0,033	0,089
<i>S.cephalus</i>	10	M	0,2057	15	0,3	0,107	0,087
<i>S.cephalus</i>	1	L	0,1254	15	0,596	0,024	0,143
<i>S.cephalus</i>	2	L	0,2085	15	0,224	0,098	0,086
<i>S.cephalus</i>	3	L	0,0888	15	0,388	0,101	0,202
<i>S.cephalus</i>	4	L	0,0378	15	0,17	0,021	0,476
<i>S.cephalus</i>	5	L	0,1375	15	0,128	0,015	0,131
<i>S.cephalus</i>	6	L	0,1154	15	0,079	0,077	0,156
<i>S.cephalus</i>	7	L	0,1673	15	0,574	0,048	0,107
<i>S.cephalus</i>	8	L	0,1861	15	0,398	0,044	0,097
<i>S.cephalus</i>	9	L	0,1946	15	0,38	0,018	0,092
<i>S.cephalus</i>	10	L	0,1204	15	0,096	2,130	0,149
<i>S.cephalus</i>	1	G	0,051	15	5,214	0,279	
<i>S.cephalus</i>	2	G	0,0475	15	0,635	0,278	0,351
<i>S.cephalus</i>	3	G	0,0381	15	0,509	0,087	0,437
<i>S.cephalus</i>	4	G	0,0373	15	0,155	0,166	0,447
<i>S.cephalus</i>	5	G	0,0487	15	0,389	0,380	0,342
<i>S.cephalus</i>	6	G	0,0348	15	0,635	0,203	0,479
<i>S.cephalus</i>	7	G	0,0527	15	0,514	0,035	0,316
<i>S.cephalus</i>	8	G	0,0777	15	0,13	0,186	0,215
<i>S.cephalus</i>	9	G	0,0491	15	0,439	0,064	0,339
<i>S.cephalus</i>	10	G	0,039	15	0,12		0,427

As

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)	<LOD (0,04 µg/L)
<i>C. nasus</i>	1	M	0,1935	15	1,003	0,078	
<i>C. nasus</i>	2	M	0,1968	15	0,57	0,043	
<i>C. nasus</i>	3	M	0,2026	15	0,022	0,002	0,030
<i>C. nasus</i>	4	M	0,1989	15	0,304	0,023	0,030
<i>C. nasus</i>	5	M	0,196	15	0,126	0,010	0,031
<i>C. nasus</i>	6	M	0,1967	15	0,266	0,020	0,031
<i>C. nasus</i>	7	M	0,197	15	0,141	0,011	0,030
<i>C. nasus</i>	8	M	0,2001	15	0,159	0,012	0,030
<i>C. nasus</i>	9	M	0,196	15	0,306	0,023	0,031
<i>C. nasus</i>	10	M	0,202	15	0,203	0,015	0,030
<i>C. nasus</i>	1	L	0,1985	15	5,573	0,421	
<i>C. nasus</i>	2	L	0,1398	15	6,775	0,727	
<i>C. nasus</i>	3	L	0,1771	15	2,745	0,232	
<i>C. nasus</i>	4	L	0,1393	15	4,874	0,525	
<i>C. nasus</i>	5	L	0,2001	15	7,442	0,558	
<i>C. nasus</i>	6	L	0,1652	15	6,275	0,570	
<i>C. nasus</i>	7	L	0,2108	15	5,883	0,419	
<i>C. nasus</i>	8	L	0,199	15	3,977	0,300	
<i>C. nasus</i>	9	L	0,198	15	5,321	0,403	
<i>C. nasus</i>	10	L	0,1091	15	3,936	0,541	
<i>C. nasus</i>	1	G	0,1523	15	0,1	0,010	0,039
<i>C. nasus</i>	2	G	0,0452	15	0,25	0,083	0,133
<i>C. nasus</i>	3	G	0,054	15	0,22	0,061	0,111
<i>C. nasus</i>	4	G	0,0249	15	0,3	0,181	0,241
<i>C. nasus</i>	5	G	0,0605	15	0,4	0,099	0,099
<i>C. nasus</i>	6	G	0,0398	15	0,15	0,057	0,151
<i>C. nasus</i>	7	G	0,0905	15	0,18	0,030	0,066
<i>C. nasus</i>	8	G	0,0698	15	0,29	0,062	0,086
<i>C. nasus</i>	9	G	0,0666	15	0,34	0,077	0,090

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)	<LOD (0,04 µg/L)
<i>C. nasus</i>	10	G	0,0374	15	0,33	0,132	0,160
<i>S. cephalus</i>	1	M	0,203	15	0,09	0,007	0,030
<i>S. cephalus</i>	2	M	0,194	15	0,14	0,011	0,031
<i>S. cephalus</i>	3	M	0,2039	15	0,26	0,019	0,029
<i>S. cephalus</i>	4	M	0,1986	15	0,35	0,026	0,030
<i>S. cephalus</i>	5	M	0,1942	15	0,4	0,031	0,031
<i>S. cephalus</i>	6	M	0,199	15	0,31	0,023	0,030
<i>S. cephalus</i>	7	M	0,2077	15	0,28	0,020	0,029
<i>S. cephalus</i>	8	M	0,1932	15	0,12	0,009	0,031
<i>S. cephalus</i>	9	M	0,2029	15	0,19	0,014	0,030
<i>S. cephalus</i>	10	M	0,2057	15	0,22	0,016	0,029
<i>S. cephalus</i>	1	L	0,1254	15	0,971	0,138	
<i>S. cephalus</i>	2	L	0,2085	15	0,723	0,062	
<i>S. cephalus</i>	3	L	0,0888	15	0,247	0,050	0,068
<i>S. cephalus</i>	4	L	0,0378	15	0,222	0,105	0,159
<i>S. cephalus</i>	5	L	0,1375	15	0,357	0,046	0,044
<i>S. cephalus</i>	6	L	0,1154	15	0,301	0,047	0,052
<i>S. cephalus</i>	7	L	0,1673	15	0,371	0,040	0,036
<i>S. cephalus</i>	8	L	0,1861	15	0,542	0,052	
<i>S. cephalus</i>	9	L	0,1946	15	0,248	0,023	0,031
<i>S. cephalus</i>	10	L	0,1204	15	0,51	0,076	
<i>S. cephalus</i>	1	G	0,051	15	0,444	0,131	
<i>S. cephalus</i>	2	G	0,0475	15	0,013	0,004	0,126
<i>S. cephalus</i>	3	G	0,0381	15	0,26	0,102	0,157
<i>S. cephalus</i>	4	G	0,0373	15	0,34	0,137	0,161
<i>S. cephalus</i>	5	G	0,0487	15	0,11	0,034	0,123
<i>S. cephalus</i>	6	G	0,0348	15	0,29	0,125	0,172
<i>S. cephalus</i>	7	G	0,0527	15	0,33	0,094	0,114
<i>S. cephalus</i>	8	G	0,0777	15	0,17	0,033	0,077
<i>S. cephalus</i>	9	G	0,0491	15	0,26	0,079	0,122
<i>S. cephalus</i>	10	G	0,039	15	0,38	0,146	0,154

Pb

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)	<LOD (0,1 µg/L)
<i>C. nasus</i>	1	M	0,1935	15	0,261	0,020	
<i>C. nasus</i>	2	M	0,1968	15	0,521	0,040	
<i>C. nasus</i>	3	M	0,2026	15	0,421	0,031	
<i>C. nasus</i>	4	M	0,1989	15	0,538	0,041	
<i>C. nasus</i>	5	M	0,196	15	0,296	0,023	
<i>C. nasus</i>	6	M	0,1967	15	0,298	0,023	
<i>C. nasus</i>	7	M	0,197	15	0,836	0,064	
<i>C. nasus</i>	8	M	0,2001	15	0,339	0,025	
<i>C. nasus</i>	9	M	0,196	15	1,246	0,095	
<i>C. nasus</i>	10	M	0,202	15	0,508	0,038	
<i>C. nasus</i>	1	L	0,1985	15	2,416	0,183	
<i>C. nasus</i>	2	L	0,1398	15	2,209	0,237	
<i>C. nasus</i>	3	L	0,1771	15	0,775	0,066	
<i>C. nasus</i>	4	L	0,1393	15	1,153	0,124	
<i>C. nasus</i>	5	L	0,2001	15	2,366	0,177	
<i>C. nasus</i>	6	L	0,1652	15	3,432	0,312	
<i>C. nasus</i>	7	L	0,2108	15	0,818	0,058	
<i>C. nasus</i>	8	L	0,199	15	1,567	0,118	
<i>C. nasus</i>	9	L	0,198	15	1,319	0,100	
<i>C. nasus</i>	10	L	0,1091	15	0,936	0,129	
<i>C. nasus</i>	1	G	0,1523	15	1,344	0,132	
<i>C. nasus</i>	2	G	0,0452	15	0,946	0,314	
<i>C. nasus</i>	3	G	0,054	15	0,779	0,216	
<i>C. nasus</i>	4	G	0,0249	15	1,819	1,096	
<i>C. nasus</i>	5	G	0,0605	15	0,659	0,163	
<i>C. nasus</i>	6	G	0,0398	15	0,428	0,161	
<i>C. nasus</i>	7	G	0,0905	15	0,556	0,092	
<i>C. nasus</i>	8	G	0,0698	15	1,02	0,219	
<i>C. nasus</i>	9	G	0,0666	15	0,633	0,143	

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)	<LOD (0,1 µg/L)
<i>C. nasus</i>	10	G	0,0374	15	0,954	0,383	
<i>S. cephalus</i>	1	M	0,203	15	0,285	0,021	
<i>S. cephalus</i>	2	M	0,194	15	0,051	0,004	0,008
<i>S. cephalus</i>	3	M	0,2039	15	0,248	0,018	
<i>S. cephalus</i>	4	M	0,1986	15	0,561	0,042	
<i>S. cephalus</i>	5	M	0,1942	15	0,347	0,027	
<i>S. cephalus</i>	6	M	0,199	15	0,184	0,014	
<i>S. cephalus</i>	7	M	0,2077	15	0,12	0,009	
<i>S. cephalus</i>	8	M	0,1932	15	0,628	0,049	
<i>S. cephalus</i>	9	M	0,2029	15	0,054	0,004	0,007
<i>S. cephalus</i>	10	M	0,2057	15	0,192	0,014	
<i>S. cephalus</i>	1	L	0,1254	15	0,655	0,078	
<i>S. cephalus</i>	2	L	0,2085	15	0,934	0,067	
<i>S. cephalus</i>	3	L	0,0888	15	0,417	0,070	
<i>S. cephalus</i>	4	L	0,0378	15	0,321	0,127	
<i>S. cephalus</i>	5	L	0,1375	15	0,555	0,061	
<i>S. cephalus</i>	6	L	0,1154	15	0,508	0,066	
<i>S. cephalus</i>	7	L	0,1673	15	0,456	0,041	
<i>S. cephalus</i>	8	L	0,1861	15	0,678	0,055	
<i>S. cephalus</i>	9	L	0,1946	15	0,538	0,041	
<i>S. cephalus</i>	10	L	0,1204	15	0,217	0,027	
<i>S. cephalus</i>	1	G	0,051	15	0,531	0,156	
<i>S. cephalus</i>	2	G	0,0475	15	0,315	0,099	
<i>S. cephalus</i>	3	G	0,0381	15	0,875	0,344	
<i>S. cephalus</i>	4	G	0,0373	15	0,538	0,216	
<i>S. cephalus</i>	5	G	0,0487	15	0,671	0,207	
<i>S. cephalus</i>	6	G	0,0348	15	0,374	0,161	
<i>S. cephalus</i>	7	G	0,0527	15	0,367	0,104	
<i>S. cephalus</i>	8	G	0,0777	15	0,367	0,071	
<i>S. cephalus</i>	9	G	0,0491	15	0,467	0,143	
<i>S. cephalus</i>	10	G	0,039	15	0,193	0,074	

Cr

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
<i>C. nasus</i>	1	M	0,1935	15	4,39	0,340
<i>C. nasus</i>	2	M	0,1968	15	5,127	0,391
<i>C. nasus</i>	3	M	0,2026	15	6,096	0,451
<i>C. nasus</i>	4	M	0,1989	15	4,3	0,324
<i>C. nasus</i>	5	M	0,196	15	4,825	0,369
<i>C. nasus</i>	6	M	0,1967	15	4,237	0,323
<i>C. nasus</i>	7	M	0,197	15	4,62	0,352
<i>C. nasus</i>	8	M	0,2001	15	4,22	0,316
<i>C. nasus</i>	9	M	0,196	15	4,804	0,368
<i>C. nasus</i>	10	M	0,202	15	9,376	0,696
<i>C. nasus</i>	1	L	0,1985	15	2,989	0,282
<i>C. nasus</i>	2	L	0,1398	15	4,028	0,540
<i>C. nasus</i>	3	L	0,1771	15	0,678	0,072
<i>C. nasus</i>	4	L	0,1393	15	2,913	0,392
<i>C. nasus</i>	5	L	0,2001	15	1,842	0,173
<i>C. nasus</i>	6	L	0,1652	15	2,931	0,333
<i>C. nasus</i>	7	L	0,2108	15	1,057	0,094
<i>C. nasus</i>	8	L	0,199	15	1,185	0,112
<i>C. nasus</i>	9	L	0,198	15	1,402	0,133
<i>C. nasus</i>	10	L	0,1091	15	0,861	0,148
<i>C. nasus</i>	1	G	0,1523	15	6,128	0,604
<i>C. nasus</i>	2	G	0,0452	15	3,464	1,150
<i>C. nasus</i>	3	G	0,054	15	6,551	1,820
<i>C. nasus</i>	4	G	0,0249	15	4,052	2,441
<i>C. nasus</i>	5	G	0,0605	15	6,752	1,674
<i>C. nasus</i>	6	G	0,0398	15	5,198	1,959
<i>C. nasus</i>	7	G	0,0905	15	8,977	1,488
<i>C. nasus</i>	8	G	0,0698	15	5,86	1,259
<i>C. nasus</i>	9	G	0,0666	15	4,499	1,013
<i>C. nasus</i>	10	G	0,0374	15	3,646	1,462

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
<i>S.cephalus</i>	1	M	0,203	15	3,183	0,268
<i>S.cephalus</i>	2	M	0,194	15	3,009	0,265
<i>S.cephalus</i>	3	M	0,2039	15	3,249	0,272
<i>S.cephalus</i>	4	M	0,1986	15	3,379	0,291
<i>S.cephalus</i>	5	M	0,1942	15	3,784	0,333
<i>S.cephalus</i>	6	M	0,199	15	1,375	0,118
<i>S.cephalus</i>	7	M	0,2077	15	1,45	0,119
<i>S.cephalus</i>	8	M	0,1932	15	2,835	0,251
<i>S.cephalus</i>	9	M	0,2029	15	2,933	0,247
<i>S.cephalus</i>	10	M	0,2057	15	1,432	0,119
<i>S.cephalus</i>	1	L	0,1254	15	1,114	0,169
<i>S.cephalus</i>	2	L	0,2085	15	1,252	0,114
<i>S.cephalus</i>	3	L	0,0888	15	2,042	0,438
<i>S.cephalus</i>	4	L	0,0378	15	0,708	0,357
<i>S.cephalus</i>	5	L	0,1375	15	0,549	0,076
<i>S.cephalus</i>	6	L	0,1154	15	0,704	0,116
<i>S.cephalus</i>	7	L	0,1673	15	0,54	0,061
<i>S.cephalus</i>	8	L	0,1861	15	0,599	0,061
<i>S.cephalus</i>	9	L	0,1946	15	1,112	0,109
<i>S.cephalus</i>	10	L	0,1204	15	0,538	0,085
<i>S.cephalus</i>	1	G	0,051	15	7,131	2,391
<i>S.cephalus</i>	2	G	0,0475	15	6,043	2,175
<i>S.cephalus</i>	3	G	0,0381	15	5,142	2,308
<i>S.cephalus</i>	4	G	0,0373	15	2,847	1,305
<i>S.cephalus</i>	5	G	0,0487	15	4,752	1,669
<i>S.cephalus</i>	6	G	0,0348	15	3,768	1,852
<i>S.cephalus</i>	7	G	0,0527	15	5,926	1,923
<i>S.cephalus</i>	8	G	0,0777	15	3,097	0,682
<i>S.cephalus</i>	9	G	0,0491	15	4,194	1,461
<i>S.cephalus</i>	10	G	0,039	15	3,396	1,489

Fe

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
<i>C. nasus</i>	1	M	0,1935	15	0,607	47,05
<i>C. nasus</i>	2	M	0,1968	15	0,372	28,35
<i>C. nasus</i>	3	M	0,2026	15	0,498	36,87
<i>C. nasus</i>	4	M	0,1989	15	0,253	19,08
<i>C. nasus</i>	5	M	0,196	15	0,291	22,27
<i>C. nasus</i>	6	M	0,1967	15	0,354	27,00
<i>C. nasus</i>	7	M	0,197	15	0,289	22,01
<i>C. nasus</i>	8	M	0,2001	15	0,314	23,54
<i>C. nasus</i>	9	M	0,196	15	0,57	43,62
<i>C. nasus</i>	10	M	0,202	15	0,324	24,06
<i>C. nasus</i>	1	L	0,1985	15	6,148	464,6
<i>C. nasus</i>	2	L	0,1398	15	6,453	692,4
<i>C. nasus</i>	3	L	0,1771	15	4,182	354,2
<i>C. nasus</i>	4	L	0,1393	15	6,416	690,9
<i>C. nasus</i>	5	L	0,2001	15	3,931	294,7
<i>C. nasus</i>	6	L	0,1652	15	3,588	325,8
<i>C. nasus</i>	7	L	0,2108	15	3,117	221,8
<i>C. nasus</i>	8	L	0,199	15	4,75	358,0
<i>C. nasus</i>	9	L	0,198	15	2,563	194,2
<i>C. nasus</i>	10	L	0,1091	15	3,002	412,7
<i>C. nasus</i>	1	G	0,1523	15	1,9	187,1
<i>C. nasus</i>	2	G	0,0452	15	0,719	238,6
<i>C. nasus</i>	3	G	0,054	15	1,523	423,1
<i>C. nasus</i>	4	G	0,0249	15	0,619	372,9
<i>C. nasus</i>	5	G	0,0605	15	1,252	310,4
<i>C. nasus</i>	6	G	0,0398	15	0,775	292,1
<i>C. nasus</i>	7	G	0,0905	15	1,139	188,8
<i>C. nasus</i>	8	G	0,0698	15	0,869	186,7
<i>C. nasus</i>	9	G	0,0666	15	1,025	230,9

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
<i>C. nasus</i>	10	G	0,0374	15	0,555	222,6
<i>S. cephalus</i>	1	M	0,203	15	0,2	14,78
<i>S. cephalus</i>	2	M	0,194	15	0,185	14,30
<i>S. cephalus</i>	3	M	0,2039	15	0,19	13,98
<i>S. cephalus</i>	4	M	0,1986	15	0,184	13,90
<i>S. cephalus</i>	5	M	0,1942	15	0,293	22,63
<i>S. cephalus</i>	6	M	0,199	15	0,441	33,24
<i>S. cephalus</i>	7	M	0,2077	15	0,442	31,92
<i>S. cephalus</i>	8	M	0,1932	15	0,414	32,14
<i>S. cephalus</i>	9	M	0,2029	15	0,413	30,53
<i>S. cephalus</i>	10	M	0,2057	15	0,497	36,24
<i>S. cephalus</i>	1	L	0,1254	15	2,501	299,2
<i>S. cephalus</i>	2	L	0,2085	15	6,247	449,4
<i>S. cephalus</i>	3	L	0,0888	15	1,436	242,6
<i>S. cephalus</i>	4	L	0,0378	15	0,792	314,3
<i>S. cephalus</i>	5	L	0,1375	15	1,285	140,2
<i>S. cephalus</i>	6	L	0,1154	15	4,291	557,8
<i>S. cephalus</i>	7	L	0,1673	15	2,133	191,2
<i>S. cephalus</i>	8	L	0,1861	15	1,419	114,4
<i>S. cephalus</i>	9	L	0,1946	15	2,368	182,5
<i>S. cephalus</i>	10	L	0,1204	15	2,691	335,3
<i>S. cephalus</i>	1	G	0,051	15	0,763	224,4
<i>S. cephalus</i>	2	G	0,0475	15	0,535	168,9
<i>S. cephalus</i>	3	G	0,0381	15	0,433	170,5
<i>S. cephalus</i>	4	G	0,0373	15	0,472	189,8
<i>S. cephalus</i>	5	G	0,0487	15	0,583	179,6
<i>S. cephalus</i>	6	G	0,0348	15	0,398	171,6
<i>S. cephalus</i>	7	G	0,0527	15	0,855	243,4
<i>S. cephalus</i>	8	G	0,0777	15	0,96	185,3
<i>S. cephalus</i>	9	G	0,0491	15	0,637	194,6
<i>S. cephalus</i>	10	G	0,039	15	0,498	191,5

Zn

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
<i>C. nasus</i>	1	M	0,1935	15	0,247	19,15
<i>C. nasus</i>	2	M	0,1968	15	0,227	17,30
<i>C. nasus</i>	3	M	0,2026	15	0,291	21,54
<i>C. nasus</i>	4	M	0,1989	15	0,216	16,29
<i>C. nasus</i>	5	M	0,196	15	0,238	18,21
<i>C. nasus</i>	6	M	0,1967	15	0,258	19,67
<i>C. nasus</i>	7	M	0,197	15	0,201	15,30
<i>C. nasus</i>	8	M	0,2001	15	0,265	19,87
<i>C. nasus</i>	9	M	0,196	15	0,265	20,28
<i>C. nasus</i>	10	M	0,202	15	0,259	19,23
<i>C. nasus</i>	1	L	0,1985	15	0,918	69,37
<i>C. nasus</i>	2	L	0,1398	15	0,812	87,12
<i>C. nasus</i>	3	L	0,1771	15	1,245	105,45
<i>C. nasus</i>	4	L	0,1393	15	0,968	104,24
<i>C. nasus</i>	5	L	0,2001	15	1,196	89,66
<i>C. nasus</i>	6	L	0,1652	15	0,798	72,46
<i>C. nasus</i>	7	L	0,2108	15	0,983	69,95
<i>C. nasus</i>	8	L	0,199	15	1,113	83,89
<i>C. nasus</i>	9	L	0,198	15	0,895	67,80
<i>C. nasus</i>	10	L	0,1091	15	0,541	74,38
<i>C. nasus</i>	1	G	0,1523	15	0,708	69,73
<i>C. nasus</i>	2	G	0,0452	15	0,271	89,93
<i>C. nasus</i>	3	G	0,054	15	0,253	70,28
<i>C. nasus</i>	4	G	0,0249	15	0,131	78,92
<i>C. nasus</i>	5	G	0,0605	15	0,314	77,85
<i>C. nasus</i>	6	G	0,0398	15	0,263	99,12
<i>C. nasus</i>	7	G	0,0905	15	0,512	84,86
<i>C. nasus</i>	8	G	0,0698	15	0,391	84,03
<i>C. nasus</i>	9	G	0,0666	15	0,366	82,43

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)
<i>C. nasus</i>	10	G	0,0374	15	0,282	113,10
<i>S. cephalus</i>	1	M	0,203	15	0,304	22,46
<i>S. cephalus</i>	2	M	0,194	15	0,311	24,05
<i>S. cephalus</i>	3	M	0,2039	15	0,348	25,60
<i>S. cephalus</i>	4	M	0,1986	15	0,376	28,40
<i>S. cephalus</i>	5	M	0,1942	15	0,357	27,57
<i>S. cephalus</i>	6	M	0,199	15	0,325	24,50
<i>S. cephalus</i>	7	M	0,2077	15	0,314	22,68
<i>S. cephalus</i>	8	M	0,1932	15	0,302	23,45
<i>S. cephalus</i>	9	M	0,2029	15	0,347	25,65
<i>S. cephalus</i>	10	M	0,2057	15	0,297	21,66
<i>S. cephalus</i>	1	L	0,1254	15	1,282	153,35
<i>S. cephalus</i>	2	L	0,2085	15	1,572	113,09
<i>S. cephalus</i>	3	L	0,0888	15	0,615	103,89
<i>S. cephalus</i>	4	L	0,0378	15	0,721	286,11
<i>S. cephalus</i>	5	L	0,1375	15	1,351	147,38
<i>S. cephalus</i>	6	L	0,1154	15	0,913	118,67
<i>S. cephalus</i>	7	L	0,1673	15	1,657	148,57
<i>S. cephalus</i>	8	L	0,1861	15	2,992	241,16
<i>S. cephalus</i>	9	L	0,1946	15	1,174	90,49
<i>S. cephalus</i>	10	L	0,1204	15	1,232	153,49
<i>S. cephalus</i>	1	G	0,051	15	1,138	334,71
<i>S. cephalus</i>	2	G	0,0475	15	0,737	232,74
<i>S. cephalus</i>	3	G	0,0381	15	0,685	269,69
<i>S. cephalus</i>	4	G	0,0373	15	0,508	204,29
<i>S. cephalus</i>	5	G	0,0487	15	1,456	448,46
<i>S. cephalus</i>	6	G	0,0348	15	1,293	557,33
<i>S. cephalus</i>	7	G	0,0527	15	1,659	472,20
<i>S. cephalus</i>	8	G	0,0777	15	2,541	490,54
<i>S. cephalus</i>	9	G	0,0491	15	0,9	274,95
<i>S. cephalus</i>	10	G	0,039	15	1,089	418,85

Se

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)	<LOD (0,05mg/L)
<i>C. nasus</i>	1	M	0,1935	15	0,025	1,938	3,876
<i>C. nasus</i>	2	M	0,1968	15	0,011	0,838	3,811
<i>C. nasus</i>	3	M	0,2026	15	0,03	2,221	3,702
<i>C. nasus</i>	4	M	0,1989	15	0,031	2,338	3,771
<i>C. nasus</i>	5	M	0,196	15	0,04	3,061	3,827
<i>C. nasus</i>	6	M	0,1967	15	0,01	0,763	3,813
<i>C. nasus</i>	7	M	0,197	15	0,045	3,426	3,807
<i>C. nasus</i>	8	M	0,2001	15	0,034	2,549	3,748
<i>C. nasus</i>	9	M	0,196	15	0,029	2,219	3,827
<i>C. nasus</i>	10	M	0,202	15	0,016	1,188	3,713
<i>C. nasus</i>	1	L	0,1985	15	0,148	11,184	
<i>C. nasus</i>	2	L	0,1398	15	0,066	7,082	
<i>C. nasus</i>	3	L	0,1771	15	0,078	6,606	
<i>C. nasus</i>	4	L	0,1393	15	0,055	5,922	
<i>C. nasus</i>	5	L	0,2001	15	0,113	8,471	
<i>C. nasus</i>	6	L	0,1652	15	0,141	12,803	
<i>C. nasus</i>	7	L	0,2108	15	0,167	11,883	
<i>C. nasus</i>	8	L	0,199	15	0,146	11,005	
<i>C. nasus</i>	9	L	0,198	15	0,146	11,061	
<i>C. nasus</i>	10	L	0,1091	15	0,149	20,486	
<i>C. nasus</i>	1	G	0,1523	15	0,126	12,410	
<i>C. nasus</i>	2	G	0,0452	15	0,07	23,230	
<i>C. nasus</i>	3	G	0,054	15	0,065	18,056	
<i>C. nasus</i>	4	G	0,0249	15	0,068	40,964	
<i>C. nasus</i>	5	G	0,0605	15	0,091	22,562	
<i>C. nasus</i>	6	G	0,0398	15	0,136	51,256	
<i>C. nasus</i>	7	G	0,0905	15	0,184	30,497	
<i>C. nasus</i>	8	G	0,0698	15	0,174	37,393	
<i>C. nasus</i>	9	G	0,0666	15	0,2	45,045	

Spezies	Nr.	Gewebe	Masse (g)	Volumen (mL)	Gemessene Konz. (µg/L)	Gehalt (µg/g dw)	<LOD (0,05mg/L)
<i>C. nasus</i>	10	G	0,0374	15	0,148	59,358	
<i>S. cephalus</i>	1	M	0,203	15	0,015	1,108	3,695
<i>S. cephalus</i>	2	M	0,194	15	0,016	1,237	3,866
<i>S. cephalus</i>	3	M	0,2039	15	0,047	3,458	3,678
<i>S. cephalus</i>	4	M	0,1986	15	0,036	2,719	3,776
<i>S. cephalus</i>	5	M	0,1942	15	0,058	4,480	
<i>S. cephalus</i>	6	M	0,199	15	0,022	1,658	3,769
<i>S. cephalus</i>	7	M	0,2077	15	0,038	2,744	3,611
<i>S. cephalus</i>	8	M	0,1932	15	0,017	1,320	3,882
<i>S. cephalus</i>	9	M	0,2029	15	0,024	1,774	3,696
<i>S. cephalus</i>	10	M	0,2057	15	0,04	2,917	3,646
<i>S. cephalus</i>	1	L	0,1254	15	0,022	2,632	5,981
<i>S. cephalus</i>	2	L	0,2085	15	0,067	4,820	
<i>S. cephalus</i>	3	L	0,0888	15	0,028	4,730	8,446
<i>S. cephalus</i>	4	L	0,0378	15	0,039	15,476	19,841
<i>S. cephalus</i>	5	L	0,1375	15	0,066	7,200	
<i>S. cephalus</i>	6	L	0,1154	15	0,045	5,849	6,499
<i>S. cephalus</i>	7	L	0,1673	15	0,012	1,076	4,483
<i>S. cephalus</i>	8	L	0,1861	15	0,078	6,287	
<i>S. cephalus</i>	9	L	0,1946	15	0,065	5,010	
<i>S. cephalus</i>	10	L	0,1204	15	0,086	10,714	
<i>S. cephalus</i>	1	G	0,051	15	0,05	14,706	14,706
<i>S. cephalus</i>	2	G	0,0475	15	0,047	14,842	15,789
<i>S. cephalus</i>	3	G	0,0381	15	0,028	11,024	19,685
<i>S. cephalus</i>	4	G	0,0373	15	0,036	14,477	20,107
<i>S. cephalus</i>	5	G	0,0487	15	0,074	22,793	
<i>S. cephalus</i>	6	G	0,0348	15	0,079	34,052	
<i>S. cephalus</i>	7	G	0,0527	15	0,1	28,463	
<i>S. cephalus</i>	8	G	0,0777	15	0,115	22,201	
<i>S. cephalus</i>	9	G	0,0491	15	0,104	31,772	
<i>S. cephalus</i>	10	G	0,039	15	0,119	45,769	

