



# MASTERARBEIT

Titel der Masterarbeit

## Quecksilberumsetzung in verschiedenen Gewässertypen

verfasst von

Christiane Christian

angestrebter akademischer Grad

Master of Science (MSc)

Wien, 2015

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 066 862

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Masterstudium Chemie

Betreut von:

Priv. Doz. Mag. Dr. Franz Jirsa



# Inhaltsverzeichnis

|       |                                                                  |    |
|-------|------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Einleitung .....                                                 | 1  |
| 1.1   | Quecksilber .....                                                | 1  |
| 1.1.1 | Physikalische und chemische Eigenschaften .....                  | 1  |
| 1.1.2 | Vorkommen und Verwendung .....                                   | 3  |
| 1.1.3 | Toxizität .....                                                  | 4  |
| 1.1.4 | Quecksilber in der Umwelt .....                                  | 5  |
| 1.2   | Motivation und Ziele .....                                       | 8  |
| 2     | Material und Methoden.....                                       | 9  |
| 2.1   | Neusiedlersee .....                                              | 9  |
| 2.2   | Probenahmestellen .....                                          | 11 |
| 2.2.1 | Probenahmestelle Neusiedl am See .....                           | 11 |
| 2.2.2 | Probenahmestelle Breitenbrunn am Neusiedlersee .....             | 12 |
| 2.2.3 | Probenahmestelle Panozzalacke .....                              | 13 |
| 2.3   | Analysenmethoden.....                                            | 14 |
| 2.3.1 | Allgemeine Wasserparameter .....                                 | 14 |
| 2.3.2 | Quecksilberanalyse - Kaltdampfatomabsorptionsspektrometrie ..... | 15 |
| 2.4   | Probenahme und Versuchsdurchführung .....                        | 20 |
| 2.4.1 | Sedimentproben .....                                             | 20 |
| 2.4.2 | Vorversuche .....                                                | 21 |
| 2.4.3 | Hauptversuche .....                                              | 23 |
| 3     | Ergebnisse .....                                                 | 28 |
| 3.1   | Allgemeine Wasserparameter .....                                 | 28 |
| 3.2   | Quecksilber und organische Bestandteile im Sediment.....         | 29 |
| 3.3   | Laborversuche: Vorversuche .....                                 | 31 |

|       |                                                                                                    |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.1 | Abnahme der Konzentration des gelösten Quecksilbers $Hg_{aq}$ in Mesokosmen über 144 Stunden ..... | 31 |
| 3.3.2 | Abnahme der Konzentration des gelösten Quecksilbers $Hg_{aq}$ in Mesokosmen über 22 Stunden .....  | 32 |
| 3.4   | Laborversuche: Hauptversuche .....                                                                 | 33 |
| 3.4.1 | Abnahme der Konzentration des gelösten Quecksilbers $Hg_{aq}$ in Mesokosmen über 12 Stunden .....  | 33 |
| 3.4.2 | Quecksilberverteilung nach 12 Stunden .....                                                        | 36 |
| 4     | Diskussion .....                                                                                   | 39 |
| 4.1   | Allgemeine Wasserparameter .....                                                                   | 39 |
| 4.2   | Sediment .....                                                                                     | 39 |
| 4.3   | Laborversuche: Vorversuche .....                                                                   | 41 |
| 4.4   | Laborversuche: Hauptversuche .....                                                                 | 42 |
| 4.4.1 | Abnahme der Konzentration des gelösten Quecksilbers $Hg_{aq}$ in Mesokosmen über 12 Stunden .....  | 42 |
| 4.4.2 | Quecksilberverteilung nach 12 Stunden .....                                                        | 42 |
| 4.5   | Conclusio .....                                                                                    | 48 |
| 5     | Anhang .....                                                                                       | 49 |
| 5.1   | Kurzfassung .....                                                                                  | 49 |
| 5.2   | Abstract .....                                                                                     | 51 |
| 5.3   | Literaturverzeichnis .....                                                                         | 53 |
| 5.4   | Abbildungsverzeichnis .....                                                                        | 56 |
| 5.5   | Tabellenverzeichnis .....                                                                          | 58 |
| 5.6   | Messergebnisse .....                                                                               | 60 |
| 5.7   | Lebenslauf .....                                                                                   | 74 |
| 5.8   | Danksagung .....                                                                                   | 75 |

# 1 Einleitung

---

## 1.1 Quecksilber

Seinen englischen Namen „mercury“ hat Quecksilber vom römischen Gott Merkur, dessen unberechenbarer Charakter verantwortlich für die Namensgleichheit sein soll. Die lateinische Bezeichnung „hydragyrum“ führt zur Abkürzung „Hg“ und liegt mit der Bedeutung „silbernes Wasser“ näher an den tatsächlichen Eigenschaften des Metalls (Swartzendruber, 2012).

Bekannt ist Quecksilber der Menschheit schon seit 4000 v. Chr. als eines der sieben Metalle des Altertums. „Seele der Metalle“ wurde es im Mittelalter genannt und im 16. Jahrhundert fand es als medizinisches Präparat bei Paracelsus Anklang. Aus der althochdeutschen Bezeichnung „quecksilabar“, übersetzt „lebendiges Silber“, lässt sich der heute verwendete Name direkt ableiten (Binder, 1999).

### 1.1.1 Physikalische und chemische Eigenschaften

Im Periodensystem der Elemente ist Quecksilber mit der Ordnungszahl 80 in der 12. Gruppe unter den Übergangsmetallen Zink und Cadmium zu finden. Es glänzt silberweiß, hat eine Atommasse von 200,59 g/Mol und gehört mit einer Dichte von 13,5 g/cm<sup>3</sup> bei 20°C zu den Schwermetallen. Mit einem Schmelzpunkt von – 39 °C nimmt Quecksilber eine Sonderstellung unter den Metallen ein, da es als einziges Metall bei Raumtemperatur und Normaldruck im flüssigen Aggregatzustand vorliegt (Binder, 1999). Der Sättigungsdampfdruck von elementarem Quecksilber beträgt bei 20 °C 0,0016 mbar, was eine hohe Flüchtigkeit des Schwermetalls zur Folge hat (Riedel, 2007).

Quecksilber kommt in sieben stabilen und vier radioaktiven Isotopen vor. <sup>197</sup>Hg ( $t_{1/2} = 64,1$  h) und <sup>203</sup>Hg ( $t_{1/2} = 46,6$  d) sind Gammastrahler und werden auf Grund ihrer relativ kurzen Halbwertszeiten zur Isotopenmarkierung eingesetzt. Das charakteristische Verteilungsmuster der stabilen Isotope ermöglicht massenspektrometrische Untersuchungen (Schröder & Munthe, 1998).

Quecksilber bildet bereits bei Raumtemperatur mit vielen Metallen Legierungen, welche als Amalgame bezeichnet werden. Die Ausnahme bildet Eisen, mit welchem das Schwermetall nicht reagiert (Binder, 1999).

Bedingt durch die Elektronenkonfiguration  $[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^2$  liegt das edle Metall hauptsächlich in den Oxidationsstufen +2 und +1 vor. Als Edelmetall ist Quecksilber gut polarisierbar, was zur Bevorzugung kovalenter Bindungen führt (Riedel, 2007).

Liegt das Metall in Oxidationsstufe +I vor, entstehen Salze, die aus dem kovalent verbundenen  $\text{Hg}_2^{2+}$  Ion aufgebaut sind. Die Bildung von Komplexen ist bei Hg(I)-Verbindungen eher unwahrscheinlich und das dimere Ion ist, außer in Gegenwart von Komplexbildnern oder Fällungsmitteln, beständig gegen Disproportionierung. Quecksilber(I)-Halogenide sind meist schwer löslich und lichtempfindlich. Bekannt ist vor allem Kalomel ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ) durch seinen Einsatz als Elektrodenmaterial. Ein weiteres Beispiel einer Hg(I)-Verbindung ist das leicht lösliche Quecksilber(I)-Nitrat ( $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ ) (Riedel, 2007).

Quecksilber in der Oxidationsstufe +II bildet hauptsächlich kovalente Bindungen. Die meisten Hg(II)-Verbindungen sind schwer löslich und neigen im Gegensatz zu Hg(I)-Verbindungen zur Komplexbildung in linearer, tetraedrischer oder auch oktaedrischer Koordination. Ein Beispiel ist das weiße Sublimat Quecksilber(II)-chlorid ( $\text{HgCl}_2$ ), welches anders als die meisten Hg(II)-Verbindungen gut in Wasser löslich ist und wenig dissoziiert vorliegt (Riedel, 2007).

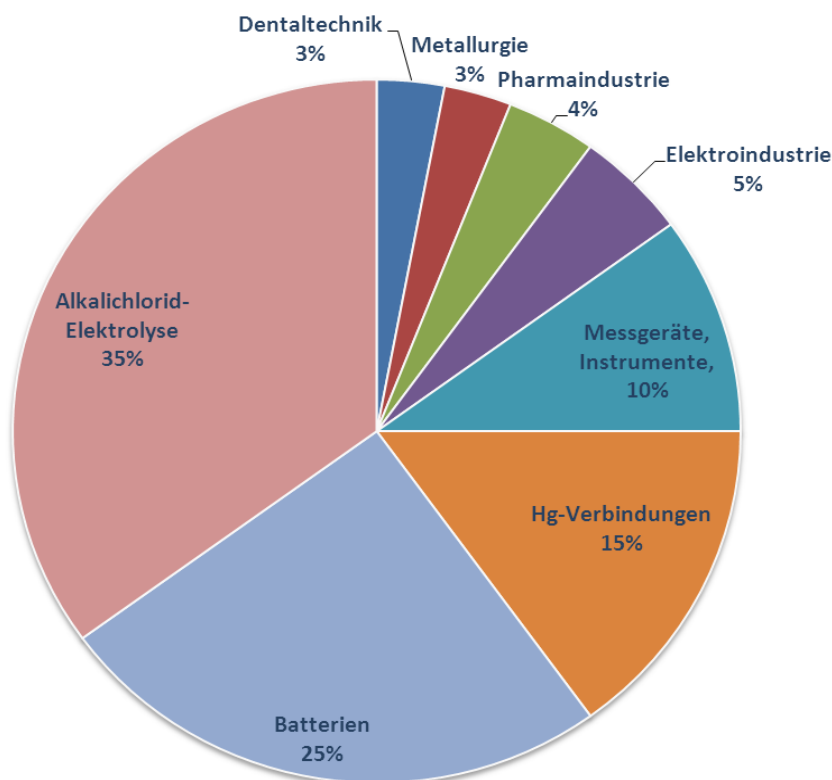
Organische Quecksilberverbindungen spielen durch ihre Lipophilität und somit verbesserte Aufnahme in Organismen eine besondere Rolle in Bezug auf die Umweltbelastung durch Quecksilber und seinen Verbindungen (Kaim & Schwederski, 2005). Die am häufigsten vorkommende Form organischen Quecksilbers stellt Monomethylquecksilber ( $\text{MeHg}$ ) dar, welches in der Literatur häufig nur Methylquecksilber bezeichnet wird (Ravichandran, 2004). Hg(II) wird hauptsächlich durch sulfatreduzierende Bakterien in anaeroben Sedimentsschichten zu  $\text{MeHg}$  umgesetzt (Swartendruber & Jaffe, 2012). Es wird vermutet, dass vor allem der Gehalt an organischem Kohlenstoff und die Sulfatkonzentration Einfluss auf die Aktivität der Bakterien hat (Gilmour et al., 1992). In diesem Zusammenhang kann bei hohen Gehalten an Sulfat und organischem Kohlenstoff von „hot-spots“ der Methylquecksilberproduktion gesprochen werden (Mitchell et al., 2008).

### 1.1.2 Vorkommen und Verwendung

In der Erdkruste beträgt das Vorkommen von Quecksilber trotz mehr als 25 unterschiedlichen quecksilberhaltigen Mineralen nur 0,5 ppm. Zinnober (HgS) stellt das Hauptvorkommen des auf der Erde verfügbaren Quecksilbers dar. Die größten Lagerstätten befinden sich in Spanien, Italien, Slowenien, Kalifornien und Britisch Kolumbien. Durch Rösten von HgS kann reines Quecksilber gewonnen werden (Binder, 1999).

Anwendungsgebiete des Schwermetalls sind der Einsatz als Kathode bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse, in der Batterieproduktion und Metallurgie, zur Herstellung antiseptischer und fungizider Pharmaprodukte oder in Amalgamen der Zahnmedizin. Weiters wird Quecksilber in kleineren Mengen in Thermometern, Barometern, Manometer, Thermostaten, Blutdruckmessgeräten oder Quecksilberdampflampen eingesetzt (Riedel, 2007).

*Abbildung 1* zeigt die Verteilung des deutschen Quecksilberverbrauchs von rund 250 Tonnen pro Jahr (Binder, 1999).



**Abbildung 1:** Quecksilberverbrauch in Deutschland (nach Binder, 1999)

### 1.1.3 Toxizität

Quecksilber ist wie Blei schon seit langem als Umweltgift bekannt. Das Metall und seine Verbindungen interagieren bevorzugt mit Amino- und Sulfhydrylgruppen, wodurch vor allem Proteine und Enzyme angegriffen werden (BAG, 2009). Die toxischen Effekte von Quecksilber in der Umwelt und Organismen werden aber hauptsächlich von der vorliegenden Spezies bestimmt (Selin, 2009):

#### Elementares Quecksilber

Elementares Quecksilber wird vor allem in Form von Dämpfen über das respiratorische System aufgenommen. Bei Quecksilberkonzentrationen von  $1 - 3 \text{ mg/m}^3$  können Vergiftungserscheinungen wie Kopfschmerzen, Fieber oder Atemnot auftreten (BAG, 2009). Chronische Belastung kann von Durchblutungs- und Koordinationsstörungen, Gedächtnisverlust, Seh- und Hörstörungen bis zum Tod führen (Kaim & Schwederski, 2005).

#### Anorganische Quecksilberverbindungen

Liegt Quecksilber als  $\text{Hg}^{2+}$  vor, wirkt es durch die erleichterten Aufnahmebedingungen akut toxisch (Kaim & Schwederski, 2005). Orale Aufnahme hat Verätzungen, Übelkeit und blutiges Erbrechen zur Folge. Gelangt das Schwermetall in den gastrointestinalen Trakt kann es weiters zu Kreislaufproblemen und Nierenschädigung kommen. Die tödliche Dosis für Menschen liegt bei  $3 - 15 \text{ mg/kg}$  Körpergewicht (BAG, 2009).

#### Organische Quecksilberverbindungen

Methylquecksilber, sowie weitere metallorganische Verbindungen, stellen durch die verbesserte Lipophilität ein besonders hohes Risiko dar (Kaim & Schwederski, 2005) und können schon bei bis zu 10 x niedrigeren Konzentrationen als elementares Quecksilber wirksam werden (Boening, 1999). Die Eigenschaften der metallorganischen Verbindungen machen den Transport durch Membranen und die Blut-Hirn-Schranke möglich (Kaim & Schwederski, 2005). Durch die Vergiftung mit Methylquecksilber werden das Zentralnervensystem und die Entwicklung maßgeblich gestört, sodass Blindheit, Taubheit und Tod die Folgen sein können. (BAG, 2009).

#### 1.1.4 Quecksilber in der Umwelt

Die weltweite Quecksilberbelastung stellt ein Risiko für die Umwelt und die Gesundheit der Bevölkerung dar. Quecksilber liegt natürlich in der Umwelt vor, die freigesetzte Menge wurde durch anthropogene Emissionen allerdings um einen Faktor 3-5 erhöht (Selin, 2009).

##### Emissionen aus natürlichen Quellen

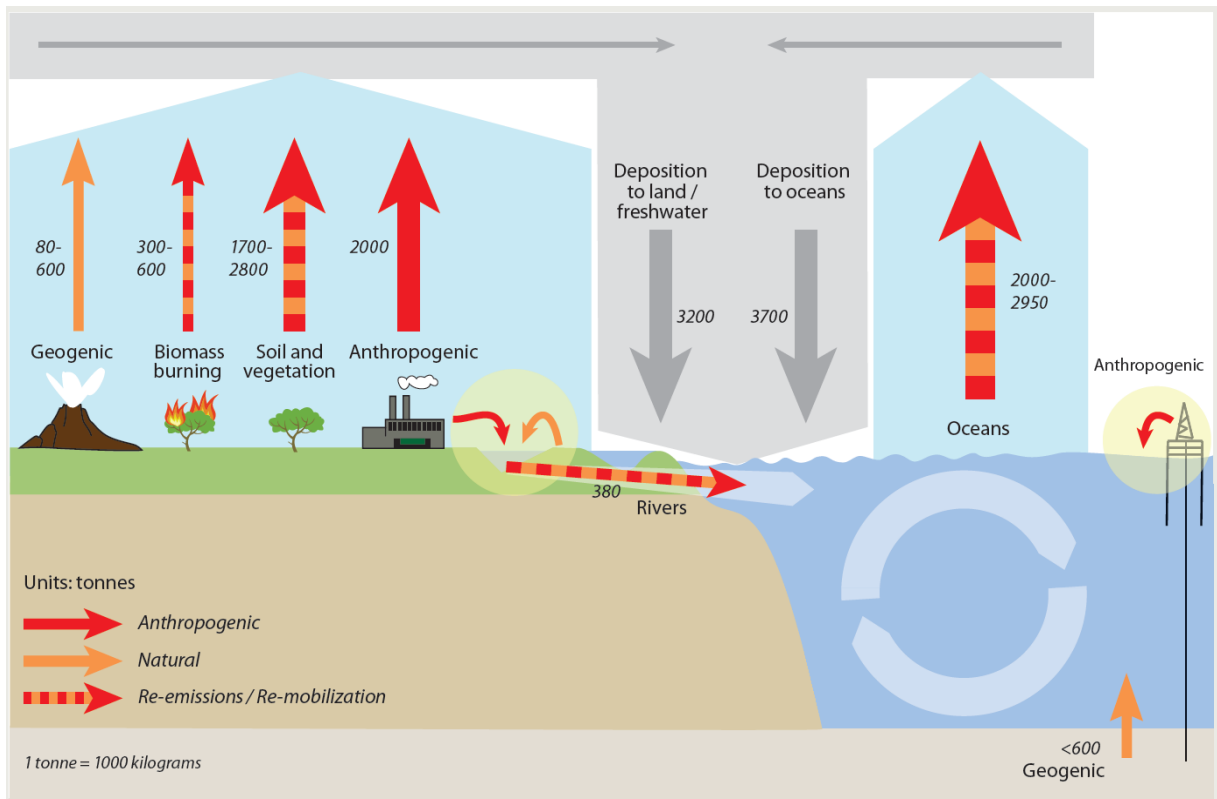
Natürliche Hg-Emissionen stammen hauptsächlich von einem quecksilberreichen Gürtel entlang der tektonischen Platten unter Mitteleuropa, der westlichen Küste Nordamerikas und südlichen Regionen Chinas (Selin, 2009). Im Boden liegt Quecksilber vor allem als Zinnober (HgS) vor und ist relativ immobil. Durch geogene Vorgänge, sowie durch direkte Freisetzung aus dem Boden oder den Ozeanen gelangt es in die Umwelt (Swartzendruber, 2012). Freigesetztes Quecksilber liegt hauptsächlich elementar als Hg(0) vor, durch Vulkanausbrüche oder Bodenerosionen kann es auch als partikulär-gebundenes Quecksilber in Form von Aerosolen in die Atmosphäre emittiert werden (Schröder, 1998). Ozeanische, geothermale Aktivitäten verursachen eine Emission in die tiefen Schichten der Meere (Global Mercury Assessment, 2013).

##### Emissionen durch anthropogene Einflüsse

Im Zuge der industriellen Revolution wurde die Freisetzung von Quecksilber durch den vermehrten Kohleabbau, die Verbrennung fossiler Brennstoffe und der Goldgewinnung, bei der die Fähigkeit von Quecksilber zur Amalgambildung mit Gold genutzt wird (Binder, 1999), drastisch erhöht (UNEP, 2013). Weitere Belastungsquellen sind die Chlor-Alkali-Elektrolyse und natürlich die Quecksilberproduktion an sich, das Rösten von Zinnober. (Schröder und Munthe, 1997).

Lokale Belastungen können durch Abflüsse aus Quecksilberminen oder unsachgemäße Entsorgung kontaminierten Materials entstehen. Das bekannteste Beispiel lokalen, anthropogenen Quecksilbereintrags stellt die Minamata-Bucht dar (Swartzendruber, 2012). Im Rahmen der Vinylchlorid- und der dazugehörigen Acetaldehyd-Produktion wurde über Jahre das Nebenprodukt Methylquecksilberchlorid ins Meer geleitet, was in einer starken lokalen Kontamination resultierte (Ekino, 2007). In den 1950er Jahren kam es in Japan bei über 1200 Menschen durch den Verzehr methylquecksilberbelasteter Fische und dem Konsum von belastetem Trinkwasser zu Vergiftungserscheinungen. 55 Menschen starben an den Folgen der Vergiftung, welche heute als Minamata-Krankheit bekannt ist (Binder, 1999).

Abbildung 2 zeigt die natürlichen und anthropogenen Quellen der Quecksilberbelastung und -flüsse in Atmosphäre und Wasser (UNEP, 2013):



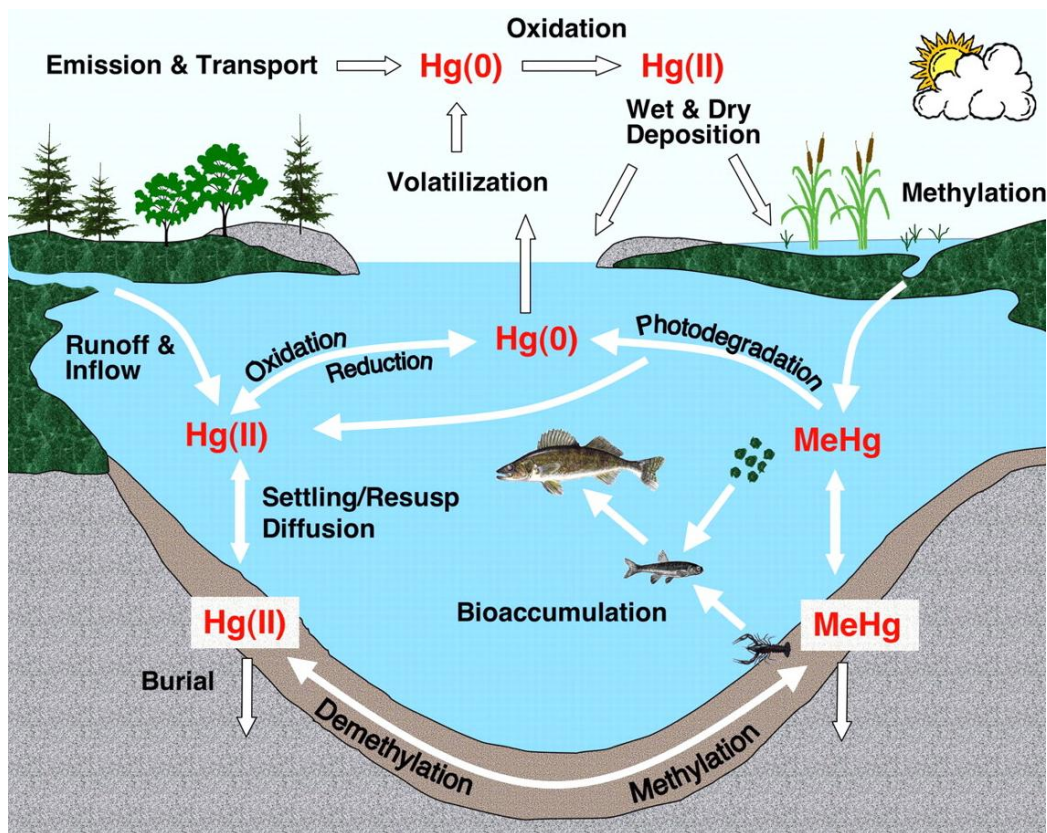
**Abbildung 2:** Natürliche und anthropogene Quecksilberquellen und -flüsse (Abbildung aus Global Mercury Assessment, 2013 © United Nations Environment Programme)

Durch atmosphärischen Transport und anschließender Deposition über dem Meer, Land und in Flüsse verteilt sich das Schwermetall über den gesamten Erdball, sodass es ubiquitär vorhanden ist (Swartzendruber, 2012). Aufgrund seiner einzigartigen physikalisch-chemischen Eigenschaften unterscheidet sich Quecksilber von anderen in der Atmosphäre vorkommenden Metallen, insofern, dass es nach Deposition leicht wieder emittiert werden kann (Schröder und Munthe, 1997). Waldbrände (Schröder, Munthe, 1997) sowie Reflux aus aquatischen Systemen tragen dabei zur Reemission bereits mobilisierten Quecksilbers bei (Swartzendruber, 2012).

Im Moment verschulden anthropogene Quellen ungefähr 30 % der Quecksilberemissionen an die Atmosphäre (pro Jahr). Bis zu 60 % der heutigen Freisetzung an die Luft entstehen durch Reemission und Remobilisation bereits in den Ökosystemen vorhandener Spezies. Erst durch Absinken in tiefere Sedimentsschichten der Ozeane oder durch Stabilisation an inerten Mineralien kann das Schwermetall aus dem Kreislauf gezogen werden (UNEP, 2013).

## Quecksilberkreislauf

Abbildung 3 veranschaulicht den Quecksilberkreislauf:



**Abbildung 3:** Quecksilberkreislauf;  $\text{Hg}(0)$  – elementares Quecksilber,  $\text{Hg}(\text{II})$  – zweiwertiges Quecksilber,  $\text{MeHg}$  – methylierte Quecksilberspezies (Abbildung aus Engstrom, 2007 © The National Academy of Sciences of the USA)

Emittiertes  $\text{Hg}(0)$  kann durch verschiedene physikalische, chemische und photochemische Prozesse zu  $\text{Hg}(\text{II})$  oxidiert werden. Der entstehende Kreislauf ist einerseits von den physikalisch-chemischen Eigenschaften der einzelnen Quecksilberspezies, andererseits von den vorliegenden meteorologischen Bedingungen und anderen Umwelteinflüssen abhängig (Schröder & Munthe, 1998).

Etwa 10 % des in Wasser eingetragenen Quecksilbers werden direkt durch Sonnenlicht oder durch biologische Aktivitäten zu elementarem Quecksilber reduziert (Fitzgerald, 2007), wodurch das Oberflächenwasser in Hinsicht auf gelöstes, elementares Quecksilber gesättigt ist (Schröder & Munthe, 1998).

Im Sediment kann  $\text{Hg}(\text{II})$  durch sulfatreduzierende Bakterien zu Methylquecksilber ( $\text{MeHg}$ ) umgesetzt werden. Methylquecksilberspezies werden durch ihre verbesserte Fettlöslichkeit vermehrt in Biota aufgenommen (Swartzendruber, 2012), wobei Bioakkumulation entlang der Nahrungskette beobachtet werden kann (Engstrom, 2007).

## 1.2 Motivation und Ziele

In einer vorhergehenden Arbeit aus 2011 wurden Sediment, Pflanzen und Fische des Neusiedlersees auf ihren Quecksilbergehalt untersucht (Pirker, 2012; Jirsa et al., 2014). Konzentrationen von 0,025 bis 0,113 µg/g TM im Sediment, proportional zum Gehalt an organischem Kohlenstoff, deuten auf einen geringen anthropogenen Quecksilbereintrag hin. Die Konzentrationen in den Pflanzenproben waren mit  $0,245 \pm 0,152$  µg/g TM (*Potamogeton pectinatus*) und  $0,298 \pm 0,115$  µg/g TM (*Myriophyllum spicatum*) jedoch unerwartet hoch. Bei den Fischproben wurde literaturkonform eine Biomagnifikation von Hg entlang der Nahrungskette beobachtet, allerdings signifikant erhöhte Werte in der Muskulatur, im Vergleich zu anderen unbelasteten europäischen Oberflächengewässern (Jirsa et al., 2014). Die Ursache dieser Biokonzentration im Neusiedler See konnte bis dato noch nicht geklärt werden. Es stellt sich unter anderem die Frage, ob die spezielle Zusammensetzung des Seewassers hier eine Rolle spielen könnte.

Ein Ziel dieser Arbeit war es, dieser Frage nachzugehen und das Verhalten von Quecksilber in Gewässerproben aus dem Neusiedlersee mit Proben aus einem „durchschnittlichen“, unbelasteten Oberflächengewässer, nämlich der Panozzalacke aus dem Nationalpark Donauauen, zu vergleichen. Es soll die Verteilung von zugesetztem Quecksilber auf die Wasserphase, Partikel im Wasser, sowie das Ausgasen in die Umgebungsluft über die Zeit bestimmt werden. Der direkte Vergleich der beiden Wasserkörper sollte zeigen inwiefern die speziellen Eigenschaften des Wassers des Neusiedlersees Einfluss auf den Quecksilberstoffwechsel im Ökosystem nehmen.

Bevor diese Fragestellung untersucht werden konnte musste jedoch zunächst der Versuchsaufbau für das Labor entwickelt werden: Da in der Literatur keine derartigen Untersuchungen beschrieben sind, ist ein weiteres Ziel der Arbeit die Entwicklung einer Labormethode zur Untersuchung des Verhaltens von Quecksilber in natürlichen Proben. Zwar sind in der Literatur mehrere Beiträge zur Quantifizierung gasförmigen Quecksilbers zu finden, jedoch sind der Aufbau und die genaue Versuchsdurchführung nicht beschrieben (Munthe, 2001; Pandey, 2011; Weigelt, 2013; Lusilao-Makiese, 2014). Daher liegen die Entwicklung eines geeigneten Versuchsaufbaus im Labor und die Methodenentwicklung zur Messung gasförmigen Quecksilbers im Fokus der Arbeit.

## 2 Material und Methoden

Im Rahmen der Arbeit wurden von November 2014 bis August 2015 drei Stellen - eine an der Panozzalacke in Wien und zwei am Neusiedlersee – beprobt.

### 2.1 Neusiedlersee

Der Neusiedlersee liegt, wie auf *Abbildung 4* zu sehen ist, im nördlichen Burgenland im Osten Österreichs ( $47^{\circ}50'N$   $16^{\circ}45'E$ ) und gehört regional betrachtet zur Ökoregion der ungarisch-pannonischen Tiefebene (Löffler, 1979).

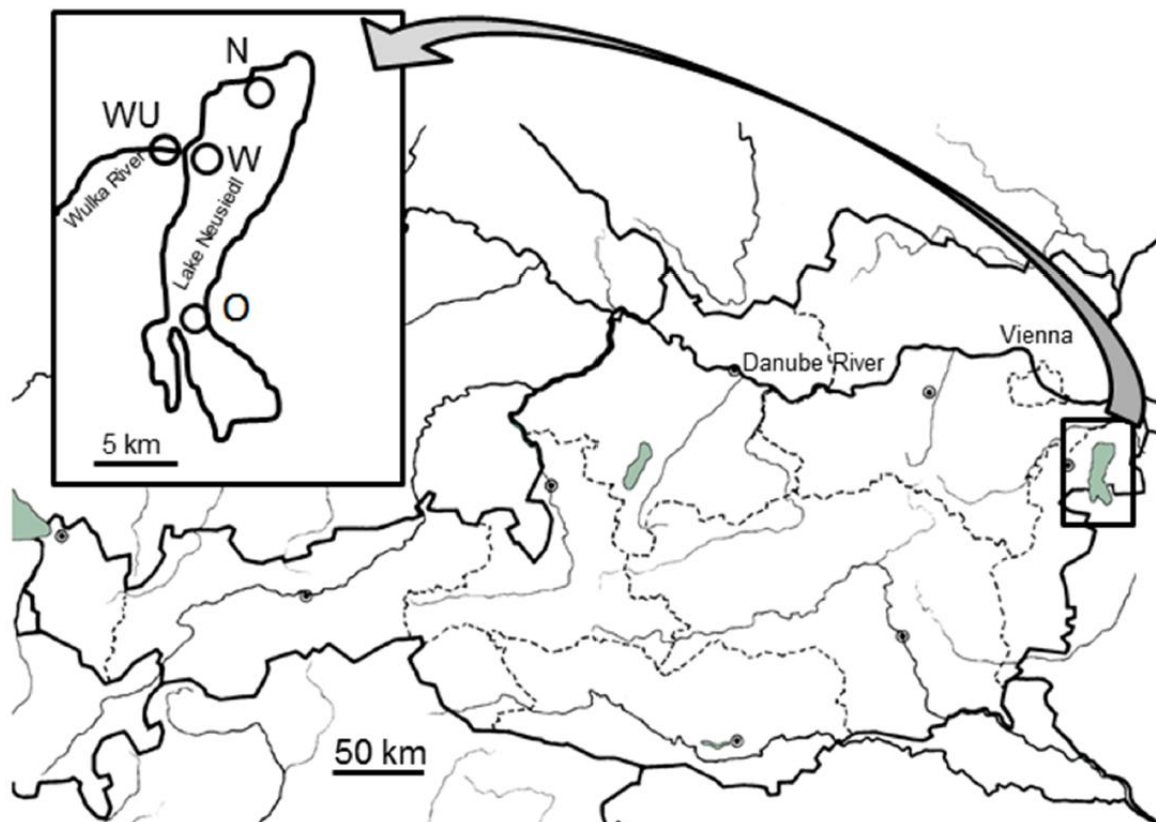


Abbildung 4: Geographische Lage des Neusiedlersees (Pirker, 2012)

Mit 36 km Länge, 14 km Breite und 320 km<sup>2</sup> Gesamtfläche ist der Neusiedlersee der größte See Österreichs, da sich etwa 4/5 des Sees auf österreichischem Gebiet befinden. Das restliche Fünftel des Sees liegt in Ungarn. Eine Besonderheit ist der bis zu einem Kilometer breite Schilfgürtel, der sich über 180 m<sup>2</sup> der Gesamtfläche erstreckt. (Nationalpark Neusiedlersee, 2015)

Der Grund des Sees bildet mit einer Seehöhe von 113 m den tiefsten Punkt des Landes. Mit einer maximalen Tiefe von 1,8 m und einer mittlere Tiefe von 1,0 m zählt der Neusiedlersee zu den wenigen Steppenseen Europas (Löffler, 1979).

Sein Wasser bezieht der See hauptsächlich aus dem Grund- und Regenwasser, sowie aus der Wulka, dem einzigen erwähnenswerten oberirdischen Zufluss (Löffler, 1979). Die natürliche Verdunstung reicht aus, um ein Gleichgewicht des Wasserstands aufrecht zu erhalten, allerdings kam es in der Geschichte des Sees auch zu kompletter Austrocknung (Löffler, 1974). Als Abfluss für Hochwasserfälle dient der künstlich angelegte Einserkanal auf der ungarischen Seite des Sees (Bundesamt für Wasserwirtschaft, 2008).

Zusätzlich zum breiten Schilfgürtel und der geringen Tiefe sind der hohe Salzgehalt und die Trübe weitere Besonderheiten des Neusiedlersees. Die Trübe entsteht durch die starken Winde, die bedingt durch die geringe Tiefe die Bodenschichten leicht aufwirbeln können. Den größten Anteil der gelösten Salze machen dabei Natriumkarbonat (Soda) und Natriumsulfat (Glaubersalz) aus (Löffler, 1974). Gründe für die hohen Konzentrationen sind einerseits salzreiche, unterirdische Zuflüsse, andererseits die durch die geringe Tiefe beschleunigte Erwärmung: In den Sommermonaten kann der See über 30°C Wassertemperatur erreichen, was die Salzkonzentration durch vermehrte Verdunstung auf bis zu 2000 g/m<sup>3</sup> ansteigen lässt (Nationalpark Neusiedlersee, 2015).

Das Einzugsgebiet des Sees wird hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt, der Neusiedlersee selbst vor allem für Freizeitaktivitäten wie Baden, Boot fahren, Wintersport, Fischerei und Camping (Bundesamt für Wasserwirtschaft, 2008).

## 2.2 Probenahmestellen

### 2.2.1 Probenahmestelle Neusiedl am See

Neusiedl am See befindet sich am nördlichen Ufer des Sees ( $47^{\circ}55'43.8''\text{N}$   $16^{\circ}49'59.9''\text{E}$ ) (*Abbildung 5*). Hier wurden Wasserproben vom Steg der ansässigen Segelschule gezogen.



**Abbildung 5:** Geographische Lage der Probenahmestelle in Neusiedl am See (©2015 Google)

### 2.2.2 Probenahmestelle Breitenbrunn am Neusiedlersee

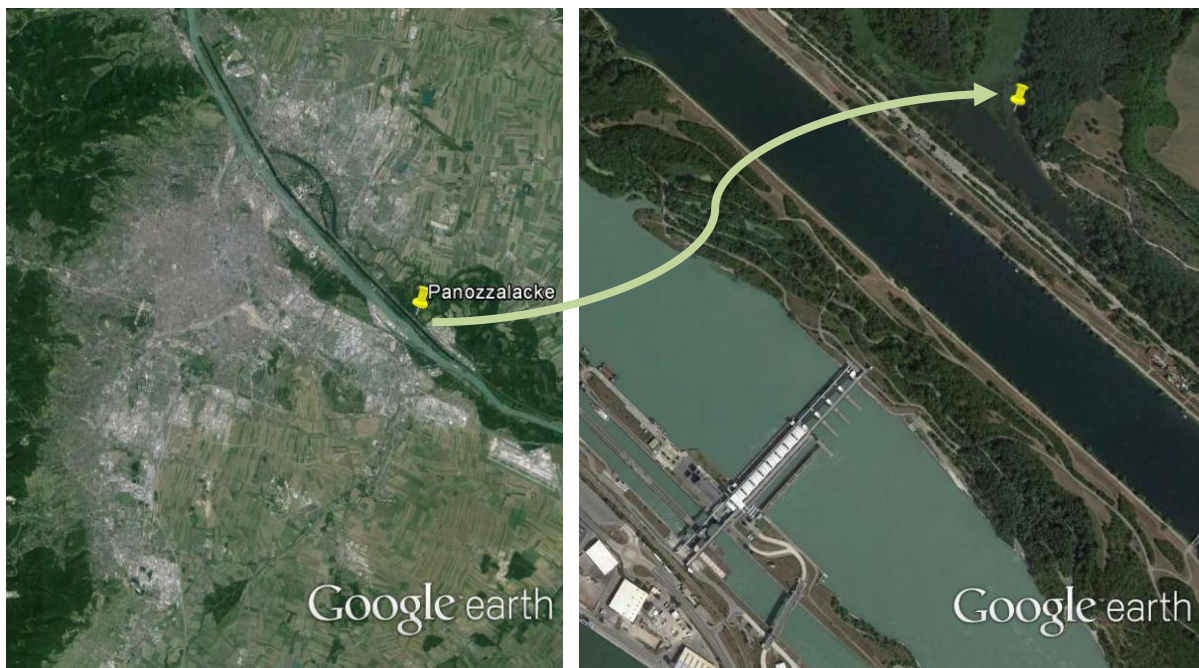
In Abbildung 6 ist die Probenahmestelle in Breitenbrunn am Neusiedlersee ( $47^{\circ}54'53.8''\text{N}$   $16^{\circ}45'44.8''\text{E}$ ) zu sehen, wo Wasser- und Sedimentproben genommen wurden. Breitenbrunn befindet sich auf der nordwestlichen Seite des Sees und bietet durch einen Steg, der entlang des Schilfgürtels verläuft eine gute Möglichkeit zur Probennahme.



**Abbildung 6:** Geographische Lage der Probenahmestelle in Breitenbrunn am Neusiedlersee (©2015 Google)

### 2.2.3 Probenahmestelle Panozzalacke

Die Panozzalacke ist als „durchschnittliches“ Oberflächengewässer mit ebenfalls „durchschnittlichem“ Süßwasser zu bezeichnen und eignet sich als Referenz zum salzreichen Wasser des Neusiedlersees. Sie liegt im 22. Wiener Gemeindebezirk und gehört zum Nationalpark Donauauen (48°10'54.92"N 16°29'14.69"E). Trotz einer Gesamtfläche von 1,8 km<sup>2</sup> beträgt ihre Wasserfläche lediglich 5,7 ha, da mit 12,6 ha so gut wie zwei Drittel der Fläche auf die Röhrlichtzone entfallen. Auf mehr als 50 % der Fläche ist die Panozzalacke tiefer als 1,5 m (Waidbacher, 1999). In *Abbildung 7* ist ein Teil der Panozzalacke und das umliegende Gebiet zu sehen, wobei die Stelle der Probennahme gelb markiert ist. Aus der Panozzalacke wurden sowohl Wasser-, als auch Sedimentproben entnommen.



**Abbildung 7:** Geographische Lage der Probenahmestelle an der Panozzalacke und Umgebung (©2015 Google)

## 2.3 Analysenmethoden

### 2.3.1 Allgemeine Wasserparameter

Temperatur [°C], Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ], pH-Wert und Sauerstoffgehalt [ $\text{mg}/\text{L}$ ] wurden mit portablen Messgeräten der Firma WTW direkt an der Probennahmestelle gemessen.

Direkt nach Ankunft der Proben im Labor wurden die Proben durch einen  $0,45\ \mu\text{m}$  Celluloseacetatfilter (Sartorius) filtriert. Für die Analyse der Kationen wird die filtrierte Probe mit  $\text{HNO}_3$  (suprapur, Fluka) angesäuert und bis zur Messung im Kühlschrank bei  $4\ ^\circ\text{C}$  gelagert.

Der Gehalt an organischem Material – total organic matter (TOM) und dissolved organic matter (DOM) – wurde in den Wasserproben als total organic carbon (TOC) und dissolved organic carbon (DOC) mit einem TOC Analyzer von Shimadzu bestimmt. Der totale Stickstoff (total nitrogen – TN) wurde ebenfalls mit dem TOC Analyzer von Shimadzu bestimmt.

Der Carbonatgehalt wurde durch volumetrische Titration mit  $0,1\ \text{M}$  Salzsäure bestimmt (Wetzel, 2000).

Die Konzentrationen der Nitrat-, Nitrit-, Ammonium- und Phosphat-Ionen wurden mit Hilfe von Spektroquant-Schnelltests und einem SQ118 Photometer von Merck, die der Chlorid- und Sulfationen mit einem Perkin Elmer Lambda35 UV-VIS Spektrometer bestimmt.

Die Konzentrationen der häufigsten Kationen Na, K, Ca und Mg wurden mittels Flammen Atomabsorptionsspektrometrie (AAnalyst 200 von Perkin Elmer) ermittelt. Dafür wurde mit folgenden Messbereichen (Tabelle 1) und Wellenlängen gearbeitet:

**Tabelle 1:** Parameter der Kationenbestimmung mittels AAS

| <i><b>Element</b></i> | <i><b>Messbereich [<math>\text{mg}/\text{L}</math>]</b></i> | <i><b>Wellenlänge [<math>\text{nm}</math>]</b></i> |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Natrium</b>        | 0,125 – 1                                                   | 589                                                |
| <b>Kalium</b>         | 0,25 – 2                                                    | 766,49                                             |
| <b>Calcium</b>        | 2,5 – 20                                                    | 422,67                                             |
| <b>Magnesium</b>      | 0,0625 – 0,5                                                | 285,21                                             |

## 2.3.2 Quecksilberanalyse - Kaltdampfatomabsorptionsspektrometrie

### 2.3.2.1 Kaltdampfatomabsorptionsspektrometrie (CV-AAS)

Der für Quecksilber charakteristische hohe Dampfdruck erlaubt eine spektroskopische Analyse ohne vorhergehende thermische Atomisierung. Die Probe wird mit Hilfe des Carriers, 3%ige Salzsäure, in die Mischkammer gebracht. Das in Lösung vorliegende  $\text{Hg}^{2+}$  wird mit 0,2% Natriumborhydrid, gelöst in 0,05% Natriumhydroxid, zu  $\text{Hg}^0$  reduziert und mit Argon aus der Lösung gespült. Die Absorption kann anschließend in der Messzelle bei einer Wellenlänge von 254 nm bestimmt werden (Binder, 1999).

Abbildung 8 zeigt schematisch den Aufbau des Flow Inject Mercury Systems:

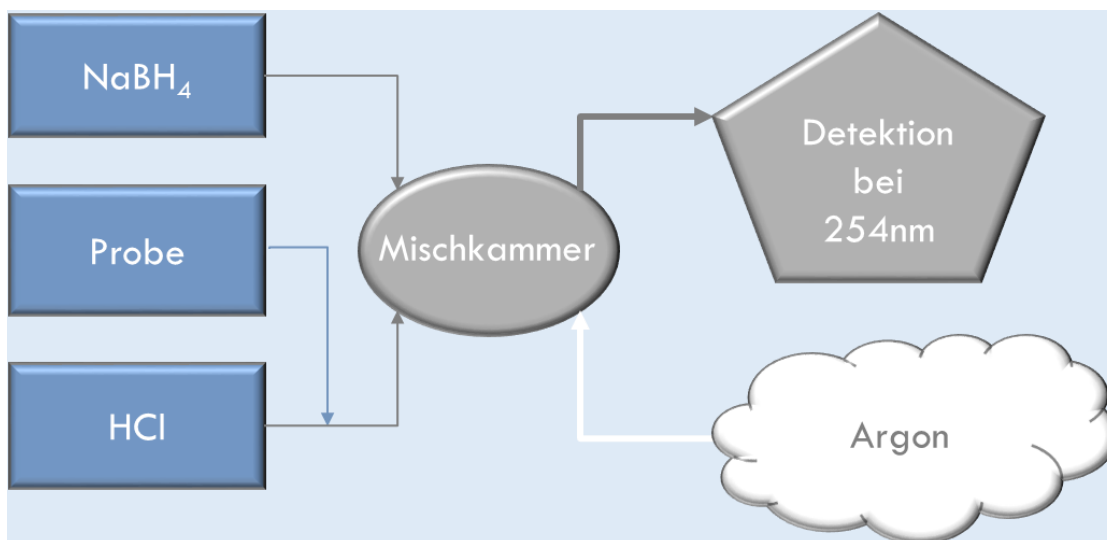


Abbildung 8: Schematischer Geräteaufbau zur Analyse flüssiger Proben

### 2.3.2.2 Quantifizierung von gelöstem Quecksilber ( $\text{Hg}_{\text{aq}}$ )

Die quantitative Quecksilberanalyse im filtrierten Wasser erfolgte direkt nach Probenentnahme mit einem Flow Inject Mercury System 400 (FIMS) von Perkin Elmer nach dem Prinzip der Kaltdampfatomabsorptionsspektroskopie. 10 ml Probe wurden mit Hilfe einer Spritze aus dem Mesokosmos entnommen, durch einen  $0,2\ \mu\text{m}$  Spritzenvorsatzfilter in ein Kunststoffröhrchen transferiert und mit  $100\ \mu\text{L}$  konzentrierter Salpetersäure (69 %, suprapur, Fluka) angesäuert.

Für die Kalibration wurden fünf Standardlösungen von 1 bis  $10\ \mu\text{g/L}$  analysiert und der Korrelationskoeffizienten der Kalibriergerade lag in allen Fällen über 0,9995. Die Nachweisgrenze der Methode liegt bei  $0,1\ \mu\text{g/L}$ .

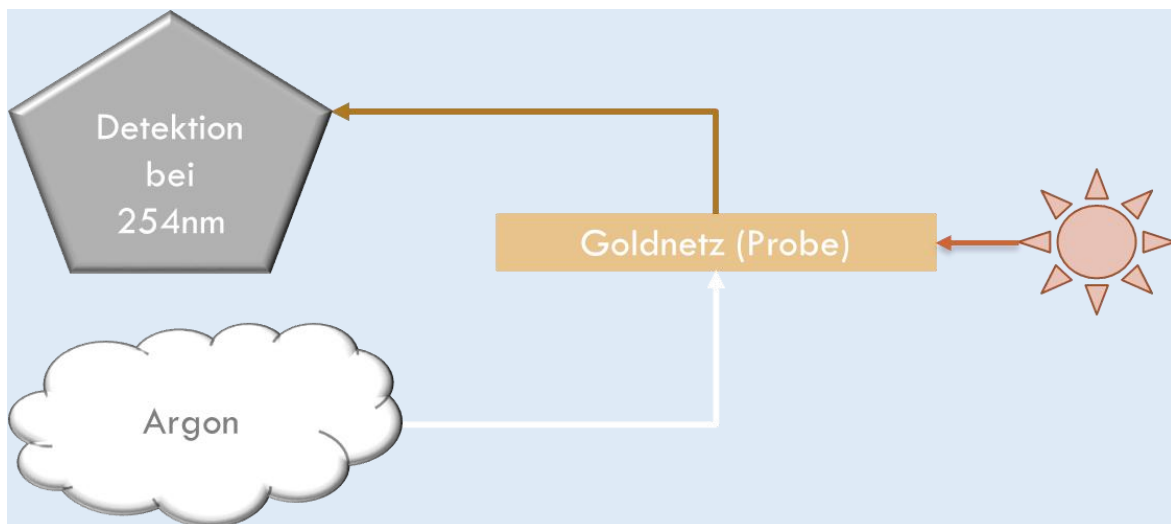
### 2.3.2.3 Quantifizierung von gasförmigem Quecksilber ( $\text{Hg}_g$ )

Um den Austritt des Quecksilbers an die Luft zu bestimmen, wurden Glasröhrchen mit eingebetteten Goldnetzen, so genannte Quecksilberfallen, verwendet. Ursprünglich sind diese Röhrchen ein Bauteil des AA Accessory Amalgam Systems und werden bei der Messung sehr geringer Quecksilberkonzentrationen zur Aufkonzentration des Analyten eingesetzt (Liang & Bloom, 1993).

Diese Methode macht sich die Eigenschaft von Quecksilber zu Nutzen, dass das Schwermetall mit Gold Amalgam bildet.  $\text{Hg}_g$  wird dabei an einem Goldnetz temporär gebunden und so konzentriert um danach durch thermale Desorption gelöst zu werden und mit einem Argonstrom in die Messzelle transportiert zu werden (Pandey, 2011).

Für die Desorption des Quecksilbers vom Goldnetz und den Transport in die Messzelle wird 20 Sekunden mit Argon gespült, 10 Sekunden auf  $800^\circ\text{C}$  erhitzt, 10 Sekunden gemessen und abschließend für 15 Sekunden gekühlt.

Abbildung 9 zeigt den schematischen Aufbau der quantitativen Analyse von an Goldfallen adsorbierter Quecksilberspezies.



**Abbildung 9:** Schematischer Geräteaufbau zur Analyse von an Gold adsorbierten Quecksilber

### Kalibration der CV-AAS für die Messung von Hg<sub>g</sub>

Die Kalibration der Methode erforderte gasförmige Standards in Form von quecksilbergesättigter Luft und wurde in Anlehnung an die Beschreibung in Lusilao-Makiese (2014), durchgeführt: In einer Glasflasche mit einem Volumen von 10 Liter wurde eine kleine Menge elementares Quecksilber aufbewahrt. Die Flasche wurde mit einem Ventilator zur gleichmäßigen Luftzirkulation und einem Thermometer ausgestattet. Luft konnte über eine Kanüle entnommen werden (*Abbildung 10*). Durch den für Quecksilber typisch hohen Dampfdruck (Riedel, 2007) stellt sich das Gleichgewicht zwischen Flüssig- und Gasphase rasch ein. Um eine Sättigung zu gewährleisten wurde die Apparatur erst eine Woche nach der Befüllung verwendet. Für die Kalibration wurden nacheinander die Volumina 0,4 – 0,6 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 8 – 10 Milliliter mit einer Spritze entnommen, auf das Glasröhrchen mit Goldnetz injiziert und anschließend analysiert.



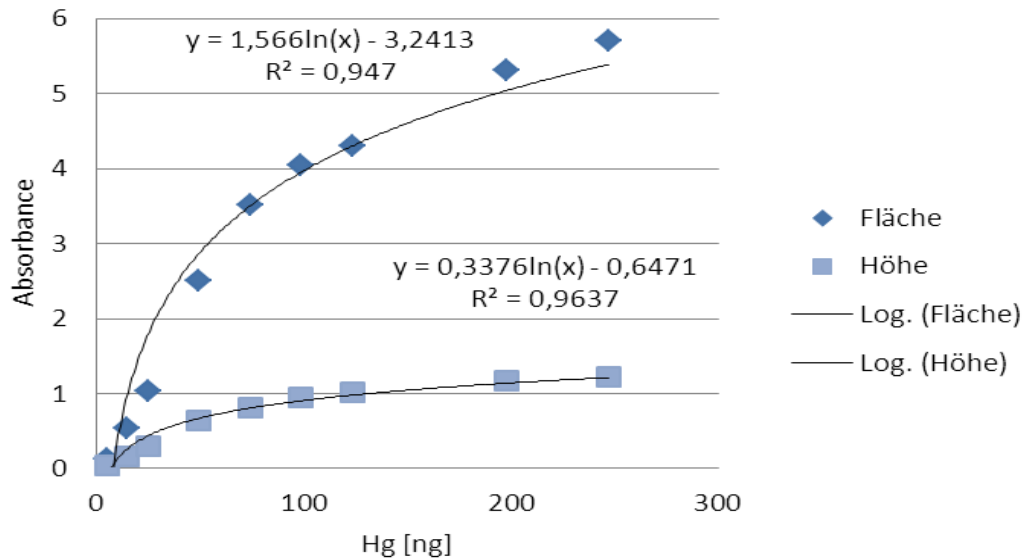
**Abbildung 10:** Apparatur zur Entnahme quecksilbergesättigter Luft

Über den temperaturabhängigen Dampfdruck (*Tabelle 2*) kann die Hg<sub>g</sub>-Konzentration in den entnommenen Volumina berechnet werden. Die je nach Temperatur variierenden Konzentrationen pro Volumen werden mit den ausgegebenen Absorptionen für Fläche und Höhe der Peaks korreliert.

**Tabelle 2:** Temperaturabhängigkeit des Hg-Dampfdrucks (Haynes, 2015-2016)

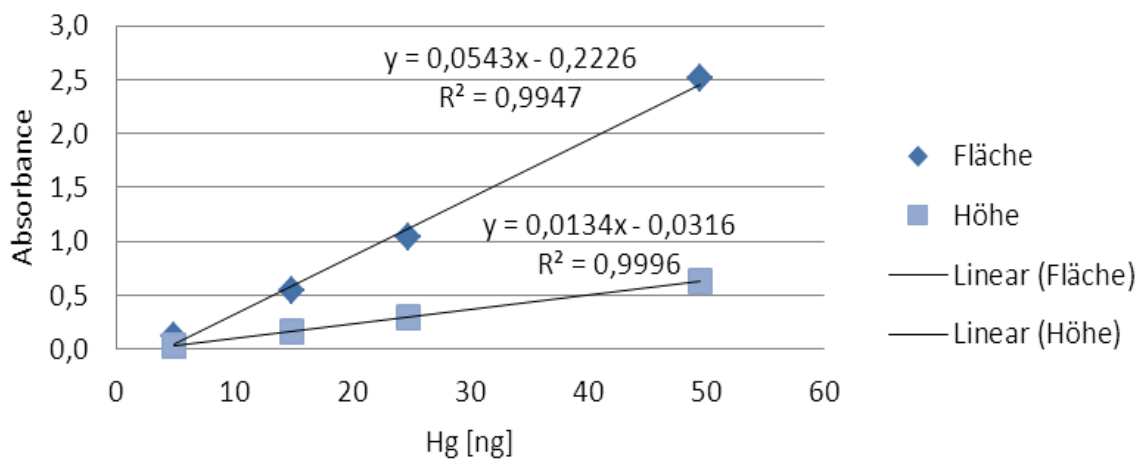
| <i>T [°C]</i> | <i>Dampfdruck Hg [Pa]</i> | <i>Hg [mg/m<sup>3</sup>]</i> |
|---------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>20</b>     | 0,1713                    | 13,6                         |
| <b>21</b>     | 0,1866                    | 14,4                         |
| <b>22</b>     | 0,2032                    | 15,6                         |
| <b>23</b>     | 0,2211                    | 17,0                         |
| <b>24</b>     | 0,2404                    | 18,5                         |
| <b>25</b>     | 0,2613                    | 20,1                         |
| <b>26</b>     | 0,2839                    | 21,8                         |
| <b>27</b>     | 0,3082                    | 23,7                         |
| <b>28</b>     | 0,3344                    | 25,7                         |
| <b>29</b>     | 0,3627                    | 27,9                         |
| <b>30</b>     | 0,3931                    | 29,6                         |

Wie in *Abbildung 11* zu sehen ist, konnten Kalibrationskurven sowohl über die Höhe der Peaks, als auch über ihre Fläche erstellt werden. In beiden Fällen ergab sich eine logarithmische Funktion.



**Abbildung 11:** Beispiel der Kalibrationskurven der Hg<sub>g</sub>-Messungen

An Hand des linearen Abschnitts der logarithmischen Funktionen der Fläche und Höhe wurden Geradengleichungen erstellt (*Abbildung 12*). Die Funktion über die Höhe der Peaks konnte nur einen kleinen Absorptionsbereich abdecken. Daher wurde die Fläche der Peaks für die Berechnung der Probenkonzentrationen herangezogen.



**Abbildung 12:** Beispiel der linearen Abschnitte der Kalibrationskurven der Hg<sub>g</sub>-Messungen

Die Kalibration wurde vor jedem Experiment neu durchgeführt.

#### 2.3.2.4 Quantifizierung partikulär-gebundenen Quecksilbers ( $Hg_p$ )

##### Sediment

Sedimentproben wurden für 48 Stunden in einem Christ Alpha 2-4 LOplus gefriergetrocknet, anschließend homogenisiert und gesiebt (1mm). Für die Bestimmung der  $Hg_p$ -Konzentration wurden je rund 0,5 g der Proben mit 9 ml halbkonzentrierter  $HNO_3$  (suprapur, Fluka) und 1 mL  $H_2O_2$  (suprapur, Fluka) für zwei Stunden in einem Heizblock bei 130 °C aufgeschlossen. Nach Abkühlen der Lösungen wurden sie in Messkolben mit Milli-Q-Wasser auf 20 mL aufgefüllt und durch 0,2  $\mu m$  Teflon-Spritzenvorsatzfilter in Probenröhrchen überführt. Die Quantifizierung erfolgte mittels CV-AAS.

##### Partikuläres Material in der Wasserphase

Um das an den Partikeln der Wasserphase anhaftende Quecksilber  $Hg_p$  zu bestimmen, wurden Wasserproben filtriert. Während der Versuche wurden die Filtrationsvolumina von 0,25 – 4 Liter pro Mesokosmos variiert. Für die Filtration wurden je nach Versuchsanforderung sowohl Celluloseacetatfilter, als auch Glasfaserfilter verwendet. Die eingesetzten Filter wurden bei - 18 °C aufbewahrt und anschließend sauer aufgeschlossen. Für den Aufschluss wurden sie mit je 9 mL halbkonzentrierter  $HNO_3$  (suprapur, Fluka) und 1 mL  $H_2O_2$  (suprapur, Fluka) versetzt und in einer Mars Xpress CEM Mikrowelle in Teflontubes aufgeschlossen. Die Lösungen wurden in Kolben überführt und mit Milli-Q-Wasser auf 15 mL aufgefüllt. Die Cellulose-Acetate-Filter lösten sich komplett in der Säure, die Glasfaserfilter mussten mit Milli-Q-Wasser nachgewaschen werden, bevor die erhaltenen Lösungen mittels CV-AAS analysiert werden können.

## 2.4 Probenahme und Versuchsdurchführung

Die durchgeführten Experimente lassen sich in Vor- und Hauptversuche unterteilen. Die Vorversuche wurden in Mesokosmen (zur Verfügung gestellt von der limnologischen Station Lunz am See, Herrn Thomas Hein) durchgeführt. Befüllt wurden die Mesokosmen mit Wasser- und Sedimentproben der jeweiligen Probenahmestelle. Für die Hauptversuche wurden nach dem Vorbild der vorhandenen Mesokosmen verfeinerte und an die Bedürfnisse angepasste, verkleinerte Mesokosmen angefertigt.

Für die Entnahme der Wasserproben wurden unabhängig von den verwendeten Mesokosmen Kanister mit 30 Liter Fassungsvermögen verwendet. Die Kanister wurden mit Wasser der Probenahmestelle gespült und die Probe anschließend an einer möglichst ungestörten Stelle entnommen.

### 2.4.1 Sedimentproben

Im Rahmen der Probenahme für die Vorversuche wurden zusätzlich Sedimentkerne aus der Panozzalacke und dem Neusiedlersee entnommen, um sie auf die bereits vorhandene Quecksilberkonzentration zu untersuchen. Mit einem langen Plexiglasrohr wurden Bohrkerne bis zu 30 cm Tiefe entnommen und in 5 Zentimeter Stücke unterteilt. Aus dem Neusiedlersee wurden drei, aus der Panozzalacke 2 Bohrkerne entnommen.

Um den organischen Anteil der getrockneten Proben zu bestimmen wurden die Proben für zwei Stunden bei 550 °C im Muffelofen verascht und Massendifferenz ermittelt.

## 2.4.2 Vorversuche

Die vom Wassercluster Lunz zur Verfügung gestellten Mesokosmen sollen eine Beobachtung natürlicher Systeme in verkleinertem Maßstab ermöglichen. Die Zylinder aus Plexiglas sind 50 cm hoch, haben einen Durchmesser von 24 cm und somit ein Gesamtvolumen von 22,6 Litern. Die abnehmbare Bodenplatte erlaubt die Entnahme ungestörter Sedimentproben und kann mit acht Schrauben dicht mit dem Oberteil verschlossen werden (*Abbildung 13*).



**Abbildung 13:** Mesokosmos

Um Sedimentproben zu entnehmen, wurde der geöffnete Zylinder etwa 20-30 cm tief in den Boden gedrückt und mit einer dünnen Plexiglasscheibe von unten provisorisch verschlossen. Dafür musste die Plexiglasscheibe im Sediment unter den Mesokosmos geschoben werden. Die Löcher im Deckel wurden mit Gummistopfen verschlossen und der Mesokosmos mit Plexiglasscheibe aus dem Wasser gehoben. Der befüllte Zylinder wurde anschließend auf die passende Bodenplatte gestellt und die dünne Scheibe, wenn möglich, entfernt. Die Ränder wurden von Schlamm und Pflanzen gesäubert und die Bodenplatte mit dem Oberteil durch die Schrauben dicht verschlossen.

Das Wasser innerhalb der Mesokosmen wurde mit einem Schlauch abgesaugt, um einen möglichst ungestörten Transport des Sediments zu gewährleisten.

Praktisch gesehen gestaltete sich die Probenahme äußerst schwierig, da die relativ großen Mesokosmen in der Handhabung etwas sperrig und im befüllten Zustand schwer aus dem Sediment zu bewegen waren. In der Panozzalacke war es möglich die Proben in Ufernähe zu nehmen, was zwar viel Schilf mit in den Mesokosmos brachte, die Durchführung aber erleichterte. Im Neusiedlersee mussten die Mesokosmen unter Wasser mit Sediment befüllt werden, was vor allem durch die erschwerte Handhabung und die schlechte Sicht zu sehr inhomogenem Probenmaterial führte. Dadurch war es nicht möglich drei vergleichbare Sedimentproben pro Probenahmestelle zu ziehen. Je drei Mesokosmen wurden mit Sediment aus Breitenbrunn am Neusiedlersee beziehungsweise aus der Panozzalacke befüllt. Zwischen den Probenahmen lagen sechs Tage. Im Labor wurden die Mesokosmen mit

Wasser der jeweiligen Probenahmestelle auf gleiche Höhe aufgefüllt. Vor Versuchsbeginn wurden die Mesokosmen für mindestens 48 Stunden stehen gelassen, um das Absetzen von aufgewirbeltem Sediment zu ermöglichen. Die Beleuchtung erfolgte in einem 12/12-Stunden Hell-Dunkel-Zyklus mit Pflanzenlampen. Durch Glaskapillaren wurde synthetische Luft in das Wasser geleitet. Die Durchflussrate betrug 1 Liter pro Stunde und wurde volumetrisch mit Hilfe eines Messzylinders bestimmt. Am Tag des Zeitversuchs zur Quecksilberabnahme wurden drei Mesokosmen als Referenzproben mit destilliertem Wasser befüllt. In *Abbildung 14* ist der fertige Versuchsaufbau zu sehen, wobei hier die inhomogene Sedimentverteilung gut zu erkennen ist.



**Abbildung 14:** Mesokosmen während des Experiments

Die vorbereiteten Mesokosmen wurden je nach Wasservolumen mit unterschiedlichen Volumina Quecksilberstandardlösung ( $\text{Hg(II)NO}_3$ ) versetzt, um eine Quecksilberkonzentration von  $5 \mu\text{g/L}$  zu erreichen.

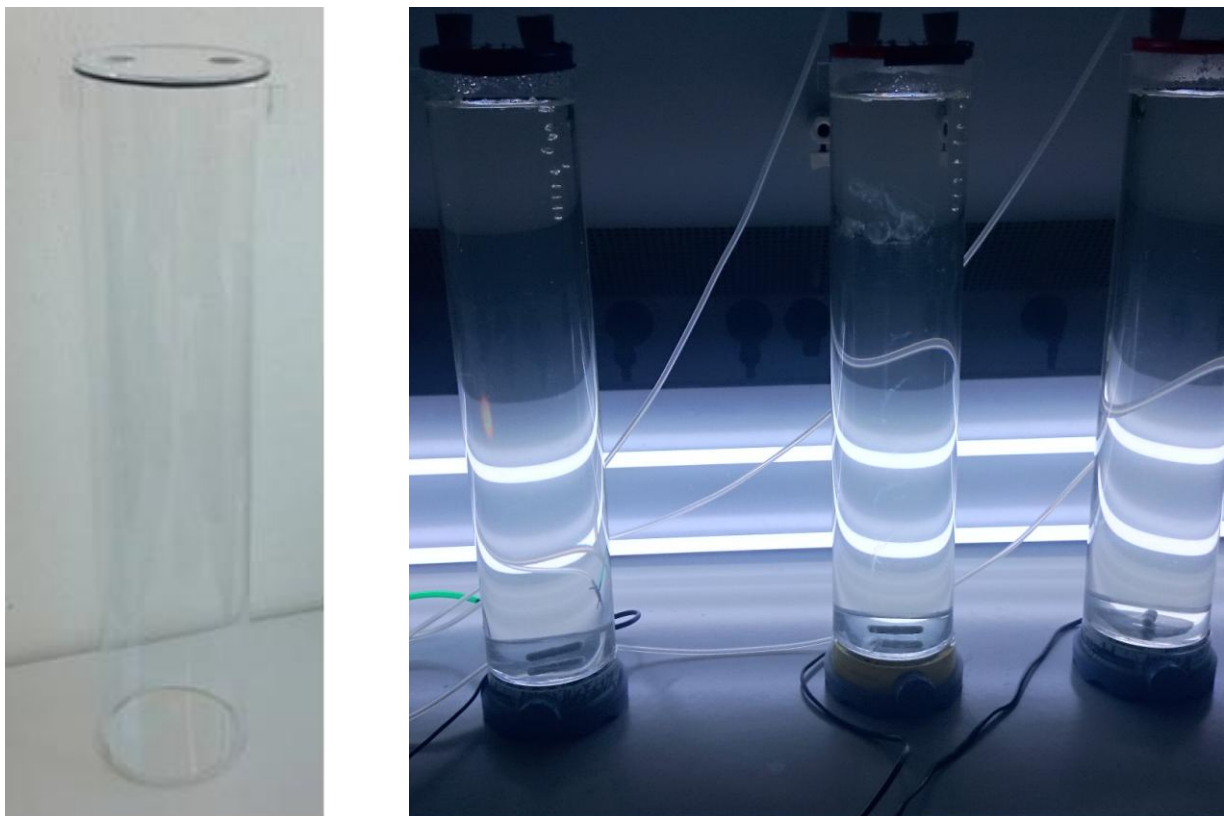
Die Konzentrationen an  $\text{Hg}_{\text{aq}}$  wurde in den einzelnen Mesokosmen nach 24, 28, 48, 72 und 144 Stunden bestimmt (siehe 2.3.2.2). Um die Zeitspanne nach der Zugabe genauer zu beobachten wurden im nächsten Versuch über 22 Stunden hinweg stündlich Proben gezogen. Die erste Messung erfolgte einer Stunde nach Zugabe der Standardlösung, um eine bestmögliche Durchmischung zu erreichen und erste Adsorptionsvorgänge zu ermöglichen. Die Wassersäulen wurden zwar direkt nach Zugabe des Standards leicht mit einem Glasrohr gerührt, allerdings wurde darauf geachtet, das Sediment nicht aufzuwirbeln.

### 2.4.3 Hauptversuche

Da die Ergebnisse der Vorversuche mit zu großen Standardabweichungen verbunden waren, sollte vorerst die Quecksilberverarbeitung in natürlichen Wasserproben ohne Sedimenteinfluss untersucht werden. Für die weiterführenden Versuche wurden kleinere Mesokosmen angefertigt, die einen modifizierten Versuchsaufbau ermöglichten. Die angepassten Mesokosmen waren wie ihre Vorgänger 50 cm hoch, hatten einen verringerten Durchmesser von 10 cm und 5 Liter Gesamtvolumen (*Abbildung 15*). Sie bestanden ebenso aus Plexiglas und hatten einen abnehmbaren Deckel, welcher die Handhabung erleichtern sollte. An den Seiten waren zwei kleine Halter angebracht, um eine Fixierung des Deckels durch ein Gummiband zu ermöglichen. Im Deckel befanden sich zwei Löcher mit 2 cm Durchmesser.

Für alle nachfolgenden Versuche wurden ausschließlich Wasserproben eingesetzt. Die Mesokosmen wurden mit je vier Liter Wasser der Probenahmestelle befüllt und mit Hilfe eines Magnetrührers über die gesamte Versuchsdauer leicht gerührt. Die Experimente wurden als Quintuplets unter aeroben und anaeroben Versuchsbedingungen durchgeführt.

*Abbildung 15* zeigt einen Ausschnitt des Versuchsaufbaus:



**Abbildung 15:** Verkleinerte Mesokosmen in leerem Zustand und während eines Experiments

Die Belüftung erfolgte mit synthetischer Luft oder Stickstoff über Glaskapillaren, die in einem Gummistopfen im Deckel der Mesokosmen befestigt wurden. Bei allen Vorversuchen, sowie den ersten Hauptversuchen wurde die Gaszufuhr über einfache Gashähne (*Abbildung 16a*) geregelt.

Die Regelung der gleichmäßigen Gaszufuhr gestaltet sich schwierig, da eine Regulierung eines Systems immer die Veränderung der Anderen zur Folge hatte. Da sich in den Ergebnissen Unregelmäßigkeiten in der Durchflussgeschwindigkeit bemerkbar machten, wurde in den späteren Experimenten die Gaszufuhr über einen Gasverteiler mit Nadelventilen geregelt, der eine voneinander unabhängige Regelung der einzelnen Auslässe erlaubt (*Abbildung 16b*).



**Abbildung 16:** Gasventil (a) und Gasverteiler (b)

Die Durchflussgeschwindigkeit des Gasstroms lag wie bei den Vorversuchen bei 1 Liter pro Stunde.

Die Wassersäulen wurden mit je 20 µg Quecksilber versetzt um eine Konzentration von 5 µg/L zu erreichen.

Als Standard wurde Quecksilber(II)chlorid verwendet. Das weiße, kristalline  $\text{HgCl}_2$  hat den Vorteil der guten Löslichkeit in Wasser und weist durch kovalente Bindung eine geringe Dissoziation in wässrigen Lösungen auf (Riedel, 2007).

Die Quecksilberkonzentration wurde über 12 Stunden hinweg stündlich verfolgt. Im Gegensatz zu den Vorversuchen wurden die Versuchsbedingungen wie folgt variiert:

#### Aerobe Versuchsbedingungen

Die Beleuchtung der Proben erfolgt im 12-Stunden-Rhythmus mit zwei Pflanzenlampen. Die Wassersäulen wurden mit synthetischer Luft, bei einer Durchflussrate von 1 Liter pro Stunde gespült.

#### Anaerobe Versuchsbedingungen

Die Wassersäulen wurden während des gesamten Versuchszeitraum und mindestens 48 Stunden vor Versuchsbeginn abgedunkelt und mit einer Durchflussrate von 1 Liter pro Stunde mit Stickstoff gespült. Der Deckel der Zylinder wurde durch Isolierband luftdicht verschlossen und die zweite Öffnung des Deckels mit einem Gummistopfen und einer Glaskapillare drastisch verkleinert. Der Sauerstoffgehalt des Wassers wurde vor Start des Experiments überprüft und betrug in allen Proben unter 0,5 mg/L.

Pro Probenahmestelle werden je zwei Quintupletversuche unter anaeroben und aeroben Bedingungen zur Beobachtung der Konzentrationsabnahme durchgeführt.

Zusätzlich wurde für die Auswertung der Quecksilberverteilung auf Luft, Wasser und Partikel pro Probenahmestelle je ein Quintupletversuch unter aeroben und anaeroben Versuchsbedingungen herangezogen.

Um das aus den Wassersäulen austretende  $\text{Hg}_g$  zu erfassen, wurden die Röhrchen des Amalgamierungssystems mit einem Gummistopfen in der zweiten Öffnung des Zylinderdeckels befestigt, um austretendes Quecksilber abzufangen (siehe 2.3.2.3).

Um die ideale Belüftungsdauer zu bestimmen, wurden drei Varianten getestet:

#### 12 Stunden

Während des ersten Experiments verblieben die Glasröhrchen für die gesamte Versuchsdauer von 12 Stunden auf den Mesokosmen. Die Absorptionswerte der Analyse lagen deutlich überhalb des linearen Bereichs der Kalibration und die Schwankungsbreite war sehr groß. Eine korrekte Konzentrationsbestimmung war somit nicht möglich.

#### 30 Minuten

Im darauffolgenden Versuch wurden die Röhrchen im 30 Minuten Takt gewechselt, um eine Sättigung des Goldnetzes zu vermeiden und geeignete Absorptionswerte zu erhalten. Die Absorptionswerte lagen im passenden Kalibrationsbereich, allerdings war die Durchführung durch die Messdauer von fünf bis zehn Minuten pro Röhrchen hinderlich für die Einhaltung der Intervalle.

#### 60 Minuten

Bei allen weiteren Versuchen wurden die Röhrchen stündlich analysiert, da so einerseits passende Absorptionswerte erreicht werden konnten und andererseits genügend Zeit für die Messungen bleibt.

Nach Beendigung des jeweiligen Experiments wurde eine definierte Menge Wasser filtriert und die Filter, wie unter 2.3.2.4 beschrieben, analysiert.

Im Laufe der insgesamt vier Quintupletversuche wurden die Filtrationsvolumina variiert, um die Methode zur  $Hg_p$ -Bestimmung optimieren:

#### Panozzalacke (aerob)

Nach der Versuchsdauer von 12 Stunden wurden pro Mesokosmos 0,25 Liter durch einen 0,45  $\mu m$  Celluloseacetatfilter filtriert. Da die Panozzalacke eine nur mäßige Trübe aufweist, ließ sich die Wassermenge durch einen Filter filtrieren. Da mit 0,25 L nur 1/8 der gesamten vier Liter Probe filtriert wurden, konnte eine ungleiche Verteilung der Partikel nicht ausgeschlossen werden.

#### Panozzalacke (anaerob)

Pro Mesokosmos wurden 0,5 Liter Wasser filtriert. Für dieses Volumen mussten je zwei Celluloseacetatfilter eingesetzt werden. Die zusammengehörigen Filter wurden gemeinsam aufgeschlossen.

#### Neusiedlersee (aerob)

Durch die höhere Trübe der Neusiedlerseeproben wurden zur Filtration eines Liters Wasser vier Cellulose-Acetate-Filter benötigt. Diese wurden je zu zweit aufgeschlossen und analysiert. Die zwei Messwerten wurden zu einem Wert aufsummiert.

#### Neusiedlersee (anaerob)

Der Inhalt eines Mesokosmos wurde komplett filtriert. Um vier Liter zu filtrieren wurde erst durch 1  $\mu m$  Glasfaserfilter, anschließend durch 0,45  $\mu m$  Cellulose-Acetate-Filter filtriert. Insgesamt wurden für vier Liter Wasser acht Glasfaser- und vier Celluloseacetatfilter gebraucht. Dem Aufschluss wurden die Glasfaserfilter einzeln, die Celluloseacetatfilter zu zweit unterzogen. Die restlichen vier Mesokosmen wurden wie für die Neusiedlerseeproben (aerob) beschrieben behandelt.

## 3 Ergebnisse

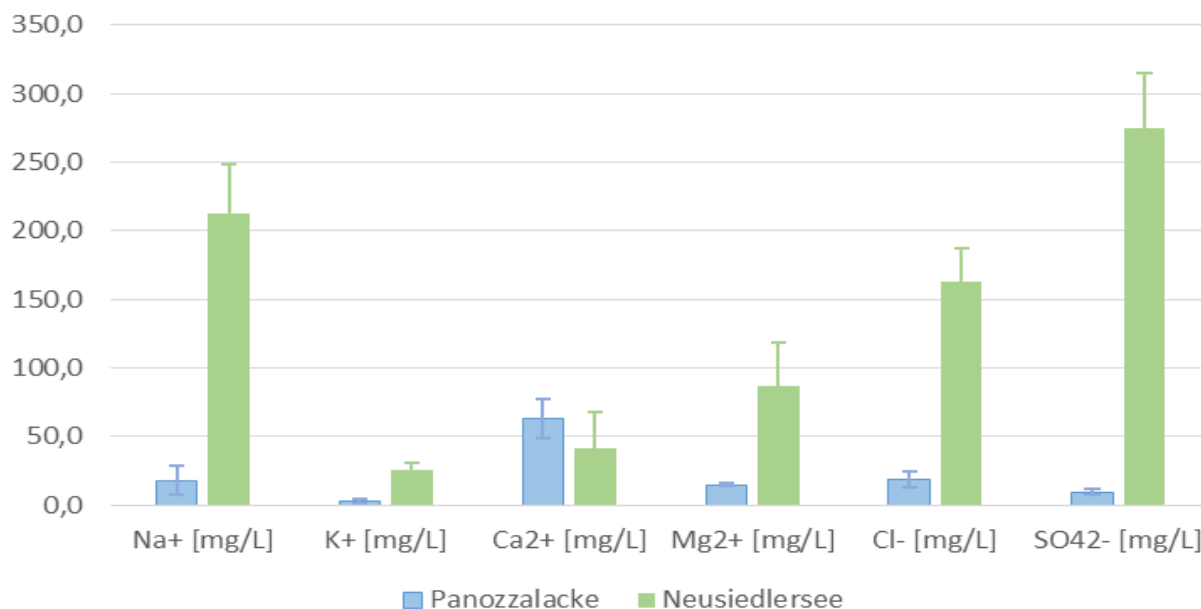
### 3.1 Allgemeine Wasserparameter

*Tabelle 3* zeigt eine Zusammenfassung der allgemeinen Wasserparameter der Probennahmen von November 2014 bis August 2015. Die Proben wurden in einem Abstand von sechs Tagen genommen. Es ist der leicht alkalische Charakter und die hohe Leitfähigkeit des Neusiedlersees zu erkennen und auch die Menge an gelöstem organischem Material unterschied sich deutlich zu dem der Panozzalacke.

**Tabelle 3:** Wasserparameter und Standardabweichungen (n=7)

|                           | Panozzalacke | Neusiedlersee |
|---------------------------|--------------|---------------|
| <b><i>T</i> [°C]</b>      | 21,9 ± 2,8   | 24,2 ± 9,8    |
| <b><i>pH</i></b>          | 7,8 ± 0,4    | 8,6 ± 0,1     |
| <b><i>LF</i> [μS/cm]</b>  | 466 ± 30     | 1806 ± 45     |
| <b><i>TOC</i> [mg/L]</b>  | 5,1 ± 2,1    | 15,8 ± 2,8    |
| <b><i>DOC</i> [mg/L]</b>  | 4,9 ± 2,1    | 14,4 ± 0,9    |
| <b><i>SBV</i> [meq/L]</b> | 3,9 ± 0,2    | 9,0 ± 0,4     |

*Abbildung 17* zeigt den Vergleich der Ionenkonzentrationen der beiden Gewässer.



**Abbildung 17:** Darstellung der mittleren gelösten Ionenkonzentrationen (± STABW) der Proben aus der Panozzalacke (n = 7) und dem Neusiedlersee (n = 7)

### 3.2 Quecksilber und organische Bestandteile im Sediment

Wie in *Tabelle 4* dargestellt lagen die Quecksilberkonzentrationen in den Sedimentproben der Panozzalacke zwischen 0,026 und 0,133 µg/L , was einem Mittelwert von 0,10 µg/g TM und einer Standardabweichung von 0,03 µg/g TM entspricht. Der organische Anteil im Sediment lag zwischen 7,4 und 22,4 %, entsprechend einem Mittelwert von  $19,5 \pm 4,8$  %.

**Tabelle 3:** Quecksilberkonzentrationen und Anteil organischer Bestandteile in den Sedimentproben aus der Panozzalacke

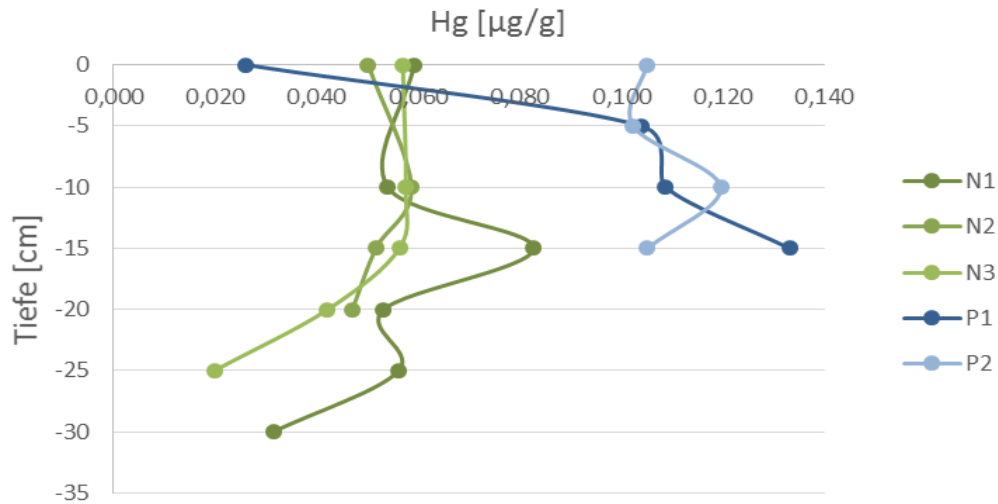
| <i>Tiefe [cm]</i> | <i>Hg [µg/g]</i> | <i>Organische Bestandteile [%]</i> |
|-------------------|------------------|------------------------------------|
| <b>P1 - 15</b>    | 0,133            | 22,4                               |
| <b>P1 - 10</b>    | 0,109            | 22,0                               |
| <b>P1 - 5</b>     | 0,104            | 20,7                               |
| <b>P1 OF</b>      | 0,026            | 7,4                                |
| <b>P2 - 15</b>    | 0,105            | 19,8                               |
| <b>P2 - 10</b>    | 0,120            | 17,5                               |
| <b>P2 - 5</b>     | 0,102            | 20,8                               |
| <b>P2 OF</b>      | 0,105            | 18,8                               |

Die Quecksilberkonzentrationen lagen in den Sedimentproben des Neusiedlersees zwischen 0,031 und 0,083 µg/g TM, was einen Mittelwert von  $0,05 \pm 0,01$  µg/g TM. Der organische Bestandteil im Sediment der Neusiedlerseeproben lag zwischen 7,0 und 12,7 %, im Mittel  $9,3 \pm 1,4$  % (*Tabelle 5*).

**Tabelle 4:** Quecksilberkonzentrationen und Anteil organischer Bestandteile in den Sedimentproben aus dem Neusiedlersee

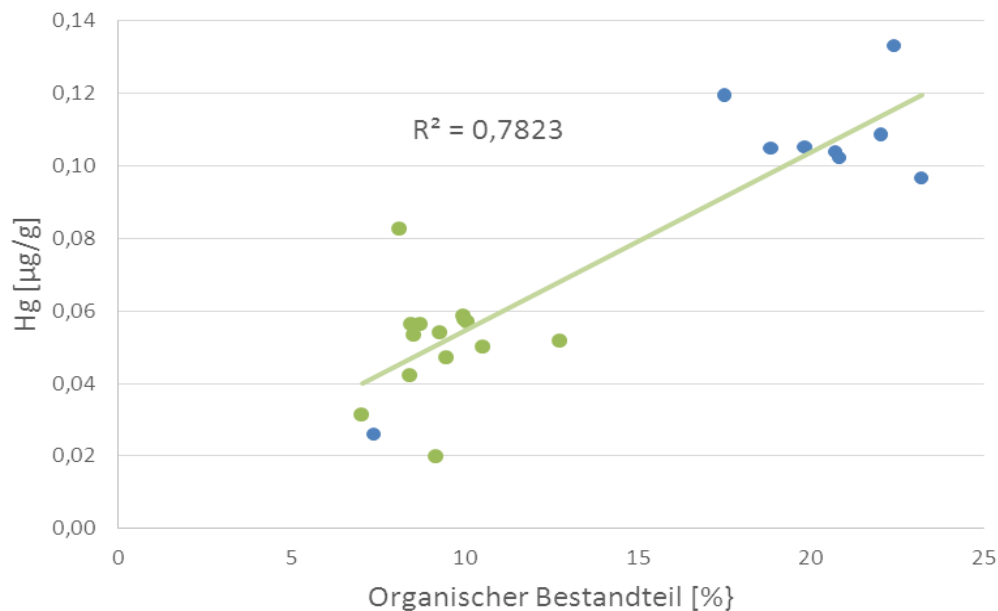
| <i>Tiefe [cm]</i> | <i>Hg [µg/g]</i> | <i>Organische Bestandteile [%]</i> |
|-------------------|------------------|------------------------------------|
| <b>NS1 -30</b>    | 0,031            | 7,0                                |
| <b>NS1 -25</b>    | 0,056            | 8,7                                |
| <b>NS1 -20</b>    | 0,053            | 8,5                                |
| <b>NS1 -15</b>    | 0,083            | 8,1                                |
| <b>NS1 -10</b>    | 0,054            | 9,3                                |
| <b>NS1 OF</b>     | 0,059            | -                                  |
| <b>NS2 -20</b>    | 0,047            | 9,5                                |
| <b>NS2 -15</b>    | 0,052            | 12,7                               |
| <b>NS2 -10</b>    | 0,059            | 10,0                               |
| <b>NS2 OF</b>     | 0,050            | 10,5                               |
| <b>NS3 -25</b>    | 0,020            | 9,2                                |
| <b>NS3 -20</b>    | 0,042            | 8,4                                |
| <b>NS3 -15</b>    | 0,056            | 8,5                                |
| <b>NS3 -10</b>    | 0,058            | 10,0                               |
| <b>NS3 OF</b>     | 0,057            | 10,1                               |

In *Abbildung 18* ist das Tiefenprofil der Quecksilberkonzentrationen im Sediment abgebildet. Die grünen Linien stellen dabei die Proben des Neusiedlersees, die blauen die der Panozzalacke dar.



**Abbildung 18:** Tiefenprofil der Quecksilberkonzentration im Sediment (grün - Neusiedlersee; blau - Panozzalacke)

*Abbildung 19* zeigt den Quecksilbergehalt in  $\mu\text{g/g}$  TM aufgetragen gegen den organischen Anteil der Proben.

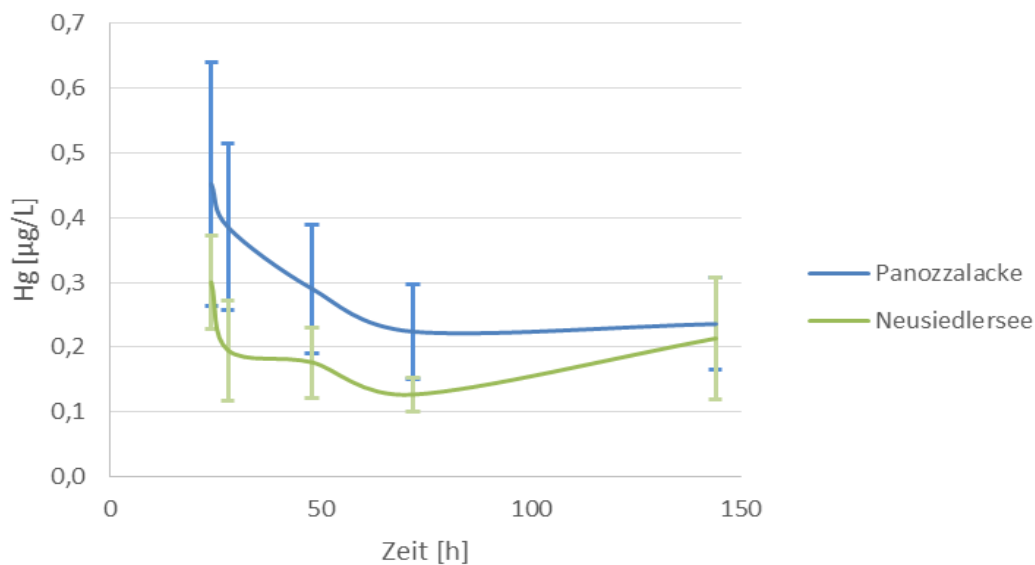


**Abbildung 19:** Korrelation des Quecksilbergehalts mit dem organischen Bestandteil (grün - Neusiedlersee; blau - Panozzalacke)

### 3.3 Laborversuche: Vorversuche

#### 3.3.1 Abnahme der Konzentration des gelösten Quecksilbers $\text{Hg}_{\text{aq}}$ in Mesokosmen über 144 Stunden

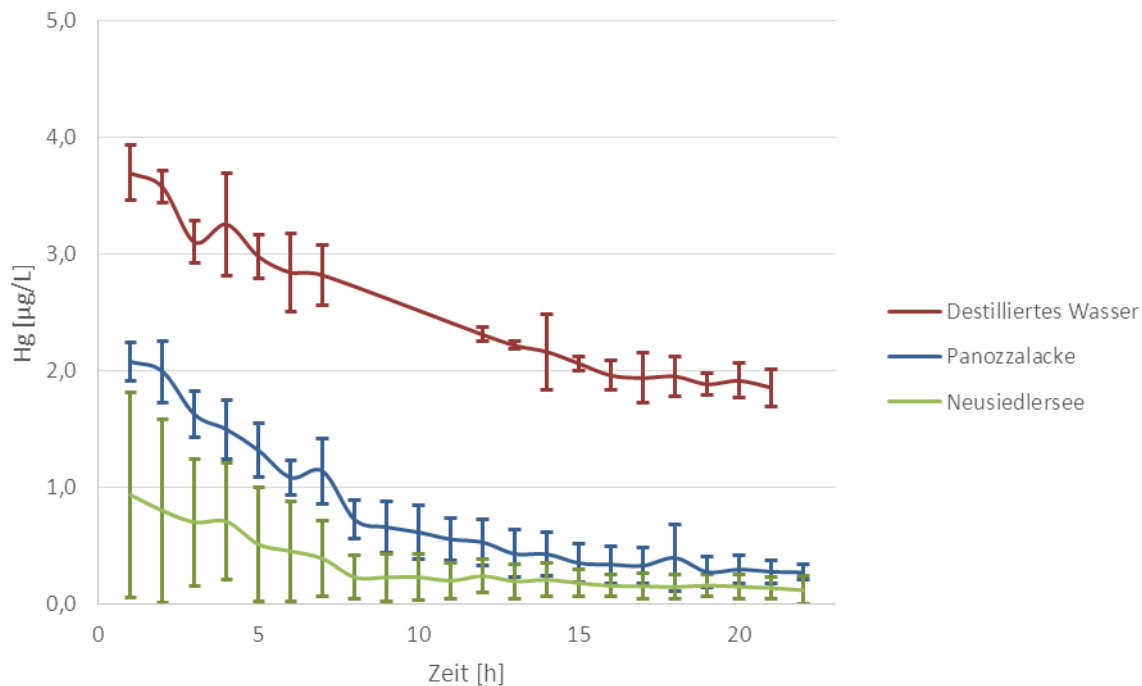
Abbildung 20 zeigt die Abnahme der  $\text{Hg}_{\text{aq}}$ -Konzentrationen nach 24, 28, 48, 72 und 144 Stunden. Von der Ausgangskonzentration von  $5 \mu\text{g/L}$  befinden sich in den Proben der Panozzalacke nach 24 Stunden  $0,5 \pm 0,2 \mu\text{g/L}$  in den Proben des Neusiedlersees  $0,3 \pm 0,1 \mu\text{g/L}$ . 144 Stunden nach Zugabe der Standardlösung lassen sich nur noch  $0,2 \pm 0,1 \mu\text{g/L}$  Quecksilber finden.



**Abbildung 20:** Mittlere  $\text{Hg}_{\text{aq}}$ -Konzentrationen ( $\pm$  STABW) unter aeroben Bedingungen ( $n = 5$ ) über 144 Stunden

### 3.3.2 Abnahme der Konzentration des gelösten Quecksilbers $Hg_{aq}$ in Mesokosmen über 22 Stunden

Abbildung 21 zeigt die gemittelten Werte der Quecksilberkonzentrationen mit Standardabweichungen. Zusätzlich zu den Proben aus dem Neusiedlersee und der Panozzalacke wird der Versuch in destilliertem Wasser durchgeführt.



**Abbildung 21:** Mittlere  $Hg_{aq}$ -Konzentrationen ( $\pm$  STABW) unter aeroben Bedingungen ( $n = 3$ ) über 22 Stunden

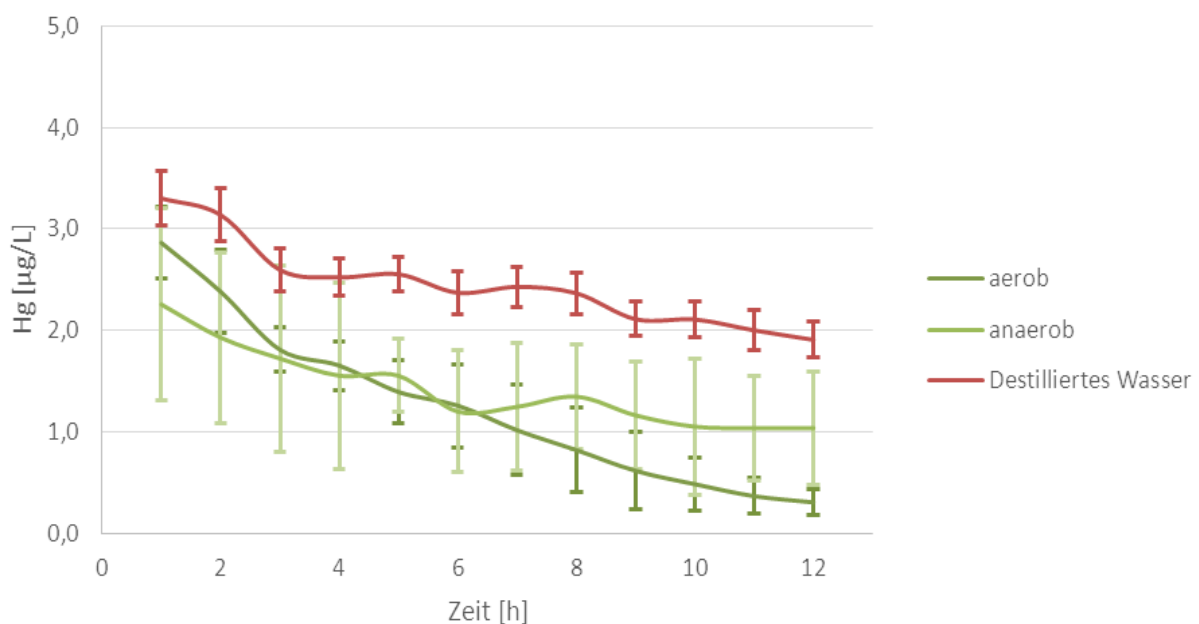
In die Proben aus dem Neusiedlersee lag die Quecksilberkonzentration nach einer Stunde bei  $0,9 \pm 0,9 \mu g/L$  und sank bis zum Versuchsende auf  $0,1 \pm 0,1 \mu g/L$ . In den Proben der Panozzalacke sanken die Konzentrationen in den Proben der Panozzalacke von  $2,1 \pm 0,2 \mu g/L$  innerhalb von 22 Stunden auf  $0,3 \pm 0,1 \mu g/L$  ab. In destilliertem Wasser sinkt die Quecksilberkonzentration im selben Zeitraum von  $3,7 \pm 0,2 \mu g/L$  auf  $1,8 \pm 0,1 \mu g/L$ .

### 3.4 Laborversuche: Hauptversuche

#### 3.4.1 Abnahme der Konzentration des gelösten Quecksilbers $Hg_{aq}$ in Mesokosmen über 12 Stunden

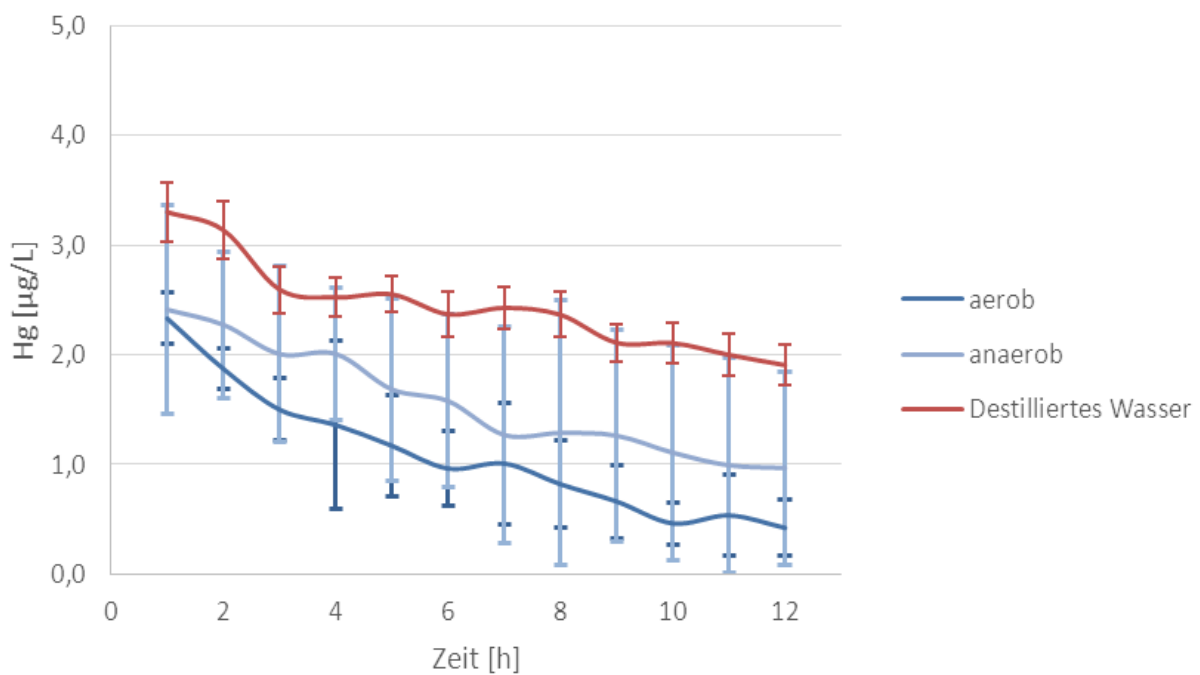
Für beide natürlichen Gewässer wurden je zwei Versuche unter aeroben und anaeroben Bedingungen durchgeführt. In den nachfolgenden Diagrammen werden die Ergebnisse der variierenden Bedingungen verglichen.

Beginnend bei einer Stunde nach Standardzugabe wurden in Proben des Neusiedlersees Quecksilberkonzentrationen von  $2,9 \pm 0,4 \mu\text{g/L}$  unter aeroben Bedingungen beziehungsweise  $2,3 \pm 0,9 \mu\text{g/L}$  unter anaeroben Bedingungen gemessen (*Abbildung 22*). Nach zwölf Stunden verblieben unter aeroben Bedingungen  $0,3 \pm 0,1 \mu\text{g/L}$  und unter anaeroben Bedingungen  $1,0 \pm 0,6 \mu\text{g/L}$  Quecksilber im Wasser. Im Vergleich dazu sank der Gehalt an Quecksilber in destilliertem Wasser von  $3,3 \pm 0,3 \mu\text{g/L}$  auf  $1,9 \pm 0,2 \mu\text{g/L}$  ab. Die drei Versuche wurden jeweils als Quintuplett durchgeführt.



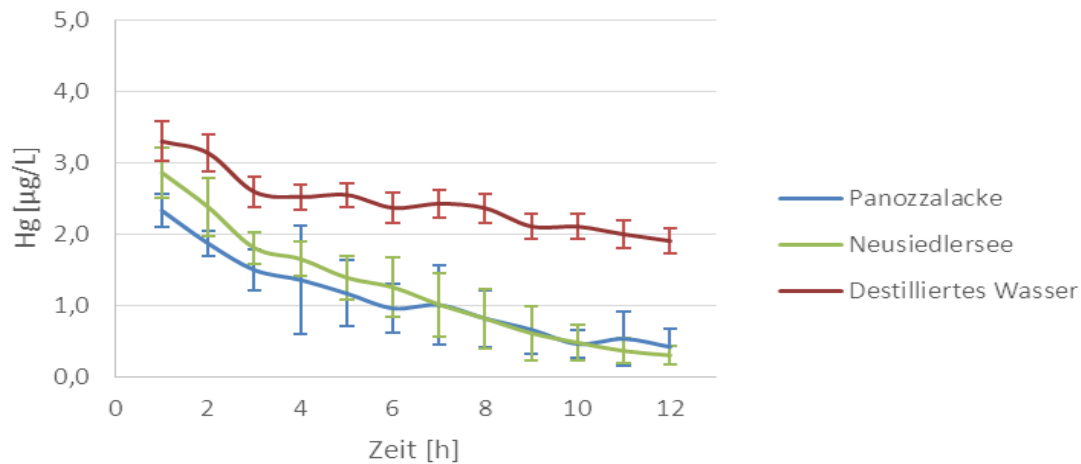
**Abbildung 22:** Mittlere  $Hg_{aq}$ -Konzentrationen ( $\pm$  STABW) in Wasserproben des Neusiedlersees ( $n = 5$ ) unter aeroben und anaeroben Bedingungen über 12 Stunden

Abbildung 23 zeigt die Abnahme der Quecksilberkonzentrationen  $Hg_{aq}$  in Wasserproben der Panozzalacke. Die Versuche wurden unter aeroben und anaeroben Versuchsbedingungen jeweils als Quintuplett durchgeführt. Die Messwerte der ersten Stunde lagen bei  $2,3 \pm 0,2 \mu\text{g/L}$  unter aeroben und  $2,4 \pm 0,1 \mu\text{g/L}$  unter anaeroben Bedingungen. Zwölf Stunden nach Zugabe des Standards befanden sich die  $Hg_{aq}$ -Konzentration der Proben bei  $0,4 \pm 0,3 \mu\text{g/L}$  unter aeroben und  $1,0 \pm 0,9 \mu\text{g/L}$  unter anaeroben Versuchsbedingungen. Die Endkonzentration nach 12 Stunden in destilliertem Wasser lag bei  $1,9 \pm 0,2 \mu\text{g/L}$ .



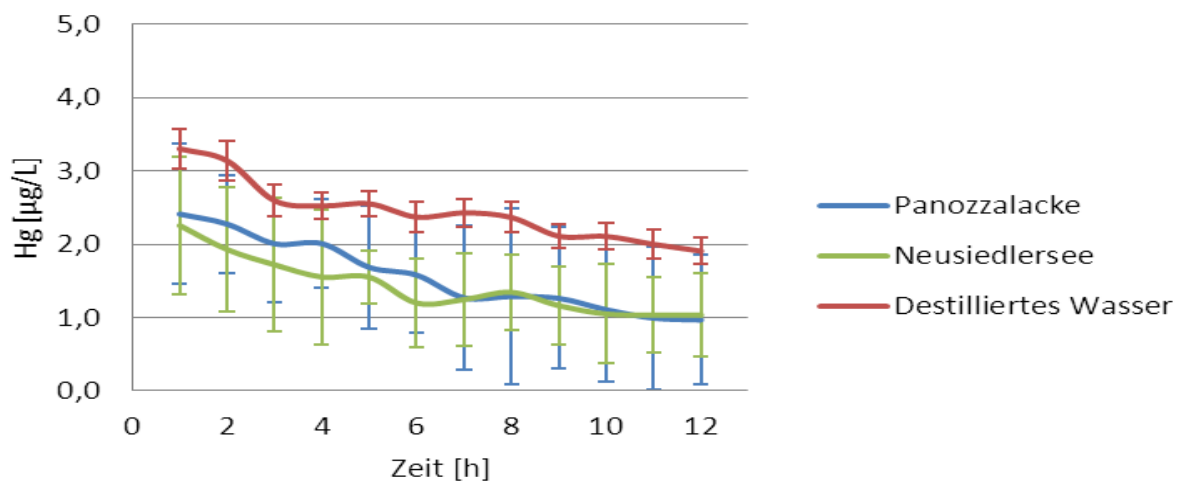
**Abbildung 23:** Mittlere  $Hg_{aq}$ -Konzentrationen ( $\pm$  STABW) in Wasserproben der Panozzalacke ( $n = 5$ ) unter aeroben und anaeroben Bedingungen über 12 Stunden

In *Abbildung 24* ist die gemittelte Quecksilberabnahme unter aeroben Bedingungen im Vergleich der unterschiedlichen Gewässertypen dargestellt. Die Abnahme der Konzentration im destillierten Wasser verläuft von  $3,3 \pm 0,3 \mu\text{g/L}$  nach einer Stunde nach Versuchsbeginn bis  $1,9 \pm 0,2 \mu\text{g/L}$  bei Versuchsende. Die Konzentration sank für den Neusiedlersee von  $2,9 \pm 0,4 \mu\text{g/L}$  auf  $0,3 \pm 0,1 \mu\text{g/L}$  und für die Panozzalacke von  $2,3 \pm 0,2 \mu\text{g/L}$  auf  $0,4 \pm 0,3 \mu\text{g/L}$ .



**Abbildung 24:** Mittlere  $\text{Hg}_{\text{aq}}$ -Konzentrationen ( $\pm$  STABW) unter aeroben Bedingungen ( $n = 5$ ) über 12 Stunden

*Abbildung 25* zeigt die gemittelte Konzentrationsabnahme unter anaeroben Bedingungen. Die Konzentrationen nach einer Stunde betrugen für die Neusiedlerseeproben  $2,3 \pm 0,9 \mu\text{g/L}$ , für die aus der Panozzalacke  $2,4 \pm 1 \mu\text{g/L}$ . Nach zwölf Stunden lagen beide bei  $1 \mu\text{g/L}$ , Neusiedlersee mit einer Standardabweichung von  $0,6 \mu\text{g/L}$ ; Panozzalacke von  $0,9 \mu\text{g/L}$ .

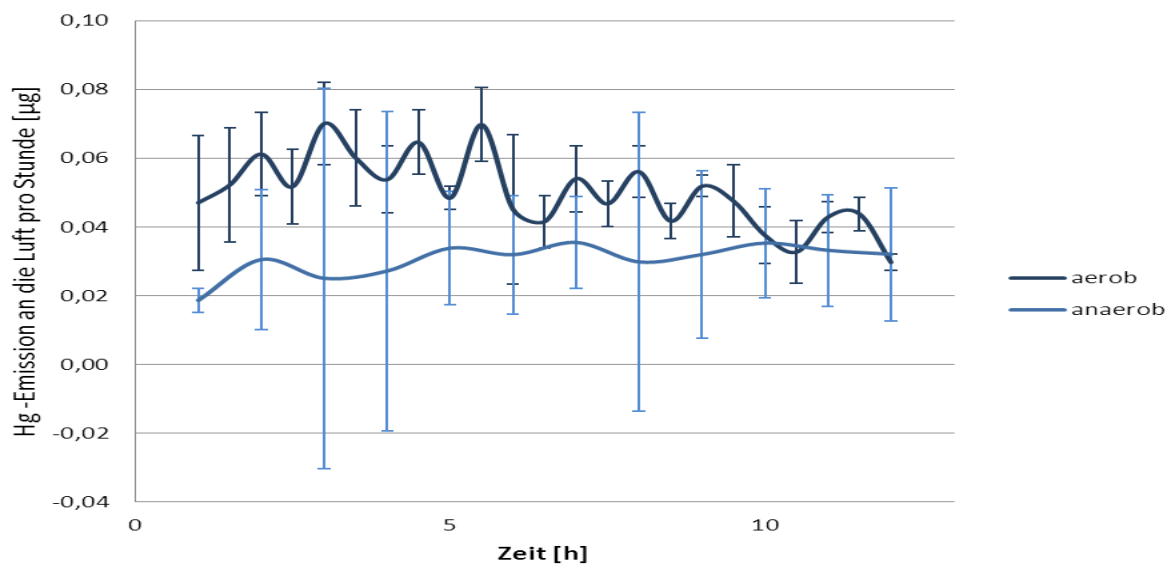


**Abbildung 25:** Mittlere  $\text{Hg}_{\text{aq}}$ -Konzentrationen ( $\pm$  STABW) unter anaeroben Bedingungen ( $n = 5$ ) über 12 Stunden

### 3.4.2 Quecksilberverteilung nach 12 Stunden

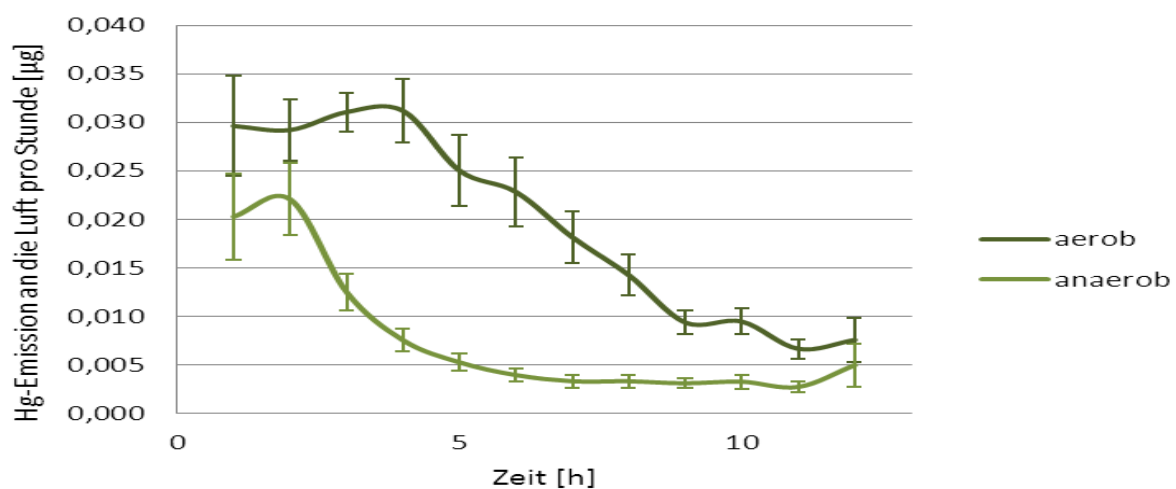
#### 3.4.2.1 Gasförmige Quecksilberspezies ( $\text{Hg}_g$ )

In *Abbildung 25* ist der Zeitverlauf der Quecksilberemissionen in  $\mu\text{g}$  aus Wasserproben der Panozzalacke unter aeroben und anaeroben Bedingungen abgebildet. Bei der Abnahme unter aeroben Bedingungen betrugen die Messintervalle 30 Minuten. Aufsummiert traten von 20  $\mu\text{g}$  gesamt zugegebenem Quecksilber unter aeroben Bedingungen mit  $1,2 \pm 0,1 \mu\text{g}$ , unter anaeroben Bedingungen  $0,4 \pm 0,1 \mu\text{g}$  aus.



**Abbildung 26:** Mittlerer  $\text{Hg}_g$ -Austritt ( $\pm$  STABW) aus Wasserproben der Panozzalacke ( $n=5$ ) über 12 Stunden

Von zugesetzten 20  $\mu\text{g}$  Quecksilber werden aus den Wasserproben des Neusiedlersees unter aeroben Bedingungen  $0,23 \pm 0,03 \mu\text{g}$  und unter anaeroben Bedingungen  $0,09 \pm 0,02 \mu\text{g}$  frei (*Abbildung 26*).



**Abbildung 27:** Mittlerer  $\text{Hg}_g$ -Austritt ( $\pm$  STABW) aus Wasserproben des Neusiedlersees ( $n=5$ ) über 12 Stunden

#### 3.4.2.2 Gelöste Quecksilberspezies ( $\text{Hg}_{\text{aq}}$ )

Die Endkonzentrationen nach 12 Stunden Versuchsdauer lagen in den Wasserproben der Panozzalacke unter aeroben Bedingungen zwischen 0,65 und 0,78  $\mu\text{g/L}$ , was einem Mittelwert von 0,69  $\mu\text{g/L}$  und einer Standardabweichung von 0,05  $\mu\text{g/L}$  entspricht.

Unter anaeroben Versuchsbedingungen wurden Endkonzentrationen zwischen 0,67 und 1,07  $\mu\text{g/L}$  gemessen, was zu einem Mittelwert von 0,85  $\mu\text{g/L}$  mit 0,16  $\mu\text{g/L}$  Standardabweichung führt.

In den Proben des Neusiedlersees wurden am Versuchsende unter aeroben Bedingungen 0,14 bis 0,15  $\mu\text{g/L}$   $\text{Hg}_{\text{aq}}$  vorgefunden, was einem Mittelwert von 0,145  $\mu\text{g/L}$  und einer Standardabweichung von 0,003  $\mu\text{g/L}$  entspricht.

Unter anaeroben Bedingungen lagen 0,69 bis 0,87  $\mu\text{g/L}$   $\text{Hg}_{\text{aq}}$  vor. Dies entspricht einem Mittelwert von 0,81  $\mu\text{g/L}$  und einer Standardabweichung von 0,07  $\mu\text{g/L}$ .

#### 3.4.2.3 Partikulär-gebundene Quecksilberspezies ( $\text{Hg}_\text{p}$ )

Nach 12 Stunden Gesamtversuchsdauer waren in den Proben der Panozzalacke unter aeroben Bedingungen 5,7 bis 7,4  $\mu\text{g}$   $\text{Hg}_\text{p}$  von insgesamt 20  $\mu\text{g}$  zu finden. Das entspricht einem Mittelwert und Standardabweichung von  $6,5 \pm 0,7 \mu\text{g/L}$ .

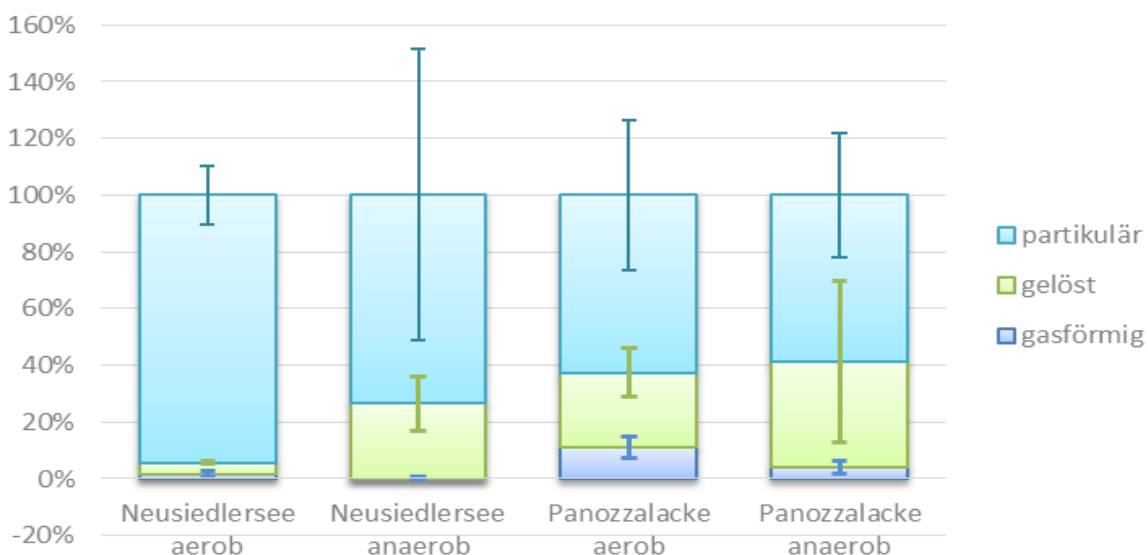
Unter anaeroben Versuchsbedingungen lagen die Werte zwischen 4,9 und 6,1  $\mu\text{g}$ . Im Mittel lagen daher  $5,4 \pm 0,5 \mu\text{g}$   $\text{Hg}_\text{p}$  gebunden vor.

In den Wasserproben des Neusiedlersees sammelten sich unter aeroben Bedingungen 13,1 bis 14,0  $\mu\text{g}$  Quecksilber an den Partikeln, was einem Mittelwert von 13,5  $\mu\text{g}$  mit 0,4  $\mu\text{g}$  Standardabweichung ergibt.

Die Ergebnisse unter anaeroben Bedingungen lagen zwischen 8,1 und 12,1  $\mu\text{g}$  mit einem Mittelwert von 10,2  $\mu\text{g}$  mit 1,6  $\mu\text{g}$  STABW.

### 3.4.2.4 Quecksilberbilanz

In *Abbildung 27* ist die Verteilung des nach der Versuchsdauer von zwölf Stunden wiedergefundenen Quecksilbers auf Wasser, Luft und Partikel dargestellt.



**Abbildung 28:** Mittlere Verteilung des wiedergefundenen Quecksilbers (± STABW)

Mit  $94,3 \pm 10,4$  % liegt Quecksilber in Neusiedlerseewasser unter aeroben hauptsächlich partikulär gebunden vor,  $4,1 \pm 0,4$  % sind gelöst,  $1,6 \pm 0,9$  % gasförmig. Unter anaeroben Versuchsbedingungen befinden sich 73,5 % partikulär gebunden, allerdings mit einer Standardabweichung von 51,4 %. Es verbleiben  $26,3 \pm 9,6$  % im Wasser gelöst und  $0,1 \pm 0,5$  % werden an die Luft frei. Unter aeroben Bedingungen tritt aus den Proben der Panozzalacke  $11,1 \pm 3,6$  % des wiedergefundenen Quecksilbers an die Luft.  $62,6 \pm 26,3$  % sind partikulär gebunden und  $26,3 \pm 8,4$  % liegen gelöst vor. Unter anaeroben Bedingungen treten  $4,0 \pm 2,1$  % an die Luft aus,  $37,2 \pm 28,3$  % liegen gelöst vor,  $58,8 \pm 21,8$  % sind partikulär gebunden.

Die Wiederfindungsrate des Quecksilbers variieren je nach Versuchsbedingung und Wassertyp (*Tabelle 2*).

**Tabelle 5:** Quecksilberwiederfindungsraten

|                                | <b>Wiederfindungsrate [%]</b> |
|--------------------------------|-------------------------------|
| <b>Neusiedlersee - aerob</b>   | $70,6 \pm 1,8$                |
| <b>Neusiedlersee - anaerob</b> | $67,2 \pm 8,0$                |
| <b>Panozzalacke - aerob</b>    | $52,0 \pm 3,7$                |
| <b>Panozzalacke - anaerob</b>  | $44,5 \pm 4,6$                |

## 4 Diskussion

---

### 4.1 Allgemeine Wasserparameter

Die Analyse der allgemeinen Wasserparameter erlaubt einen Vergleich der beprobten Gewässer. Die Wasserproben der Panozzalacke und des Neusiedlersees unterscheiden sich sowohl in den Ionenkonzentrationen, als auch im Gehalt an organischem Material.

Die Messergebnisse des Neusiedlersees bestätigten die von Löffler (1974) aufgezeigten Besonderheiten des Sees. Es handelt sich um ein leicht alkalisches, salzreiches Gewässer reich an organischen Bestandteilen.

Die Ionenkonzentrationen der Panozzalacke sind, verglichen mit denen des Neusiedlersees, deutlich geringer, was auch anhand der großen Differenz der Leitfähigkeiten zu erkennen war. Weiters unterschieden sich die beiden Wasserkörper in ihrem Gehalt an gelöstem organischen Material; in den Wasserproben des Neusiedlersees wurde in etwa die dreifache Menge organischen Kohlenstoffs gefunden.

Durch Vergleich der Wasserparameter der Panozzalacke mit den Parametern europäischer Seen unterschiedlicher Größe, die im Mittel einen pH-Wert von  $7,17 \pm 1,04$  ( $n=1132$ ) und eine TOC-Konzentration von  $7,22 \pm 5,91$  mg/L ( $n=746$ ) zeigten (Nöges, 2009), konnte der „durchschnittliche“ Charakter der Panozzalacke bestätigt werden.

### 4.2 Sediment

Wie schon die Ergebnisse der Diplomarbeit „Quecksilber im Neusiedlersee“ (Pirker, 2012) zeigten, kann eine positive Korrelation des Quecksilbergehalts im Sediment zum organischen Bestandteil hergestellt werden. Die Proben der Panozzalacke wiesen einen höheren organischen Anteil auf, als die Proben des Neusiedlersees, was allerdings durch die Probenahme zu erklärt werden könnte. Die Entnahme der Sedimentcores erfolgte in der Panozzalacke nicht, wie am Neusiedlersee, von einem Steg aus, sondern nahe dem Ufer, wo der Eintrag von Schilffresten sehr hoch war.

Die Messergebnisse beider Probenahmestellen lagen unter der österreichischen Hintergrundbelastung von  $0,22 \mu\text{g/g}$  TM in Sedimenten (nach dem Geoakkumulationsindex nach Müller aus 1979, BMWFUW, 2004). Durch das Tiefenprofil der gezogenen Sedimentproben könnte man eine leichte Abnahme der Quecksilberkonzentration mit der Tiefe vermuten.

Verglichen mit Durchschnittswerten für Sediment aus Seen (10-1000 ng/g) und Ozean (5-2000 ng/g) sind die Quecksilberkonzentrationen der untersuchten Sedimentproben im unteren Bereich anzusiedeln (Lasorsa, 2012).

Die Abnahme der Quecksilberkonzentration mit der Tiefe konnte auch in anderen Umgebungen beobachtet werden und wird vor allem mit dem Vorkommen von organischem Material in Zusammenhang gebracht (Wang, 2012; Wu, 2013). Die Korrelation der Quecksilberkonzentration mit dem organischen Bestandteil des Sediments wurde in mehreren Studien beobachtet (Kwaansa-Ansah, 2012; Wu, 2013) und wird durch die hohe Affinität des Quecksilbers zu Sulfhydryl- und Gruppen erklärt.

Die Hg-Konzentration in den Sedimentproben des oligotrophen, salzreichen Lake Quinghai von  $43 \pm 14$  ng/g TM und denen des verschmutzten, eutrophen Lake Chenghai mit  $96 \pm 61$  ng/g (Wu, 2013) in China sind sehr nahe an den Konzentrationen im Neusiedlersee und der Panozzalacke.

Der chinesische Lake Dianchi ist mit seiner durchschnittlichen Tiefe von 1-2 m und seinem hypereutrophen Charakter ähnlich dem Neusiedlersee, jedoch sind im Wasser und Sediment des Sees erhöhte Hg-Konzentrationen im Vergleich mit umliegenden Wasserkörpern zu finden. Der pH-Wert des Sees lag bei  $9,4 \pm 0,3$ , die Leitfähigkeit ähnelte mit durchschnittlich 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aber eher der Panozzalacke, als dem Neusiedlersee. Der organische Anteil im oberflächlichen Sediment betrug  $12 \pm 12$  % und ist damit im gleichen Bereich wie der Neusiedlersee und die Panozzalacke anzusiedeln. Die Hg-Konzentration  $290 \pm 120$  ng/g TM, was der 6-fachen Hintergrundbelastung des Gebiets, sowie des Gehalts im Sediment des Neusiedlersee entspricht (Wang, 2012).

### 4.3 Laborversuche: Vorversuche

Die Beobachtung der  $\text{Hg}_{\text{aq}}$ -Konzentration über 144 Stunden zeigte eine rasche Verarbeitung des zugesetzten Quecksilbers innerhalb der ersten 24 Stunden. Im Vergleich der Probenahmestellen könnte man im Versuchsverlauf auf eine leicht beschleunigte Abnahme der Konzentrationen in den Proben des Neusiedlersees schließen, die Endkonzentrationen nach der Gesamtversuchsdauer von 144 Stunden lagen aber in beiden Gewässertypen auf gleicher Höhe.

Durch die stündliche Konzentrationsbestimmung von  $\text{Hg}_{\text{aq}}$  innerhalb der ersten 22 Stunden nach Versuchsbeginn konnten die tendenziell schnellere Abnahme der Konzentration in den Proben aus dem Neusiedlersee bestätigt werden. Ein deutlicher Unterschied der Abnahmegeschwindigkeit war im Vergleich zum destillierten Wasser zu erkennen, die  $\text{Hg}_{\text{aq}}$ -Konzentration blieb auch nach 22 Stunden deutlich höher, als jene in den natürlichen Proben.

Die unterschiedlichen Abnahmegeschwindigkeiten der  $\text{Hg}_{\text{aq}}$ -Konzentration in den Wassersäulen könnte durch die unterschiedlichen Gehalte an organischem Material begründet werden. Gelöstes organisches Material interagiert stark mit Quecksilber und beeinflusst dadurch die Löslichkeit und Mobilität im Wasser (Ravichandran, 2004). Der höhere Gehalt organischen Materials im Probenmaterial des Neusiedlersees könnte somit die beschleunigte Konzentrationsabnahme im Gegensatz zu den Proben der Panozzalacke und dem destilliertem Wasser erklären. Die teilweise hohen Standardabweichungen könnten zudem ebenfalls durch das inhomogene Probenmaterial und die unterschiedliche Füllhöhe der Mesokosmen bedingt sein.

Die unterschiedliche Salinität der Wasserproben könnte ein weiterer Faktor für eine veränderte Quecksilberverarbeitung sein. In der Literatur wird der Zusammenhang zwischen der Salinität von Gewässern mit Quecksilberkonzentrationen am Beispiel von Seen des Tibetanischen Plateaus beschrieben. Die Quecksilberkonzentrationen in den untersuchten Seen korrelierten stark mit der Salinität und dem Vorkommen der häufigsten Ionen ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{C}^-$ ). Da diese nährstoffreichen Seen zu vermehrtem Vorkommen organischen Materials neigen, können mehr Quecksilberkomplexe entstehen (Li, 2015).

## 4.4 Laborversuche: Hauptversuche

Der veränderte Versuchsaufbau und die Variation der Versuchsbedingungen konnte genaueren Aufschluss über das Verhalten von Quecksilber in natürlichen Wasserproben geben. Einerseits wurde wie in den Vorversuchen, die Konzentrationsabnahme im Wasser beobachtet, andererseits konnte die Quecksilberverteilung auf Luft, Wasser und Partikel bestimmt werden.

### 4.4.1 Abnahme der Konzentration des gelösten Quecksilbers $Hg_{aq}$ in Mesokosmen über 12 Stunden

Die Abnahmegeschwindigkeit der  $Hg_{aq}$ -Konzentration im destillierten Wasser konnte die Ergebnisse der Vorversuche bestätigen. Wie zuvor ist die Abnahmegeschwindigkeit der  $Hg_{aq}$ -Konzentration in destilliertem Wasser langsamer, als in den natürlichen Proben.

Anders als in den Versuchen mit Sedimenteinfluss wurden die Experimente sowohl unter aeroben, als auch unter anaeroben Versuchsbedingungen durchgeführt. In den natürlichen Proben konnte kein signifikanter Unterschied der Abnahmegeschwindigkeit von  $Hg_{aq}$  in Betrachtung der unterschiedlichen Bedingungen erkannt werden. Die Konzentrationsabnahme scheint unter aeroben Versuchsbedingungen zwar etwas schneller als unter anaeroben Versuchsbedingungen, dies lässt sich statistisch gesehen allerdings nicht belegen.

### 4.4.2 Quecksilberverteilung nach 12 Stunden

#### 4.4.2.1 Gelöste Quecksilberspezies

Nach der Versuchsdauer von 12 Stunden wurden die verbleibenden  $Hg_{aq}$ -Konzentrationen der jeweiligen Wasserproben bestimmt. Unter aeroben Bedingungen verblieb in den Wasserproben des Neusiedlersees verglichen mit dem Wasser der Panozzalacke, im Durchschnitt weniger Quecksilber in Lösung. Dies war in Verbindung mit der höheren Konzentration organischen Kohlenstoffs in den Proben des Neusiedlersees anzunehmen, da durch den höheren Gehalt an organischem Material wahrscheinlich mehr Quecksilber an Partikel gebunden werden kann, als im Wasser der Panozzalacke (Ravichandran, 2004).

#### 4.4.2.2 Gasförmige Quecksilberspezies

##### Entwicklung und Adaptierung des Versuchsaufbaus

Die Erfassungsmethode der Quecksilberemissionen musste im Laufe der Versuche entwickelt werden. Der Einsatz von Gold um gasförmige Quecksilberspezies abzufangen ist zwar eine verbreitete Methode (Weigelt, 2013), der genaue Versuchsaufbau ist in der Literatur aber nicht zu finden.

Im ersten Zeitversuch wurde je ein Röhrchen mit Goldnetz pro Mesokomos für die gesamte Versuchsdauer von 12 Stunden verwendet. Durch die lange Einsatzdauer lagen die Messwerte außerhalb des linearen Kalibrationsbereichs. Der Einsatz von Goldnetzen ist für kurze Einsatzzeiten, bis zu einer Stunde, geeignet, für längeren Einsatz werden Fallen mit vergrößerten Oberflächen, wie zum Beispiel nanostrukturiertem Gold zu verwendet (Lusilao-Makiese, 2014; Pandey, 2011).

Messungen im Halbstundentakt lieferten zwar passende Absorptionswerte, die Durchführung gestaltete sich aber schwierig, da die Messung aller fünf Proben etwas über eine halbe Stunde in Anspruch nimmt. Im Zuge dessen erwiesen sich stündliche Messungen am geeignetsten. 60-Minuten-Intervalle sind lang genug, um die einzelnen Messungen durchzuführen und die Absorptionswerte befanden sich im linearen Bereich der Kalibration.

Die Messung gasförmigen Quecksilbers mittels Goldfallen erfordert einen gleichmäßigen Luftstrom über die Falle. Die Flussrate darf jedoch nicht zu hoch sein, da es sonst zu unvollständiger Amalgamierung kommen kann. Die ideale Durchflussgeschwindigkeit 0,3-0,5L/min beschrieben (Pandey, 2011). Bei Verwendung einfacher Gasventile für die Einleitung von synthetischer Luft oder Stickstoff war eine unregelmäßige Quecksilberemission zu beobachten, da die Flussgeschwindigkeit während des Experiments nachreguliert werden musste. Der Einsatz eines Gasverteilers mit Nadelventilen erleichterte einerseits die Einstellung der Durchflussrate, andererseits blieb der Gasstrom stabil. Die Durchflussrate lag bei allen Experimenten bei 1 L/h, was weit unter der oben genannten Geschwindigkeit liegt.

### Zu den Ergebnissen der Versuche

Aus den Wasserproben der Panozzalacke wurde innerhalb der Versuchsdauer von 12 Stunden unter aeroben Bedingungen mehr als dreimal so viel  $\text{Hg}_g$  emittiert, als unter anaeroben Bedingungen. An den Neusiedlerseeproben ließ sich eine stündliche Emissionsabnahme beobachten, wobei wie bei den Proben der Panozzalacke unter anaeroben Bedingungen weniger Quecksilber aus dem Wasser emittiert wurde, als unter aeroben Bedingungen. Im Vergleich der beiden Wassertypen untereinander, wurde aus den Proben des Neusiedlersees deutlich weniger  $\text{Hg}_g$  frei, als aus denen der Panozzalacke.

Wiederrum kann das Vorkommen von gelöstem organischem Material direkt mit den  $\text{Hg}_g$ -Emissionen aus Wasserkörpern in Zusammenhang gebracht werden. Einerseits können hohe DOM-Konzentrationen zu reduziertem Lichteinfall führen, wodurch weniger Photonen vorhanden sind, um gelöstes  $\text{Hg}^{2+}$  im aquatischen Milieu zu  $\text{Hg}^0$  reduzieren (Zhang, 2011). Andererseits könnte Quecksilber im Wasser vermehrt an Partikel gebunden werden, wodurch es zu einer Herabsetzung der Bioverfügbarkeit kommen könnte (Malczyk & Branfireun, 2015).

In der Studie von Zhang (2001) wurde die Emission von  $\text{Hg}_g$  aus Wasser mit unterschiedlichem organischem Material untersucht. Trotz einer konstanten TOC-Konzentration von 16 mg/L konnten je nach Material unterschiedliche Emissionsraten beobachtet werden. Vermutlich haben das Molekulargewicht und der Sättigungsgrad der vorliegenden organischen Stoffe Einfluss auf die Interaktion mit dem Schwermetall. Die Schwierigkeit der Ergebnisinterpretation ergibt sich durch die unterschiedliche Beschaffenheit des jeweiligen organischen Materials (Zhang, 2011).

#### 4.4.2.3 Partikulär-gebundene Quecksilberspezies

Die Filtrationsvolumina zur quantitativen Analyse partikulär-gebundener Quecksilbers wurden während der einzelnen Experimente etwas variiert, um eine ungleichmäßige Verteilung der Partikel und somit verfälschten Ergebnissen bei Filtration kleiner Volumina ausschließen zu können.

In den Wasserproben des Neusiedlersees konnte nach der Versuchsdauer von 12 Stunden mehr  $Hg_p$  unter aeroben Bedingungen gefunden werden, als unter anaeroben. Im Experiment unter aeroben Bedingungen wurde je 1 L Wasser pro Mesokosmos durch vier Cellulose-Acetat-Filter filtriert. Die relativ hohe Standardabweichung für das Ergebnis des partikulär gebundenen Quecksilbers unter anaeroben Bedingungen lässt sich durch die Vorfiltration mit Glasfaserfiltern zurückführen. Nach Aufschluss und Analyse aller Filter wurde in diesem Mesokosmos weniger Quecksilber partikulär gebunden aufgefunden, als in den Mesokosmen, aus denen lediglich 1 Liter des Wassers filtriert wurde. Die Glasfaserfilter lösten sich beim sauren Aufschluss nicht vollständig und mussten anschließend gespült werden, was eine mögliche Verlustquelle für  $Hg_p$  darstellen könnte.

#### 4.4.2.4 Quecksilberbilanz

Die Wiederfindungsrate des Quecksilbers variierte je nach Versuchsbedingung und Wassertyp. Das meiste Quecksilber konnte mit  $70,6 \pm 1,8 \%$  in aeroben Versuch mit Neusiedlerseewasser wiedergefunden werden. Unter anaeroben Bedingungen wurden  $67,2 \pm 8,0 \%$  gefunden. In den Versuchen in Wasser der Panozzalacke konnte unter aeroben Bedingungen  $52,0 \pm 3,7 \%$  und unter anaeroben Bedingungen  $44,5 \pm 4,6 \%$  wiedergefunden werden. Durch die geringe Durchflussrate des Gasstroms sollte eine unvollständige Amalgambildung an den Goldnetzen ausgeschlossen werden können. Ein Anhaften von Quecksilber an den Plexiglaswänden konnte durch spülen mit  $1 \%$   $\text{HNO}_3$  ausgeschlossen werden. Die Filtration könnte eine mögliche Ursache des Hg-Verlusts darstellen.

Die Bestimmung der Quecksilberverteilung auf Wasser, Luft und Partikel bestätigt die Vermutung einer veränderten Quecksilberverarbeitung in Abhängigkeit des Wassertyps und den Versuchsbedingungen, da trotz der teilweise hohen Standardabweichungen eine unterschiedliche Verteilung auf die einzelnen Kompartimente deutlich zu erkennen ist.

Unabhängig des Wassertyps ist eine Tendenz der vermehrten Emission an die Luft unter aeroben Versuchsbedingungen zu erkennen. Dies wird wahrscheinlich durch die Reduktion von  $\text{Hg(II)}$  zu elementarem Quecksilber bedingt durch photochemische Prozesse verursacht (Fitzgerald, 2007).

In einer Studie von Liang et al. (2014) wurde die Hg-Verteilung auf Luft und Sediment in Mesokosmen ( $60 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ ) mit Probenmaterial aus der chinesischen Region Chongqing rund um den Yangtze River untersucht. Die Ionenkonzentrationen im Yangtze River waren deutlich niedriger als in der Panozzalacke und im Neusiedlersee, nur die  $\text{HCO}_3^-$ -Konzentration war mit  $128 \text{ mg/L}$  vergleichsweise hoch. Wie in der vorliegenden Arbeit wurden in der Studie von Liang et al. (2012) höhere Emissionsraten aus Proben mit niedrigerem Gehalt an DOM beobachtet. Die Reduktion des Quecksilbers wird vermutlich durch die starke Bindung des Metalls zu organischem Material vermindert, was wiederum zu geringerem  $\text{Hg}_g$ -Austritt aus dem Wasser führen könnte (Liang, 2012).

Im Rahmen einer kanadischen Studie von Orihel et al. (2006) wurde die Quecksilberverteilung auf Wasser, Sediment, Partikel und Algen bestimmt. Für die Untersuchungen wurden Mesokosmen mit  $10 \text{ m}$  Durchmesser fest im See installiert, das Wasser mit einem Quecksilberstandard versetzt und die Verteilung über acht Wochen

beobachtet. Der See unterschied sich stark von der Panozzalacke und dem Neusiedlersee, da die Ionenkonzentrationen mit  $2,2 \pm 0,1$  mg/L Sulfat oder  $0,2 \pm 0,05$  mg/L Chlorid allgemein weit unter denen der hier beschriebenen Seen lagen. Der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff lag bei  $7,7 \pm 0,4$  mg/L, das Sediment war relativ arm an organischen Bestandteilen. Die Wiederfindungsraten lagen nach der Versuchsdauer von 8 Wochen bei 59 – 81 % und bewegten sich damit in der gleichen Größenordnung wie in der vorliegenden Arbeit, allerdings wurden die Emissionen an die Luft nicht direkt bestimmt, sondern aus vorhergehenden Untersuchungen übernommen. Der Hg<sub>g</sub>-Austritt an die Luft wurde in der Studie von Poulain et al. (2006) in den zuvor beschriebenen Mesokosmen über die Konzentration an gelöstem, gasförmigem Quecksilber in den oberen Wasserschichten berechnet. Nach einer Versuchsdauer von 8 Wochen wurden bis zu 59 % des zugesetzten Quecksilberstandards an die Atmosphäre verloren, was sich stark zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit unterscheidet. Dies könnte einerseits durch den unterschiedlichen Versuchsaufbau, andererseits durch die variierende Salinität der untersuchten Gewässer bedingt sein. Auch die Ergebnisse der Quecksilberverteilung im kanadischen See unterscheiden sich sowohl von der Verteilung im Neusiedlersee, als auch in der Panozzalacke. Der Großteil des zugegebenen Quecksilbers blieb im Wasser gelöst, je bis zu 16 % waren partikulär-gebunden oder in den oberen Sedimentschichten zu finden und ein kleiner Teil wurde in den Algen wiedergefunden (Orihel et al., 2006). Im direkten Vergleich mit den in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Quecksilberbilanzen bindet sich in den kanadischen Proben deutlich weniger Quecksilber an die Partikel, was mit der unterschiedlichen Wasserbeschaffenheit in Zusammenhang gebracht werden könnte. Weiters verbleibt eindeutig mehr Quecksilber im Wasser, was vor allem in Betrachtung des Gehalts an gelöstem organischem Kohlenstoff interessant ist, der zwischen dem des Neusiedlersees und dem der Panozzalacke liegt.

Weiters könnte die unterschiedliche Beschaffenheit des vorliegenden organischen Materials könnte zu der ungleichen Hg-Verteilung auf Luft, Wasser und Partikel in den untersuchten Seen führen (Wu, 2013). Außerdem ist auch der Einfluss der oxischen und alkalischen Bedingungen auf den Hg-Zyklus nicht auszuschließen (Wang, 2012).

## 4.5 Conclusio

Die Entnahme ungestörter Sedimentproben ist mit Hilfe der zur Verfügung gestellten Mesokosmen theoretisch möglich, jedoch aufwendig und in der Praxis schwer umzusetzen. Vor allem die Vergleichbarkeit der einzelnen Proben ist nicht gegeben. Die verkleinerten Mesokosmen eignen sich sehr gut für die geplanten Experimente, da die Wassersäulen gerührt werden können und die allgemeine Handhabung durch den abnehmbaren Deckel erleichtert wird.

Die Beobachtung der Konzentrationsabnahme nach Zugabe einer definierten Menge Quecksilber verläuft in beiden Wassertypen unter aeroben und anaeroben Versuchsbedingungen ähnlich. In destilliertem Wasser zeigen die Experimente eine verlangsamte Abnahme der Quecksilberkonzentration im Vergleich zu den natürlichen Wasserproben.

Die durchgeführten Experimente zur Quecksilberverteilung deuten auf eine unterschiedliche Verarbeitung des zugesetzten Quecksilbers je nach Versuchsbedingung und Wassertyp hin.

Der Mikrowellenaufschluss der Filter und die Quecksilberanalyse mittels CV-AAS sind simpel und rasch durchzuführen. Auch der Einsatz der Goldnetze in Glasröhrchen aus dem Amalgamierungssystem erweist sich als einfache und zuverlässige Methode zur Erfassung des austretenden, gasförmigen Quecksilbers.

Weitere Untersuchungen sind notwendig, um den Einfluss von Sediment auf die Quecksilberbilanz zu beobachten. Gegenstand weiterer Untersuchungen könnte die anschließende Speziierung der im Sediment akkumulierten Quecksilberspezies sein.

## 5 Anhang

---

### 5.1 Kurzfassung

Das Schwermetall Quecksilber ist ubiquitär auf der Erde zu finden, ist vor allem durch seine Giftigkeit bekannt und stellt ein großes Umweltproblem dar (Swartzendruber & Jaffe, 2012).

In einer Studie von Jirsa et al. aus 2014 wurden Sediment, Pflanzen und Fische des Neusiedlersees auf ihren Quecksilbergehalt untersucht. Der im Osten Österreichs liegende Neusiedlersee ist ein salzreicher Steppensee mit charakteristischem Schilfgürtel und damit verbundenem hohen Gehalt an organischem Kohlenstoff (Löffler, 1979). Die Quecksilberkonzentrationen der Sedimentproben unterschritten die österreichische Hintergrundbelastung von  $0,22 \mu\text{g/g}$  (BMWFUW, 2005) und korrelierten mit dem Kohlenstoffgehalt des Probenmaterials, was auf einen geringen anthropogenen Einfluss hindeutet. Durch unerwartet hohe Quecksilbergehalte der Fisch- und Pflanzenproben, stellt sich die Frage einer veränderten Quecksilberverarbeitung in Zusammenhang mit den außergewöhnlichen Eigenschaften des Sees (Jirsa, 2014).

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde eine Methode entwickelt, die es ermöglicht die Quecksilberverarbeitung natürlicher Wasserproben im Labor zu untersuchen. Der Einsatz von Mesokosmen (Zylindern aus Plexiglas) ermöglicht Untersuchungen ungestörter Sedimentproben im verkleinerten Maßstab. Die Quecksilberumsetzung von Probenmaterial aus dem Neusiedlersee wurde in Tripletversuchen mit Proben aus der Panozzalacke, einem durchschnittlichen Süßwasser, und destilliertem Wasser verglichen. Die mit Sediment und Wasser befüllten Mesokosmen wurden mit einer definierten Menge Quecksilber versetzt und die Abnahme der Konzentration im Wasser mittels CV-AAS verfolgt.

Ausgehend von einer Konzentration von  $5 \mu\text{g/L}$  lagen die Konzentrationen 22 Stunden nach Versuchsbeginn im destilliertem Wasser bei  $1,8 \pm 0,1 \mu\text{g/L}$ , in der Panozzalacke bei  $0,3 \pm 0,1 \mu\text{g/L}$  und bei  $0,1 \pm 0,1 \mu\text{g/L}$  in den Proben des Neusiedlersees.

In weiterführenden Versuchen wurden verkleinerte Mesokosmen ausschließlich mit Wasser der Probenahmestellen befüllt, um Sedimenteinfluss vorerst auszuschließen. Die Mesokosmen mit geringerem Durchmesser und abnehmbarem Deckel sollten einerseits die Handhabung erleichtern und andererseits eine Durchmischung der Wassersäulen durch

Rühren ermöglichen. Die Versuche wurden in fünffacher Ausführung sowohl unter aeroben und als auch unter anaeroben Versuchsbedingungen durchgeführt.

Betrachtet man die Abnahmegeschwindigkeiten der Quecksilberkonzentration in den Wassersäulen wurde das Ergebnis des Vorversuchs mit einer Endkonzentration von  $1,9 \pm 0,2 \mu\text{g/L}$  in destilliertem Wasser bestätigt. Die Ergebnisse für die natürlichen Proben variierten je nach Datum der Probennahme, wobei tendenziell eine schnellere Konzentrationsabnahme unter aeroben Bedingungen erkennbar war. Beim Vergleich der beiden Gewässer untereinander ließen sich keine signifikanten Geschwindigkeitsunterschiede in der Konzentrationsabnahme feststellen.

Nach der Versuchsdauer von 12 Stunden wurde eine Quecksilberbilanz der Verteilung auf Wasser, Luft und Partikel aufgestellt. Um den Gehalt des an den Partikeln adsorbierten Quecksilbers zu messen, wurde am Ende des Versuchs ein definiertes Volumen Wasser filtriert und die Filter sauer aufgeschlossen. Die aufbereiteten Filter- und Wasserproben wurden direkt mittels CV-AAS analysiert.

Die Verteilung des Quecksilbers auf Wasser, Luft und Partikel fiel je nach Versuchsbedingung und Wassertyp unterschiedlich aus. Die Wiederfindungsraten befanden sich je nach Versuchsbedingung und Wassertyp zwischen  $44,5 \pm 4,6$  und  $70,6 \pm 1,8$  %.

Bei den Proben des Neusiedlersees sammelten sich mit sowohl mit  $94,3 \pm 10,4$  % im aeroben als auch mit  $73,5 \pm 51,4$  % im anaeroben Versuch der Großteil des wiedergefundenen Quecksilbers an den Partikeln gebunden. An den Partikeln der Panozzalacke wurden unter aeroben Bedingungen  $62,6 \pm 26,3$  % und  $58,8 \pm 21,8$  % unter anaeroben Bedingungen gefunden. Im Wasser des Neusiedlersees verblieben  $4,1 \pm 0,4$  % unter aeroben bzw.  $26,3 \pm 9,6$  % unter anaeroben Bedingungen gelöst. In den Wasserproben der Panozzalacke ist mit  $26,3 \pm 8,4$  % unter aeroben und  $37,2 \pm 28,3$  % unter anaeroben Bedingungen mehr gelöstes Quecksilber zu finden. Der Austritt des Quecksilbers an die Luft variiert von  $1,6 \pm 0,9$  % (aerob) und  $0,1 \pm 0,5$  % (anaerob) aus den Neusiedlerseeproben bis zu  $11,1 \pm 3,6$  % (aerob) und  $4,0 \pm 2,1$  % (anaerob) aus den Proben der Panozzalacke.

Die Ergebnisse dieser Arbeit konnten eine je nach Wassertyp und Versuchsbedingung veränderte Quecksilberverarbeitung zeigen und bilden damit die Basis für weitere Untersuchungen.

## 5.2 Abstract

Mercury, a heavy metal mainly known due to its toxicity, can be found all over the planet and depicts a big harm on the environment (Swartzendruber & Jaffe, 2012).

In 2014 Jirsa et. al presented results on the content of mercury in sediments, plants and fish from Lake Neusiedl. The shallow steppe lake on the east-end of Austria is rich in salts and organic matter due to its characteristic reed belt (Löffler, 1979). The observed concentrations of mercury in sediment samples undercut the austrian background pollution of  $0,22 \mu\text{g/g}$  (BMWFUW, 2005) and positively correlate with the carbon content of the samples, indicating a minor anthropogenic impact. Due to the unexpectedly high levels of mercury in fish- and plant samples, the question of an altered metabolism linked with the high salinity and organic content of the lake (Jirsa, 2014).

Within this master thesis a method to monitor mercury metabolism and distribution in different natural water samples has been developed. The turnover rates of mercury in samples from Lake Neusiedl were compared to samples from Panozzalacke, an “average freshwaterbody” from Vienna, and distilled water. The experiments were performed as triplets. In order to observe undisturbed sediment samples in little scale, mesocosms (cylinders made of Plexiglas) were used. In the laboratory the mesocosms filled with sediment samples were adjusted with associated water samples. The properly filled mesocosms were spiked with a known quantity of mercury and the decrease in concentration over time was observed via CV-AAS.

Starting with  $5 \mu\text{g/L}$  the mercury concentrations after 22 hours in the water columns dropped to  $1,8 \pm 0,1 \mu\text{g/L}$  in distilled water,  $0,3 \pm 0,1 \mu\text{g/L}$  in samples from Panozzalacke and  $0,1 \pm 0,1 \mu\text{g/L}$  in samples from lake Neusiedl.

Further experiments were performed in slightly altered mesocosms. The minimized cylinders were filled with water samples to exclude sedimentary influences and also enabling an improved distribution through gentle stirring during the experiment. In addition the mesocosms were built with a removable lid for better handling. All experiments in water columns were performed as quintuplet under aerobic as well as anaerobic conditions.

Regarding the mercury decrease over 12 hours distilled water shows the slowest declining rate with an end concentration of  $1,9 \pm 0,2 \mu\text{g/L}$ . With water samples from Panozzalacke and Lake Neusiedl two experiments have been performed under aerobic as well as under

anaerobic conditions. The results in end concentrations and decreasing rates vary for each sample drawing and experiment condition, but comparing samples show tendency of an accelerated decrease of mercury under aerobic conditions. Regarding the speed of mercury declination in both water types no serious declaration can be made.

After 12 hours total test duration the distribution of the remaining mercury between water, air and particles can be stated. To analyze particle-bound mercury species a defined sample volume has been filtered and the filters were then digested in a microwave. The prepared samples as well as the water samples can be measured directly via CV-AAS.

The mercury distribution to water, air and particles was different for each experiment setting. The recovery rates for mercury was between  $44,5 \pm 4,6$  and  $70,6 \pm 1,8$  %. In samples from Lake Neusiedl under aerobic conditions  $94,3 \pm 10,4$  % of the recovered mercury and  $73,5 \pm 51,4$  % under anaerobic conditions were found particle-bound. In samples from Panozzalacke  $62,6 \pm 26,3$  % under aerobic conditions and  $58,8 \pm 21,8$  % under anaerobic conditions were bound to particles. In samples from Lake Neusiedl  $4,1 \pm 0,4$  % (aerobic) and  $26,3 \pm 9,6$  % (anaerobic) stayed in solution, compared to  $26,3 \pm 8,4$  % (aerobic) and  $37,2 \pm 28,3$  % (anaerobic) in samples from Panozzalacke. The emissions of mercury to ambient air vary from  $1,6 \pm 0,9$  % under aerobic and  $0,1 \pm 0,5$  % under anaerobic conditions for Lake Neusiedl to  $11,1 \pm 3,6$  % under aerobic and  $4,0 \pm 2,1$  % under anaerobic conditions for samples from Panozzalacke.

The result of this thesis showed changes in mercury processing depending on the watertyp and experimental conditions and therefore provide a base for further investigations.

### 5.3 Literaturverzeichnis

**Binder, H.:** Lexikon der chemischen Elemente. Hirzel, 1999.

**Bundesamt für Wasserwirtschaft:** Atlas der natürlichen Seen Österreichs mit einer Fläche über  $\geq 50\text{m}^2$ . Institut für Wassergüte, Wien, 2008.

**Bundesministerium für Wasser- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMWFUW):** Wassergütebericht in Österreich, Jahresbericht 2004. 2005.

**Boening D. W.:** Ecological Effects, Transport, and Fate of Mercury: a General Review. Chemosphere 40, S. 1335-1351, 2000.

**Ekino S., Susa M., Ninomiya T., Imamura K., Kitamura T.:** Minamata disease revisited: An update on the acute and chronic manifestations of methyl mercury poisoning. Journal of Neurological Sciences 262, S.131-144, 2007.

**Engstrom, D.:** Fish respond when the Mercury rises. PNAS 104 (42), S. 16394-16395, 2007

**Fitzgerald W., Lamborg C., Hammerschmidt C.:** Marine biogeochemical cycling of mercury. Chemical Reviews 107.2, S. 641-662, 2007.

**Gilmour C., Henry E, Mitchell R.:** Sulfate Stimulation of Mercury Methylation in Freshwater Sediments. Environmental Science & Technology 26.11, S.2281-2287, 1992.

**Haynes, W. M.:** Handbook of Chemistry and Physics. 96. Auflage, CRC Press, 2015-2016.

**Jirsa F., Pirker D., Krachler R., Keppler B.:** Total Mercury in Sediments, Macrophytes, and Fish from a Shallow Steppe Lake in Eastern Austria. Chemistry & Biodiversity, Vol. 11, S.1263-1275, 2014.

**Kaim W., Schwederski B.:** Bioanorganische Chemie. Zur Funktion chemischer Elemente in Lebensprozessen. Teubner Studienbücher Chemie, 4. Auflage, 2005.

**Kwaabsa-Ansah E. E., Voegborlo R. B., Adimado A. A., Ephraim J. H., Nriagu J.O.:** Effect of pH, Sulphate Concentration and Total Organic Carbon on Mercury Accumulation in Sediments in the Volta Lake at Yeji, Ghana. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 88, S. 418-421, 2012.

**Lasorsa B., Gill G., Horvat M.:** Analytical Methods for Measuring Mercury in Water, Sediment, and Biota. Mercury in the Environment: Pattern and Process. University of California Press, Kapitel 3, 2012.

**Li C., Zhang Q., Kang S., Liu Y., Huang J., Liu X., Guo J., Wang K., Cong Z.:** Distribution and enrichment of mercury in Tibetan lake waters and their relations with the natural environment. Environmental Science and Pollution Research 22: 12490-12500, 2015.

**Liang L., Bloom, N.:** Determination of Total Mercury by Single-Stage Gold Amalgamation With Cold Vapour Atomic Spectrometric Detection, Journal of Analytical Atomic Spectrometry, Vol. 8, S. 591-594, 1993.

**Liang P., Zhang C., Yang Y., Wang D.:** A simulation study of mercury release fluxes from soils in wet-dry rotation environment. *Journal of Environmental Sciences* 26, S. 1445-1452, 2014.

**Lusilao-Makiese J., Tessier E., Amouroux D., Cukrowska E.:** Analytical Performances of Nanostructured Gold Supported in Metal Oxide Sorbents for the Determination of Gaseous Mercury. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2014.

**Löffler, H.:** Der Neusiedlersee - Naturgeschichte eines Steppensees. 1. Auflage, Verlag Fritz Molden, 1974.

**Löffler, H.:** Neusiedlersee – The limnology of a shallow lake in central Europe. *Monographiae Biologicae*, Volume 37, Dr. W. Junk by Publishers, 1979.

**Malczyk E. A., Branfireun B. A.:** Mercury in sediment, water, and fish in a managed tropical wetland-lake ecosystem. *Science of the Total Environment* 524-525, S.260-268, 2015.

**Mitchell C., Branfireun, Kolka R.:** Assessing sulfate and carbon controls on net methylmercury production in peatlands: An in situ mesocosm approach. *Applied Geochemistry* 23, S. 503-518, 2008.

**Munthe J. et al.:** Intercomperison of Methods for Sampling and Analysis of Atmosperic Mercury Species. *Atmospheric Environment* 35, S. 3007-3017, 2001.

**Nationalpark Neusiedlersee:** <http://www.nationalpark-neusiedlersee-seewinkel.at/Schilfg%C3%BCrtel.html> (abgerufen am 21.10.2015)

**Nöges T.:** Relationships between morphometry, geographic location and water quality parameters of European lakes. *Hydrobiologia* 633, S. 33-43, 2009.

**Pandey S. K., Kim K., Brown R.J.C.:** Measurement Techniques for Mercury Species in Ambient Air. *Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 30, No. 6, S. 899-917, 2011.

**Pirker, D.:** Quecksilber im Neusiedlersee, Diplomarbeit, Universität Wien, 2012.

**Poulain A. J., Orihel D. M., Amyot M., Paterson M. J., Hintelmann H., Southworth G.:** Relationship between the loading rate of inorganic mercury to aquatic ecosystems and dissolved gaseous mercury production and evasion. *Chemosphere* 65.11, S. 2199-2207, 2006.

**Orihel D.M., Paterson M., Gilmour C., Bodaly R.A., Blanchfield P., Hintelmann H., Harris R., Rudd J.:** Effect of Lading Rate on the Fate of Mercury in Littorial Mesocosms. *Environmental Science & Technology*, Vol. 40, No. 19, S. 5992-6000, 2006.

**Ravichandran, M.:** Interactions between Mercury and Dissolved Organic Matter – a Review. *Chemosphere* 55, S. 319-331, 2004.

**Schroeder W. H., Munthe J.:** Atmospheric Mercury – an Overview. *Atmospheric Environment*, Vol. 32, No. 5, 1998, S. 809-822

**Bundesamt für Gesundheit BAG:** Quecksilber. Schweizerische Eidgenossenschaft, 2009.

**Swartzendruber P., Jaffe D.:** Sources and Transport. *Mercury in the Environment: Pattern and Process*. University of California Press, Kapitel 1, 2012.

- Selin, N.:** Global Biogeochemical Cycling of Mercury: A Review. The Annual Review of Environment and Resources 34:43-63, 2009.
- Waidbacher H.:** Aktualisierung der Fischereivierflächen im Wiener Teil des Nationalparks Donau-Auen. Universität für Bodenkultur. 1999
- Wang S., Xing D., Jia Y., Li B. Wang K.:** The distribution of total mercury and methyl mercury in a shallow hypereutrophic lake (Lake Taihu) in two seasons. Applied Geochemistry 27, S.343-351, 2012.
- Weigelt A., Temme C., Bieber E., Schwerin A., Schuetze M., Ebinghaus R., Kock H.:** Measurements of Atmospheric Mercury Species at a German rural Background Site from 2009 to 2011 – Methods and Results. Environmental Chemistry 10, 2013, S. 102-110
- Welti N., Bondar-Kunze E., Mair M., Bonin P., Wanek W., Pinay G., Hein T.:** Mimicking Floodplain Reconnection and Disconnection using <sup>15</sup>N Mesocosm Incubations. Biogeosciences 9, S. 4263-4278, 2012.
- Wetzel R.G., Likens G.E.:** Limnological Analysis. 3. Auflage, Springer-Verlag, New York, 2000.
- Wu F., Xu L., Liao H., Guo F., Zhao X., Giesy J. P.:** Relationship between mercury and organic carbon in sediment cores from Lake Quinghai and Chenghai, China. Journal of Soils and Sediments, 13. Jahrgang , S. 1084-1092, 2013.

## 5.4 Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Quecksilberverbrauch in Deutschland (nach Binder, 1999) .....                                                                                                                                                            | 3  |
| Abbildung 2: Natürliche und anthropogene Quecksilberquellen und -flüsse (Abbildung aus Global Mercury Assessment, 2013 © United Nations Environment Programme) .....                                                                  | 6  |
| Abbildung 3: Quecksilberkreislauf; $Hg(0)$ – elementares Quecksilber, $Hg(II)$ – zweiwertiges Quecksilber, $MeHg$ – methylierte Quecksilberspezies (Abbildung aus Engstrom, 2007 © The National Academy of Sciences of the USA) ..... | 7  |
| Abbildung 4: Geographische Lage des Neusiedlersees (Pirker, 2012) .....                                                                                                                                                               | 9  |
| Abbildung 5: Geographische Lage der Probenahmestelle in Neusiedl am See (©2015 Google) .....                                                                                                                                          | 11 |
| Abbildung 6: Geographische Lage der Probenahmestelle in Breitenbrunn am Neusiedlersee (©2015 Google) .....                                                                                                                            | 12 |
| Abbildung 7: Geographische Lage der Probenahmestelle an der Panozzalacke und Umgebung (©2015 Google) .....                                                                                                                            | 13 |
| Abbildung 8: Schematischer Geräteaufbau zur Analyse flüssiger Proben .....                                                                                                                                                            | 15 |
| Abbildung 9: Schematischer Geräteaufbau zur Analyse von an Gold adsorbierten Quecksilber .....                                                                                                                                        | 16 |
| Abbildung 10: Apparatur zur Entnahme quecksilbergesättigter Luft .....                                                                                                                                                                | 17 |
| Abbildung 11: Beispiel der Kalibrationskurven der $Hg_g$ -Messungen .....                                                                                                                                                             | 18 |
| Abbildung 12: Beispiel der linearen Abschnitte der Kalibrationskurven der $Hg_g$ -Messungen .....                                                                                                                                     | 18 |
| Abbildung 13: Mesokosmos .....                                                                                                                                                                                                        | 21 |
| Abbildung 14: Mesokosmen während des Experiments .....                                                                                                                                                                                | 22 |
| Abbildung 15: Verkleinerte Mesokosmen in leerem Zustand und während eines Experiments .....                                                                                                                                           | 23 |
| Abbildung 16: Gasventil (a) und Gasverteiler (b) .....                                                                                                                                                                                | 24 |
| Abbildung 17: Darstellung der mittleren gelösten Ionenkonzentrationen ( $\pm$ STABW) der Proben aus der Panozzalacke ( $n = 7$ ) und dem Neusiedlersee ( $n = 7$ ) .....                                                              | 28 |
| Abbildung 18: Tiefenprofil der Quecksilberkonzentration im Sediment (grün - Neusiedlersee; blau - Panozzalacke) .....                                                                                                                 | 30 |
| Abbildung 19: Korrelation des Quecksilbergehalts mit dem organischen Bestandteil (grün - Neusiedlersee; blau - Panozzalacke) .....                                                                                                    | 30 |
| Abbildung 20: Mittlere $Hg_{aq}$ -Konzentrationen ( $\pm$ STABW) unter aeroben Bedingungen ( $n = 5$ ) über 144 Stunden .....                                                                                                         | 31 |

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 21: Mittlere $Hg_{aq}$ -Konzentrationen ( $\pm$ STABW) unter aeroben Bedingungen (n = 3) über 22 Stunden.....                                                  | 32 |
| Abbildung 22: Mittlere $Hg_{aq}$ -Konzentrationen ( $\pm$ STABW) in Wasserproben des Neusiedlersees (n = 5) unter aeroben und anaeroben Bedingungen über 12 Stunden..... | 33 |
| Abbildung 23: Mittlere $Hg_{aq}$ -Konzentrationen ( $\pm$ STABW) in Wasserproben der Panozzalacke (n = 5) unter aeroben und anaeroben Bedingungen über 12 Stunden .....  | 34 |
| Abbildung 24: Mittlere $Hg_{aq}$ -Konzentrationen ( $\pm$ STABW) unter aeroben Bedingungen (n = 5) über 12 Stunden.....                                                  | 35 |
| Abbildung 25: Mittlere $Hg_{aq}$ -Konzentrationen ( $\pm$ STABW) unter anaeroben Bedingungen (n = 5) über 12 Stunden.....                                                | 35 |
| Abbildung 26: Mittlerer $Hg_g$ -Austritt ( $\pm$ STABW) aus Wasserproben der Panozzalacke (n=5) über 12 Stunden.....                                                     | 36 |
| Abbildung 27: Mittlerer $Hg_g$ -Austritt ( $\pm$ STABW) aus Wasserproben des Neusiedlersees (n=5) über 12 Stunden.....                                                   | 36 |
| Abbildung 28: Mittlere Verteilung des wiedergefundenen Quecksilbers ( $\pm$ STABW) .....                                                                                 | 38 |

## 5.5 Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Parameter der Kationenbestimmung mittels AAS .....                                                                  | 14 |
| Tabelle 2: Temperaturabhängigkeit des Hg-Dampfdrucks (Haynes, 2015-2016).....                                                  | 17 |
| Tabelle 3: Quecksilberkonzentrationen und Anteil organischer Bestandteile in den<br>Sedimentproben aus der Panozzalacke .....  | 29 |
| Tabelle 4: Quecksilberkonzentrationen und Anteil organischer Bestandteile in den<br>Sedimentproben aus dem Neusiedlersee ..... | 29 |
| Tabelle 5: Quecksilberwiederfindungsraten .....                                                                                | 38 |
| Tabelle 6: Allgemeine Wasserparameter der Vorversuche .....                                                                    | 60 |
| Tabelle 7: Ionenbilanz der Vorversuche.....                                                                                    | 60 |
| Tabelle 8: Messerwerte der allgemeinen Wasserparameter (Panozzalacke) .....                                                    | 61 |
| Tabelle 9: Messwerte der allgemeinen Wasserparameter (Neusiedlersee) .....                                                     | 61 |
| Tabelle 10: Ionenbilanz der Proben aus der Panozzalacke .....                                                                  | 62 |
| Tabelle 11: Ionenbilanz der Proben aus dem Neusiedlersee.....                                                                  | 62 |
| Tabelle 12: Quecksilbergehalt der Sedimentproben aus der Panozzalacke .....                                                    | 63 |
| Tabelle 13: Ash Free Dry Weight der Sedimentproben aus der Panozzalacke .....                                                  | 63 |
| Tabelle 14: Quecksilbergehalt der Sedimentproben aus dem Neusiedlersee.....                                                    | 63 |
| Tabelle 15: Ash Free Dry Weight der Sedimentproben des Neusiedlersees .....                                                    | 64 |
| Tabelle 16: Messergebnisse der Hg-Abnahme über 144h .....                                                                      | 65 |
| Tabelle 17: Messergebnisse der Hg-Abnahme über 22h .....                                                                       | 65 |
| Tabelle 18: Messwerte der Hg-Abnahme in destilliertem Wasser unter aeroben Bedingungen<br>.....                                | 66 |
| Tabelle 19: Messwerte der Hg-Abnahme im Wasser der Panozzalacke unter aeroben<br>Bedingungen (19.5.15) .....                   | 66 |
| Tabelle 20: Messwerte der Hg-Abnahme in Wasser der Panozzalacke unter anaeroben<br>Bedingungen (8.6.15) .....                  | 67 |
| Tabelle 21: Messwerte der Hg-Abnahme in Wasser der Panozzalacke unter aeroben<br>Bedingungen (19.8.15) .....                   | 67 |
| Tabelle 22: Messwerte der Hg-Abnahme in Wasser der Panozzalacke unter anaeroben<br>Bedingungen (26.8.15) .....                 | 68 |
| Tabelle 23: Messwerte der Hg-Bilanz im Wasser der Panozzalacke unter aeroben<br>Bedingungen (19.5.15) .....                    | 68 |

|                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 24: Messwerte des Hg-Austritts an die Luft aus Wasser der Panozzalacke unter aeroben Bedingungen (1.6.15).....                                 | 69 |
| Tabelle 25: Messwerte der Hg-Bilanz im Wasser der Panozzalacke unter aeroben Bedingungen (1.6.15) .....                                                | 69 |
| Tabelle 26: Messwerte des Hg-Austritts ( $\mu\text{g}$ total) an die Luft aus Wasser der Panozzalacke unter anaeroben Bedingungen (31.8.15).....       | 70 |
| Tabelle 27: Messwerte der Hg-Bilanz in Wasser der Panozzalacke unter anaeroben Bedingungen (31.8.15) .....                                             | 70 |
| Tabelle 28: Messwerte der Hg-Abnahme in Wasser aus dem Neusiedlersee unter anaeroben Bedingungen (29.6.15) .....                                       | 70 |
| Tabelle 29: Messwerte der Hg-Abnahme in Wasser aus dem Neusiedlersee unter aeroben Bedingungen (2.7.15) .....                                          | 71 |
| Tabelle 30: Messwerte der Hg-Abnahme im Wasser aus dem Neusiedlersee unter aeroben Bedingungen (24.7.15) .....                                         | 71 |
| Tabelle 31: Messwerte der Hg-Abnahme aus dem Neusiedlersee unter anaeroben Bedingungen (28.7.15) .....                                                 | 72 |
| Tabelle 32: Messergebnisse des Hg-Austritts an die Luft ( $\mu\text{g}$ total) aus Wasser des Neusiedlersees unter aeroben Bedingungen (20.7.15) ..... | 72 |
| Tabelle 33: Ergebnisse der Hg-Bilanz in Wasser des Neusiedlersees unter aeroben Bedingungen (20.7.15) .....                                            | 73 |
| Tabelle 34: Messergebnisse des Hg-Austritts an die Luft aus Wasser des Neusiedlersees unter anaeroben Bedingungen (7.7.15).....                        | 73 |
| Tabelle 35: Ergebnisse der Hg-Bilanz unter anaeroben Bedingungen (Neusiedlersee; 7.7.15) .....                                                         | 73 |

## 5.6 Messergebnisse

**Tabelle 6:** Allgemeine Wasserparameter der Vorversuche

|                                           | <i>Panozzalacke</i> | <i>Breitenbrunn</i> |
|-------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| <i>T [°C]</i>                             | -                   | 3,2                 |
| <i>pH</i>                                 | 7,7                 | 8,3                 |
| <i>LF [μS/cm]</i>                         | 504                 | 1870                |
| <i>DOC [mg/L]</i>                         | 2,8                 | 14,8                |
| <i>Na<sup>+</sup> [mg/L]</i>              | 38,0                | 259,2               |
| <i>K<sup>+</sup> [mg/L]</i>               | 5,4                 | 36,7                |
| <i>Ca<sup>2+</sup> [mg/L]</i>             | 34,9                | 25,2                |
| <i>Mg<sup>2+</sup> [mg/L]</i>             | 15,9                | 110,1               |
| <i>Cl<sup>-</sup> [mg/L]</i>              | 20,3                | 162,4               |
| <i>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> [mg/L]</i> | 11,3                | 243,6               |
| <i>SBV</i>                                | 4,2                 | 8,2                 |

**Tabelle 7:** Ionenbilanz der Vorversuche

|                                    |                | <i>Panozzalacke</i> | <i>Äquivalente</i> | <i>Neusiedlersee</i> | <i>Äquivalente</i> |
|------------------------------------|----------------|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| <i>Cl<sup>-</sup></i>              | <i>[mg/L]</i>  | 20,3                | 0,6                | 162                  | 4,6                |
| <i>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></i> | <i>[mg/L]</i>  | 11,3                | 0,2                | 244                  | 5,1                |
| <i>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></i> | <i>[mol/L]</i> | 8,0                 | 8,0                | 4,1                  | 4,1                |
|                                    |                |                     | <b>8,8</b>         |                      | <b>13,8</b>        |
| <i>Na<sup>+</sup></i>              | <i>[mg/L]</i>  | 38,0                | 1,7                | 259,2                | 11,3               |
| <i>K<sup>+</sup></i>               | <i>[mg/L]</i>  | 5,4                 | 0,1                | 36,7                 | 0,9                |
| <i>Ca<sup>2+</sup></i>             | <i>[mg/L]</i>  | 34,9                | 1,7                | 25,2                 | 1,3                |
| <i>Mg<sup>2+</sup></i>             | <i>[mg/L]</i>  | 15,8                | 1,3                | 110,1                | 9,1                |
|                                    |                |                     | <b>4,8</b>         |                      | <b>22,5</b>        |

**Tabelle 8:** Messerwerte der allgemeinen Wasserparameter (Panozzalacke)

| <b>Datum</b>                                     | <b>26.11.14</b> | <b>19.05.15</b> | <b>01.06.15</b> | <b>08.06.15</b> | <b>19.08.15</b> | <b>26.08.15</b> | <b>31.08.15</b> |
|--------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b><i>T [°C]</i></b>                             | -               | 23,8            | 20              | 26,4            | 19,1            | 20              | 21,9            |
| <b><i>pH</i></b>                                 | 7,7             | 8,0             | 7,8             | 8,3             | 7,3             | 7,2             | 8,3             |
| <b><i>LF [μS/cm]</i></b>                         | 504             | 488             | 487             | 473             | 438             | 439             | 430             |
| <b><i>TOC [mg/L]</i></b>                         | 2,3             | 4,4             | 3,4             | 4,6             | 8,3             | 6,7             | 6,2             |
| <b><i>DOC [mg/L]</i></b>                         | 2,8             | 4,3             | 3,6             | 4,0             | 9,2             | 4,9             | 5,5             |
| <b><i>Na<sup>+</sup> [mg/L]</i></b>              | 38,0            | 27,5            | 12,0            | 11,9            | 11,9            | 11,8            | 11,6            |
| <b><i>K<sup>+</sup> [mg/L]</i></b>               | 5,4             | 3,4             | 2,2             | 2,2             | 2,2             | 2,2             | 2,2             |
| <b><i>Ca<sup>2+</sup> [mg/L]</i></b>             | 34,9            | 59,7            | 57,5            | 72,6            | 71,1            | 72,6            | 72,4            |
| <b><i>Mg<sup>2+</sup> [mg/L]</i></b>             | 15,9            | 16,4            | 15,6            | 15,3            | 13,1            | 13,2            | 13,3            |
| <b><i>Cl<sup>-</sup> [mg/L]</i></b>              | 20,3            | 9,6             | 23,9            | 25,4            | 12,8            | 19,3            | 16,6            |
| <b><i>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> [mg/L]</i></b> | 11,3            | 9,8             | 11,1            | 10,5            | 8,9             | 7,9             | 6,1             |
| <b><i>SBV</i></b>                                | 4,2             | -               | -               | -               | 3,7             | 3,8             | 3,8             |

**Tabelle 9:** Messwerte der allgemeinen Wasserparameter (Neusiedlersee)

| <b>Datum</b>                                     | <b>02.12.14</b> | <b>29.06.15</b> | <b>02.07.15</b> | <b>07.07.15</b> | <b>20.07.15</b> | <b>24.07.15</b> | <b>28.07.15</b> |
|--------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b><i>T [°C]</i></b>                             | 3,2             | 23,7            | 27,8            | 30,1            | 30,7            | 31,0            | 22,8            |
| <b><i>pH</i></b>                                 | 8,3             | 8,7             | 8,7             | 8,7             | 8,7             | 8,7             | 8,6             |
| <b><i>LF [μS/cm]</i></b>                         | 1870            | 1737            | 1772            | 1804            | 1805            | 1805            | 1852            |
| <b><i>TOC [mg/L]</i></b>                         | 12,8            | 13,2            | 13,1            | 15,9            | 18              | 19,6            | 17,8            |
| <b><i>DOC [mg/L]</i></b>                         | 14,8            | 13,5            | 13,2            | 14,9            | 14,3            | 15,9            | 13,9            |
| <b><i>Na<sup>+</sup> [mg/L]</i></b>              | 259,2           | 147,4           | 210,9           | 220,7           | 199,0           | 209,5           | 244,0           |
| <b><i>K<sup>+</sup> [mg/L]</i></b>               | 36,7            | 23,5            | 23,2            | 23,0            | 24,6            | 25,2            | 25,1            |
| <b><i>Ca<sup>2+</sup> [mg/L]</i></b>             | 25,2            | 37,5            | 33,2            | 36,4            | 28,6            | 28,2            | 101,0           |
| <b><i>Mg<sup>2+</sup> [mg/L]</i></b>             | 110,1           | 74,4            | 110,8           | 105,5           | 91,0            | 94,8            | 20,1            |
| <b><i>Cl<sup>-</sup> [mg/L]</i></b>              | 162,4           | 163,3           | 168,8           | 108,5           | 178,7           | 178,6           | 178,0           |
| <b><i>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> [mg/L]</i></b> | 243,6           | 317,8           | 289,4           | 208,1           | 302,9           | 252,9           | 308,0           |
| <b><i>SBV</i></b>                                | 8,2             | 8,8             | 9,1             | 9,1             | 9,3             | 8,9             | 9,3             |

**Tabelle 10:** Ionenbilanz der Proben aus der Panozzalacke

|             |         | <b>19.5.15</b> | <b>1.6.15</b> | <b>8.6.15</b> | <b>19.8.15</b> | <b>26.8.15</b> | <b>31.8.15</b> | <b>Äquivalente</b> |
|-------------|---------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| $Cl^-$      | [mg/L]  | 9,6            | 23,9          | 25,4          | 12,8           | 19,3           | 16,6           | 0,5                |
| $SO_4^{2-}$ | [mg/L]  | 9,8            | 11,1          | 10,5          | 8,9            | 7,9            | 6,1            | 0,2                |
| $HCO_3^-$   | [mol/L] | -              | -             | -             | 3,7            | 3,8            | 3,8            | 3,7                |
|             |         |                |               |               |                |                |                | <b>4,4</b>         |
| $Na^+$      | [mg/L]  | 27,5           | 12,0          | 11,9          | 11,9           | 11,8           | 11,6           | 0,6                |
| $K^+$       | [mg/L]  | 3,4            | 2,2           | 2,2           | 2,2            | 2,2            | 2,2            | 0,1                |
| $Ca^{2+}$   | [mg/L]  | 59,7           | 57,5          | 72,6          | 71,1           | 72,6           | 72,4           | 3,4                |
| $Mg^{2+}$   | [mg/L]  | 16,4           | 15,6          | 15,3          | 13,1           | 13,2           | 13,3           | 1,2                |
|             |         |                |               |               |                |                |                | <b>5,3</b>         |

**Tabelle 11:** Ionenbilanz der Proben aus dem Neusiedlersee

|             |         | <b>29.6.15</b> | <b>2.7.15</b> | <b>7.7.15</b> | <b>20.7.15</b> | <b>24.7.15</b> | <b>28.7.15</b> | <b>Äquivalente</b> |
|-------------|---------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| $Cl^-$      | [mg/L]  | 163,3          | 168,8         | 108,5         | 178,7          | 178,6          | 178,0          | 4,5                |
| $SO_4^{2-}$ | [mg/L]  | 317,8          | 289,4         | 208,1         | 302,9          | 252,9          | 308,0          | 5,7                |
| $CO_3^{2-}$ | [mol/L] | 0,4            | 0,5           | 0,5           | 0,5            | 0,5            | 0,3            | 0,9                |
| $HCO_3^-$   | [mol/L] | 8,4            | 8,3           | 8,6           | 8,3            | 8,4            | 8,7            | 8,5                |
|             |         |                |               |               |                |                |                | <b>19,6</b>        |
| $Na^+$      | [mg/L]  | 147,4          | 210,9         | 220,7         | 199,0          | 209,5          | 244,0          | 8,6                |
| $K^+$       | [mg/L]  | 23,5           | 23,2          | 23,0          | 24,6           | 25,2           | 25,1           | 0,6                |
| $Ca^{2+}$   | [mg/L]  | 37,5           | 33,2          | 36,4          | 28,6           | 28,2           | 20,1           | 1,6                |
| $Mg^{2+}$   | [mg/L]  | 74,4           | 110,8         | 105,5         | 91,0           | 94,8           | 101,0          | 7,8                |
|             |         |                |               |               |                |                |                | <b>18,7</b>        |

**Tabelle 12:** Quecksilbergehalt der Sedimentproben aus der Panozzalacke

|                | <i>Einwaage [g]</i> | <i>Hg [µg/L]</i> | <i>Volumen [mL]</i> | <i>Hg [µg/g]</i> |
|----------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
| <i>P1 - 15</i> | 0,5                 | 2,218            | 30                  | 0,133            |
| <i>P1 - 10</i> | 0,5021              | 1,819            | 30                  | 0,109            |
| <i>P1 - 5</i>  | 0,5181              | 1,795            | 30                  | 0,104            |
| <i>P1 OF</i>   | 0,5032              | 0,8741           | 15                  | 0,026            |
| <i>P2 - 15</i> | 0,5022              | 1,76             | 30                  | 0,105            |
| <i>P2 - 10</i> | 0,5364              | 2,137            | 30                  | 0,120            |
| <i>P2 - 5</i>  | 0,5025              | 1,714            | 30                  | 0,102            |
| <i>P2 OF</i>   | 0,5041              | 1,764            | 30                  | 0,105            |

**Tabelle 13:** Ash Free Dry Weight der Sedimentproben aus der Panozzalacke

|                | <i>Einwaage [g]</i> | <i>Auswaage [g]</i> | <i>Organische Bestandteile [%]</i> |
|----------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| <i>P1 - 15</i> | 0,74526             | 0,5783              | 22,40                              |
| <i>P1 - 10</i> | 1,02503             | 0,79941             | 22,01                              |
| <i>P1 - 5</i>  | 1,03187             | 0,81834             | 20,69                              |
| <i>P1 OF</i>   | 1,00254             | 0,92858             | 7,38                               |
| <i>P2 - 15</i> | 1,03901             | 0,83312             | 19,82                              |
| <i>P2 - 10</i> | 0,94917             | 0,78299             | 17,51                              |
| <i>P2 - 5</i>  | 0,65346             | 0,51749             | 20,81                              |
| <i>P2 OF</i>   | 0,94266             | 0,76516             | 18,83                              |

**Tabelle 14:** Quecksilbergehalt der Sedimentproben aus dem Neusiedlersee

|                | <i>Einwaage</i> | <i>Hg [µg/L]</i> | <i>Volumen [mL]</i> | <i>Hg [µg/g]</i> |
|----------------|-----------------|------------------|---------------------|------------------|
| <i>NS1 -30</i> | 0,5042          | 1,056            | 15                  | 0,031            |
| <i>NS1 -25</i> | 0,545           | 2,039            | 15                  | 0,056            |
| <i>NS1 -20</i> | 0,5268          | 1,868            | 15                  | 0,053            |
| <i>NS1 -15</i> | 0,5077          | 2,799            | 15                  | 0,083            |
| <i>NS1 -10</i> | 0,5421          | 1,951            | 15                  | 0,054            |
| <i>NS1 OF</i>  | 0,4688          | 1,851            | 15                  | 0,059            |
| <i>NS2 -20</i> | 0,5031          | 1,577            | 15                  | 0,047            |
| <i>NS2 -15</i> | 0,5063          | 1,743            | 15                  | 0,052            |
| <i>NS2 -10</i> | 0,5124          | 2,003            | 15                  | 0,059            |
| <i>NS2 OF</i>  | 0,5285          | 1,766            | 15                  | 0,050            |
| <i>NS3 -25</i> | 0,5342          | 0,7061           | 15                  | 0,020            |
| <i>NS3 -20</i> | 0,5316          | 1,494            | 15                  | 0,042            |
| <i>NS3 -15</i> | 0,5047          | 1,893            | 15                  | 0,056            |
| <i>NS3 -10</i> | 0,5122          | 1,965            | 15                  | 0,058            |
| <i>NS3 OF</i>  | 0,5043          | 1,915            | 15                  | 0,057            |

**Tabelle 15:** Ash Free Dry Weight der Sedimentproben des Neusiedlersees

|                       | <b><i>Einwaage [g]</i></b> | <b><i>Auswaage [g]</i></b> | <b><i>Organische Bestandteile [%]</i></b> |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|
| <b><i>NS1 -30</i></b> | 0,95772                    | 0,89027                    | 7,04                                      |
| <b><i>NS1 -25</i></b> | 0,91917                    | 0,83888                    | 8,74                                      |
| <b><i>NS1 -20</i></b> | 0,98944                    | 0,90491                    | 8,54                                      |
| <b><i>NS1 -15</i></b> | 1,03101                    | 0,94712                    | 8,14                                      |
| <b><i>NS1 -10</i></b> | 0,96085                    | 0,87156                    | 9,29                                      |
| <b><i>NS2 -20</i></b> | 1,00013                    | 0,90521                    | 9,49                                      |
| <b><i>NS2 -15</i></b> | 0,95373                    | 0,83216                    | 12,75                                     |
| <b><i>NS2 -10</i></b> | 1,00679                    | 0,90644                    | 9,97                                      |
| <b><i>NS2 OF</i></b>  | 1,01297                    | 0,90617                    | 10,54                                     |
| <b><i>NS3 -25</i></b> | 0,97926                    | 0,88949                    | 9,17                                      |
| <b><i>NS3 -20</i></b> | 0,93647                    | 0,85762                    | 8,42                                      |
| <b><i>NS3 -15</i></b> | 0,99396                    | 0,90986                    | 8,46                                      |
| <b><i>NS3 -10</i></b> | 0,97965                    | 0,88155                    | 10,01                                     |
| <b><i>NS3 OF</i></b>  | 1,03632                    | 0,93167                    | 10,10                                     |

**Tabelle 16:** Messergebnisse der Hg-Abnahme über 144h

|                 | <i>Panozzalacke</i> |          |          | <i>Neusiedlersee</i> |          |          |
|-----------------|---------------------|----------|----------|----------------------|----------|----------|
| <i>Zeit [h]</i> | <i>1</i>            | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>1</i>             | <i>2</i> | <i>3</i> |
| <b>0</b>        | 2,30                | 3,01     | 3,00     | 1,80                 | 2,26     | 1,02     |
| <b>24</b>       | 0,36                | 0,67     | 0,33     | 0,30                 | 0,37     | 0,23     |
| <b>28</b>       | 0,34                | 0,53     | 0,29     | 0,15                 | 0,28     | 0,15     |
| <b>48</b>       | 0,32                | 0,37     | 0,18     | 0,17                 | 0,23     | 0,13     |
| <b>72</b>       | 0,18                | 0,31     | 0,18     | 0,12                 | 0,16     | 0,11     |
| <b>144</b>      | 0,17                | 0,31     | 0,22     | 0,15                 | 0,32     | 0,17     |

**Tabelle 17:** Messergebnisse der Hg-Abnahme über 22h

|                 | <i>Panozzalacke</i> |          |          | <i>Neusiedlersee</i> |          |          | <i>Destilliertes Wasser</i> |          |          |
|-----------------|---------------------|----------|----------|----------------------|----------|----------|-----------------------------|----------|----------|
| <i>Zeit [h]</i> | <i>1</i>            | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>1</i>             | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>1</i>                    | <i>2</i> | <i>3</i> |
| <b>0</b>        | 2,38                | 2,61     | 2,59     | 0,62                 | 2,45     | 1,54     | 2,94                        | 2,92     | 1,98     |
| <b>1</b>        | 2,20                | 1,89     | 2,14     | 0,47                 | 1,95     | 0,38     | 3,42                        | 3,85     | 3,81     |
| <b>2</b>        | 2,21                | 1,70     | 2,07     | 0,30                 | 1,71     | 0,38     | 3,46                        | 3,53     | 3,73     |
| <b>3</b>        | 1,83                | 1,43     | 1,62     | 0,40                 | 1,33     | 0,37     | 3,11                        | 2,92     | 3,28     |
| <b>4</b>        | 1,75                | 1,23     | 1,51     | 0,46                 | 1,28     | 0,37     | 2,83                        | 3,72     | 3,22     |
| <b>5</b>        | 1,58                | 1,15     | 1,21     | 0,25                 | 1,07     | 0,21     | 2,76                        | 3,09     | 3,08     |
| <b>6</b>        | 1,23                | 0,93     | 1,09     | 0,22                 | 0,94     | 0,18     | 2,48                        | 2,91     | 3,13     |
| <b>7</b>        | 1,46                | 0,93     | 1,02     | 0,25                 | 0,75     | 0,15     | 2,52                        | 2,99     | 2,96     |
| <b>8</b>        | 0,81                | 0,53     | 0,82     | 0,12                 | 0,45     | 0,11     | 1,70                        | 1,77     | 1,65     |
| <b>9</b>        | 0,84                | 0,41     | 0,73     | 0,10                 | 0,46     | 0,11     | 1,77                        | 1,84     | 1,82     |
| <b>10</b>       | 0,82                | 0,35     | 0,66     | 0,12                 | 0,46     | 0,10     | 2,09                        | 2,21     | 1,60     |
| <b>11</b>       | 0,71                | 0,35     | 0,59     | 0,11                 | 0,37     | 0,10     | 2,13                        | 2,24     | 2,23     |
| <b>12</b>       | 0,74                | 0,36     | 0,48     | 0,16                 | 0,41     | 0,15     | 2,17                        | 2,41     | 2,35     |
| <b>13</b>       | 0,65                | 0,25     | 0,37     | 0,10                 | 0,36     | 0,11     | 1,98                        | 2,41     | 2,25     |
| <b>14</b>       | 0,64                | 0,28     | 0,36     | 0,12                 | 0,37     | 0,12     | 2,00                        | 2,34     | 2,14     |
| <b>15</b>       | 0,53                | 0,22     | 0,29     | 0,13                 | 0,31     | 0,10     | 1,98                        | 2,16     | 2,05     |
| <b>16</b>       | 0,52                | 0,22     | 0,27     | 0,10                 | 0,26     | 0,09     | 1,80                        | 2,10     | 1,97     |
| <b>17</b>       | 0,50                | 0,20     | 0,28     | 0,09                 | 0,28     | 0,08     | 1,78                        | 2,10     | 1,94     |
| <b>18</b>       | 0,72                | 0,20     | 0,26     | 0,09                 | 0,26     | 0,08     | 1,77                        | 2,11     | 1,97     |
| <b>19</b>       | 0,42                | 0,19     | 0,21     | 0,09                 | 0,26     | 0,11     | 1,70                        | 2,02     | 1,93     |
| <b>20</b>       | 0,43                | 0,19     | 0,25     | 0,08                 | 0,26     | 0,10     | 1,69                        | 2,11     | 1,94     |
| <b>21</b>       | 0,39                | 0,20     | 0,23     | 0,08                 | 0,24     | 0,08     | 1,66                        | 2,01     | 1,89     |
| <b>22</b>       | 0,34                | 0,20     | 0,26     | 0,08                 | 0,25     | 0,01     | 1,62                        | 1,86     | 1,84     |

**Tabelle 18:** Messwerte der Hg-Abnahme in destilliertem Wasser unter aeroben Bedingungen

| <b>Zeit [h]</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>0</b>        | 4,725    | 4,408    | 4,230    | 4,197    | 4,150    |
| <b>1</b>        | 3,761    | 3,067    | 3,317    | 3,122    | 3,238    |
| <b>2</b>        | 3,576    | 2,903    | 3,090    | 2,968    | 3,149    |
| <b>3</b>        | 2,926    | 2,350    | 2,472    | 2,612    | 2,612    |
| <b>4</b>        | 2,789    | 2,321    | 2,404    | 2,547    | 2,552    |
| <b>5</b>        | 2,768    | 2,429    | 2,346    | 2,604    | 2,615    |
| <b>6</b>        | 2,622    | 2,143    | 2,241    | 2,279    | 2,566    |
| <b>7</b>        | 2,638    | 2,155    | 2,322    | 2,458    | 2,568    |
| <b>8</b>        | 2,620    | 2,091    | 2,228    | 2,418    | 2,471    |
| <b>9</b>        | 2,341    | 1,867    | 2,093    | 2,093    | 2,154    |
| <b>10</b>       | 2,373    | 1,874    | 2,050    | 2,143    | 2,096    |
| <b>11</b>       | 2,260    | 1,758    | 1,879    | 1,988    | 2,114    |
| <b>12</b>       | 2,108    | 1,656    | 1,800    | 1,950    | 2,019    |

**Tabelle 19:** Messwerte der Hg-Abnahme im Wasser der Panozzalacke unter aeroben Bedingungen (19.5.15)

| <b>Zeit [h]</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>0</b>        | 3,4140   | 3,4150   | 3,3270   | 3,3770   | 3,3950   |
| <b>1</b>        | 2,4320   | 2,5530   | 2,4880   | 2,5250   | 2,5440   |
| <b>2</b>        | 1,8770   | 1,9480   | 1,9340   | 1,9970   | 2,0390   |
| <b>3</b>        | 1,6780   | 1,6620   | 1,6810   | 1,7410   | 1,7700   |
| <b>4</b>        | 1,7680   | 1,8310   | 1,8570   | 1,9140   | 1,9580   |
| <b>4,5</b>      | 1,6960   | 1,7390   | 1,7390   | 1,7990   | 1,8490   |
| <b>5</b>        | 1,5560   | 1,4300   | 1,4480   | 1,5260   | 1,5790   |
| <b>6</b>        | 1,0900   | 1,1240   | 1,1900   | 1,2580   | 1,3210   |
| <b>7</b>        | 1,2390   | 1,3260   | 1,3450   | 1,4390   | 1,4560   |
| <b>8</b>        | 1,0290   | 1,0500   | 1,1330   | 1,2270   | 1,2730   |
| <b>9</b>        | 0,7814   | 0,7958   | 0,8712   | 0,9441   | 0,9865   |
| <b>10</b>       | 0,5220   | 0,5215   | 0,6655   | 0,6706   | 0,7270   |
| <b>11</b>       | 0,6450   | 0,6621   | 0,7669   | 0,8554   | 0,9030   |
| <b>12</b>       | 0,4773   | 0,4890   | 0,6257   | 0,7207   | 0,7630   |

**Tabelle 20:** Messwerte der Hg-Abnahme in Wasser der Panozzalacke unter anaeroben Bedingungen (8.6.15)

| <b>Zeit [h]</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>0</b>        | 3,143    | 3,480    | 3,596    | 3,372    | 3,420    |
| <b>1</b>        | 2,763    | 3,166    | 3,233    | 3,113    | 3,159    |
| <b>2</b>        | 2,470    | 2,839    | 2,767    | 2,785    | 2,878    |
| <b>3</b>        | 2,326    | 2,576    | 2,765    | 2,574    | 2,647    |
| <b>4</b>        | 2,181    | 2,506    | 2,555    | 2,464    | 2,475    |
| <b>5</b>        | 2,065    | 2,347    | 2,308    | 2,397    | 2,252    |
| <b>6</b>        | 1,856    | 2,212    | 2,256    | 2,196    | 2,174    |
| <b>7</b>        | 1,723    | 2,015    | 2,039    | 2,030    | 2,016    |
| <b>8</b>        | 1,854    | 2,234    | 2,231    | 2,293    | 2,090    |
| <b>9</b>        | 1,5740   | 2,0210   | 2,0870   | 2,0120   | 2,0320   |
| <b>10</b>       | 1,4340   | 1,7750   | 1,8820   | 2,0300   | 1,8770   |
| <b>11</b>       | 1,2100   | 1,7360   | 1,8350   | 1,8350   | 1,8160   |
| <b>12</b>       | 1,1650   | 1,5440   | 1,7690   | 1,7700   | 1,7080   |

**Tabelle 21:** Messwerte der Hg-Abnahme in Wasser der Panozzalacke unter aeroben Bedingungen (19.8.15)

| <b>Zeit [h]</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>0</b>        | 3,694    | 3,199    | 3,574    | 3,269    | 3,026    |
| <b>1</b>        | 2,284    | 2,150    | 2,035    | 2,119    | 2,226    |
| <b>2</b>        | 1,773    | 1,821    | 1,570    | 1,729    | 1,829    |
| <b>3</b>        | 1,488    | 1,259    | 1,181    | 1,286    | 1,292    |
| <b>4</b>        | 0,919    | 0,808    | 0,733    | 0,778    | 0,872    |
| <b>5</b>        | 0,950    | 0,791    | 0,715    | 0,940    | 0,815    |
| <b>6</b>        | 0,843    | 0,687    | 0,713    | 0,697    | 0,695    |
| <b>7</b>        | 0,678    | 0,590    | 0,619    | 0,611    | 0,600    |
| <b>8</b>        | 0,657    | 0,526    | 0,487    | 0,528    | 0,503    |
| <b>9</b>        | 0,5121   | 0,3723   | 0,4004   | 0,4355   | 0,4168   |
| <b>10</b>       | 0,4300   | 0,3159   | 0,3302   | 0,2846   | 0,2792   |
| <b>11</b>       | 0,3418   | 0,3032   | 0,2715   | 0,2586   | 0,1849   |
| <b>12</b>       | 0,3170   | 0,1939   | 0,2820   | 0,2279   | 0,2028   |

**Tabelle 22:** Messwerte der Hg-Abnahme in Wasser der Panozzalacke unter anaeroben Bedingungen (26.8.15)

| <b>Zeit [h]</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>0</b>        | 3,454    | 3,171    | 3,068    | 3,206    | 3,128    |
| <b>1</b>        | 2,094    | 1,426    | 2,203    | 2,212    | 0,751    |
| <b>2</b>        | 1,952    | 1,855    | 1,825    | 1,712    | 1,663    |
| <b>3</b>        | 1,434    | 1,437    | 1,387    | 1,415    | 1,513    |
| <b>4</b>        | 1,551    | 1,809    | 1,532    | 1,485    | 1,533    |
| <b>5</b>        | 0,696    | 1,079    | 1,110    | 1,289    | 1,308    |
| <b>6</b>        | 1,742    | 0,799    | 0,830    | 1,042    | 0,690    |
| <b>7</b>        | 0,928    | 0,480    | 0,465    | 0,394    | 0,607    |
| <b>8</b>        | 0,683    | 0,491    | 0,334    | 0,357    | 0,314    |
| <b>9</b>        | 0,6057   | 0,5605   | 0,5701   | 0,6483   | 0,5207   |
| <b>10</b>       | 0,4488   | 0,4670   | 0,4187   | 0,4150   | 0,3361   |
| <b>11</b>       | 0,4835   | 0,3194   | 0,2366   | 0,2512   | 0,2120   |
| <b>12</b>       | 0,5339   | 0,3654   | 0,3085   | 0,2824   | 0,2409   |

**Tabelle 23:** Messwerte der Hg-Bilanz im Wasser der Panozzalacke unter aeroben Bedingungen (19.5.15)

|          | <b>Hg (Wasser) [<math>\mu\text{g/L}</math>]</b> | <b>Hg (Luft) [<math>\mu\text{g/L}</math>]</b> | <b>Hg (Filter; 0,5L) [<math>\mu\text{g}</math>]</b> |
|----------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>1</b> | 0,5643                                          | 0,181                                         | 1,069                                               |
| <b>2</b> | 0,7382                                          | 0,869                                         | 1,312                                               |
| <b>3</b> | 0,7353                                          | 2,219                                         | 1,182                                               |
| <b>4</b> | 0,8074                                          | 2,053                                         | 1,194                                               |
| <b>5</b> | 0,7945                                          | 0,462                                         | 3,728                                               |

**Tabelle 24:** Messwerte des Hg-Austritts an die Luft aus Wasser der Panozzalacke unter aeroben Bedingungen (1.6.15)

| <b>Zeit [h]</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>1</b>        | 0,015    | 0,013    | 0,004    | 0,016    | 0,011    |
| <b>1,5</b>      | 0,019    | 0,009    | 0,015    | 0,010    | 0,013    |
| <b>2</b>        | 0,016    | 0,014    | 0,020    | 0,014    | 0,012    |
| <b>2,5</b>      | 0,016    | 0,008    | 0,014    | 0,014    | 0,013    |
| <b>3</b>        | 0,018    | 0,018    | 0,013    | 0,022    | 0,017    |
| <b>3,5</b>      | 0,015    | 0,010    | 0,014    | 0,015    | 0,020    |
| <b>4</b>        | 0,014    | 0,011    | 0,012    | 0,017    | 0,012    |
| <b>4,5</b>      | 0,019    | 0,013    | 0,015    | 0,016    | 0,018    |
| <b>5</b>        | 0,013    | 0,012    | 0,013    | 0,012    | 0,011    |
| <b>5,5</b>      | 0,020    | 0,014    | 0,020    | 0,017    | 0,016    |
| <b>6</b>        | 0,013    | 0,012    | 0,002    | 0,017    | 0,012    |
| <b>6,5</b>      | 0,012    | 0,009    | 0,009    | 0,009    | 0,013    |
| <b>7</b>        | 0,015    | 0,011    | 0,013    | 0,017    | 0,012    |
| <b>7,5</b>      | 0,014    | 0,011    | 0,012    | 0,009    | 0,013    |
| <b>8</b>        | 0,017    | 0,014    | 0,012    | 0,013    | 0,013    |
| <b>8,5</b>      | 0,009    | 0,010    | 0,012    | 0,010    | 0,011    |
| <b>9</b>        | 0,012    | 0,012    | 0,014    | 0,013    | 0,013    |
| <b>9,5</b>      | 0,011    | 0,011    | 0,008    | 0,013    | 0,015    |
| <b>10</b>       | 0,010    | 0,010    | 0,007    | 0,008    | 0,012    |
| <b>10,5</b>     | 0,011    | 0,009    | 0,005    | 0,008    | 0,009    |
| <b>11</b>       | 0,012    | 0,011    | 0,010    | 0,009    | 0,010    |
| <b>11,5</b>     | 0,009    | 0,012    | 0,012    | 0,011    | 0,010    |
| <b>12</b>       | 0,006    | 0,008    | 0,007    | 0,008    | 0,007    |

**Tabelle 25:** Messwerte der Hg-Bilanz im Wasser der Panozzalacke unter aeroben Bedingungen (1.6.15)

|          | <b>Hg (Wasser) [<math>\mu\text{g/L}</math>]</b> | <b>Hg (Luft) [<math>\mu\text{g/L}</math>]</b> | <b>Hg (Filter; 0,25L) [<math>\mu\text{g}</math>]</b> |
|----------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>1</b> | 0,6462                                          | 0,316                                         | 0,463                                                |
| <b>2</b> | 0,7793                                          | 0,261                                         | 0,438                                                |
| <b>3</b> | 0,6598                                          | 0,265                                         | 0,399                                                |
| <b>4</b> | 0,6897                                          | 0,301                                         | 0,359                                                |
| <b>5</b> | 0,6536                                          | 0,295                                         | 0,377                                                |

**Tabelle 26:** Messwerte des Hg-Austritts ( $\mu\text{g total}$ ) an die Luft aus Wasser der Panozzalacke unter anaeroben Bedingungen (31.8.15)

| <b>Zeit [h]</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>1</b>        | 0,0052   | 0,0031   | 0,0047   | 0,0052   | 0,0051   |
| <b>2</b>        | 0,0093   | 0,0061   | 0,0080   | 0,0080   | 0,0067   |
| <b>3</b>        | 0,0096   | 0,0061   | 0,0006   | 0,0083   | 0,0068   |
| <b>4</b>        | 0,0094   | 0,0075   | 0,0019   | 0,0084   | 0,0069   |
| <b>5</b>        | 0,0085   | 0,0073   | 0,0095   | 0,0095   | 0,0076   |
| <b>6</b>        | 0,0090   | 0,0065   | 0,0088   | 0,0084   | 0,0072   |
| <b>7</b>        | 0,0095   | 0,0076   | 0,0096   | 0,0092   | 0,0084   |
| <b>8</b>        | 0,0115   | 0,0065   | 0,0083   | 0,0041   | 0,0068   |
| <b>9</b>        | 0,0092   | 0,0064   | 0,0100   | 0,0077   | 0,0068   |
| <b>10</b>       | 0,0101   | 0,0074   | 0,0089   | 0,0093   | 0,0085   |
| <b>11</b>       | 0,0087   | 0,0068   | 0,0090   | 0,0092   | 0,0078   |
| <b>12</b>       | 0,0098   | 0,0064   | 0,0081   | 0,0083   | 0,0075   |

**Tabelle 27:** Messwerte der Hg-Bilanz in Wasser der Panozzalacke unter anaeroben Bedingungen (31.8.15)

|          | <b>Hg (Wasser) [<math>\mu\text{g/L}</math>]</b> | <b>Hg (Luft) [<math>\mu\text{g/L}</math>]</b> | <b>Hg (Filter; 0,5L) [<math>\mu\text{g}</math>]</b> |
|----------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>1</b> | 1,0670                                          | 0,110                                         | 0,6666                                              |
| <b>2</b> | 0,7097                                          | 0,078                                         | 0,7098                                              |
| <b>3</b> | 0,8921                                          | 0,087                                         | 0,627                                               |
| <b>4</b> | 0,6729                                          | 0,096                                         | 0,6096                                              |
| <b>5</b> | 0,9267                                          | 0,087                                         | 0,7632                                              |

**Tabelle 28:** Messwerte der Hg-Abnahme in Wasser aus dem Neusiedlersee unter anaeroben Bedingungen (29.6.15)

| <b>Zeit [h]</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>0</b>        | 3,4170   | 3,2720   | 3,0120   | 3,4120   | 3,1300   |
| <b>1</b>        | 2,9650   | 2,8630   | 3,1190   | 2,8700   | 2,7930   |
| <b>2</b>        | 2,6680   | 2,5710   | 2,4520   | 2,5300   | 2,3980   |
| <b>3</b>        | 2,4330   | 2,4070   | 2,3560   | 2,3140   | 2,3320   |
| <b>4</b>        | 2,1980   | 2,2020   | 2,2590   | 2,1650   | 2,1800   |
| <b>5</b>        | 1,7550   | 1,8560   | 1,8570   | 1,7660   | 1,8080   |
| <b>6</b>        | 1,6830   | 1,5620   | 1,7350   | 1,6640   | 1,4840   |
| <b>7</b>        | 1,7260   | 1,6890   | 1,6890   | 1,6830   | 1,6700   |
| <b>8</b>        | 1,7870   | 1,7400   | 1,7120   | 1,6500   | 1,6710   |
| <b>9</b>        | 1,5590   | 1,5510   | 1,5640   | 1,4780   | 1,5140   |
| <b>10</b>       | 1,5470   | 1,5530   | 1,5310   | 1,5080   | 1,4970   |
| <b>11</b>       | 1,3890   | 1,4870   | 1,4170   | 1,3640   | 1,3540   |
| <b>12</b>       | 1,4550   | 1,4480   | 1,4620   | 1,3760   | 1,4280   |

**Tabelle 29:** Messwerte der Hg-Abnahme in Wasser aus dem Neusiedlersee unter aeroben Bedingungen (2.7.15)

| <b>Zeit [h]</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>0</b>        | 4,232    | 4,430    | 4,381    | 4,310    | 4,466    |
| <b>1</b>        | 3,019    | 3,071    | 3,131    | 3,238    | 7,021    |
| <b>2</b>        | 2,612    | 2,623    | 2,765    | 2,687    | 5,982    |
| <b>3</b>        | 1,983    | 1,962    | 1,984    | 1,924    | 4,681    |
| <b>4</b>        | 1,811    | 1,846    | 1,852    | 1,779    | 4,170    |
| <b>5</b>        | 1,634    | 1,603    | 1,615    | 1,596    | 3,946    |
| <b>6</b>        | 1,475    | 1,578    | 1,601    | 1,536    | 3,887    |
| <b>7</b>        | 1,268    | 1,377    | 1,369    | 1,298    | 3,635    |
| <b>8</b>        | 1,093    | 1,123    | 1,153    | 1,086    | 3,180    |
| <b>9</b>        | 0,878    | 0,900    | 0,883    | 0,867    | 2,646    |
| <b>10</b>       | 0,632    | 0,679    | 0,687    | 0,659    | 2,461    |
| <b>11</b>       | 0,515    | 0,493    | 0,486    | 0,467    | 2,173    |
| <b>12</b>       | 0,385    | 0,418    | 0,422    | 0,365    | 2,007    |

**Tabelle 30:** Messwerte der Hg-Abnahme im Wasser aus dem Neusiedlersee unter aeroben Bedingungen (24.7.15)

| <b>Zeit [h]</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>0</b>        | 3,874    | 3,973    | 4,044    | 3,919    | 3,719    |
| <b>1</b>        | 2,619    | 2,657    | 2,687    | 2,576    | 2,507    |
| <b>2</b>        | 2,137    | 2,096    | 2,120    | 2,059    | 2,038    |
| <b>3</b>        | 1,627    | 1,684    | 1,680    | 1,644    | 1,635    |
| <b>4</b>        | 1,502    | 1,462    | 1,739    | 1,326    | 1,386    |
| <b>5</b>        | 1,251    | 1,246    | 1,217    | 1,072    | 1,079    |
| <b>6</b>        | 1,065    | 0,988    | 0,982    | 0,921    | 0,889    |
| <b>7</b>        | 0,804    | 0,758    | 0,690    | 0,647    | 0,611    |
| <b>8</b>        | 0,594    | 0,573    | 0,500    | 0,473    | 0,493    |
| <b>9</b>        | 0,414    | 0,362    | 0,336    | 0,314    | 0,314    |
| <b>10</b>       | 0,350    | 0,302    | 0,294    | 0,267    | 0,300    |
| <b>11</b>       | 0,254    | 0,246    | 0,240    | 0,217    | 0,248    |
| <b>12</b>       | 0,208    | 0,221    | 0,217    | 0,203    | 0,212    |

**Tabelle 31:** Messwerte der Hg-Abnahme aus dem Neusiedlersee unter anaeroben Bedingungen (28.7.15)

| <b>Zeit [h]</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>0</b>        | 2,643    | 2,634    | 2,713    | 2,667    | 2,653    |
| <b>1</b>        | 1,922    | 1,653    | 1,620    | 1,550    | 1,193    |
| <b>2</b>        | 1,620    | 1,371    | 1,510    | 1,016    | 1,150    |
| <b>3</b>        | 1,246    | 1,133    | 0,942    | 1,051    | 1,001    |
| <b>4</b>        | 1,221    | 0,805    | 1,379    | 0,399    | 0,719    |
| <b>5</b>        | 1,332    | 1,132    | 1,233    | 1,398    | 1,383    |
| <b>6</b>        | 0,454    | 1,239    | 0,683    | 0,704    | 0,783    |
| <b>7</b>        | 0,667    | 0,697    | 0,815    | 1,226    | 0,608    |
| <b>8</b>        | 0,969    | 1,002    | 1,102    | 1,084    | 0,744    |
| <b>9</b>        | 0,707    | 0,848    | 0,764    | 0,744    | 0,894    |
| <b>10</b>       | 0,666    | 0,600    | 0,417    | 0,504    | 0,679    |
| <b>11</b>       | 0,753    | 0,752    | 0,727    | 0,559    | 0,554    |
| <b>12</b>       | 0,646    | 0,588    | 0,595    | 0,652    | 0,713    |

**Tabelle 32:** Messergebnisse des Hg-Austritts an die Luft ( $\mu\text{g total}$ ) aus Wasser des Neusiedlersees unter aeroben Bedingungen (20.7.15)

| <b>Zeit [h]</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>1</b>        | 0,0067   | 0,0056   | 0,0077   | 0,0090   | 0,0080   |
| <b>2</b>        | 0,0082   | 0,0063   | 0,0068   | 0,0074   | 0,0079   |
| <b>3</b>        | 0,0079   | 0,0072   | 0,0073   | 0,0081   | 0,0083   |
| <b>4</b>        | 0,0073   | 0,0068   | 0,0083   | 0,0089   | 0,0077   |
| <b>5</b>        | 0,0065   | 0,0049   | 0,0063   | 0,0074   | 0,0062   |
| <b>6</b>        | 0,0067   | 0,0045   | 0,0059   | 0,0062   | 0,0051   |
| <b>7</b>        | 0,0052   | 0,0035   | 0,0048   | 0,0047   | 0,0045   |
| <b>8</b>        | 0,0038   | 0,0028   | 0,0041   | 0,0038   | 0,0033   |
| <b>9</b>        | 0,0022   | 0,0019   | 0,0027   | 0,0026   | 0,0023   |
| <b>10</b>       | 0,0025   | 0,0018   | 0,0026   | 0,0026   | 0,0022   |
| <b>11</b>       | 0,0017   | 0,0013   | 0,0019   | 0,0018   | 0,0016   |
| <b>12</b>       | 0,0014   | 0,0012   | 0,0025   | 0,0023   | 0,0020   |

**Tabelle 33:** Ergebnisse der Hg-Bilanz in Wasser des Neusiedlersees unter aeroben Bedingungen (20.7.15)

|           | <i>Hg (Wasser [µg/L])</i> | <i>Hg (Luft) [µg/L]</i> | <i>Hg (Filter;1L) [µg]</i> |
|-----------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| <b>1a</b> | 0,1468                    | 0,005                   | 1,56                       |
| <b>1b</b> |                           |                         | 1,95                       |
| <b>2a</b> | 0,1456                    | 0,004                   | 1,75                       |
| <b>2b</b> |                           |                         | 1,65                       |
| <b>3a</b> | 0,1399                    | 0,0051                  | 1,45                       |
| <b>3b</b> |                           |                         | 1,97                       |
| <b>4a</b> | 0,1472                    | 0,0054                  | 1,56                       |
| <b>4b</b> |                           |                         | 1,73                       |
| <b>5a</b> | 0,1494                    | 0,0049                  | 1,52                       |
| <b>5b</b> |                           |                         | 1,77                       |

**Tabelle 34:** Messergebnisse des Hg-Austritts an die Luft aus Wasser des Neusiedlersees unter anaeroben Bedingungen (7.7.15)

| <i>Zeit [h]</i> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>1</b>        | 0,0038   | 0,0054   | 0,0040   | 0,0062   | 0,0060   |
| <b>2</b>        | 0,0050   | 0,0059   | 0,0044   | 0,0069   | 0,0054   |
| <b>3</b>        | 0,0030   | 0,0034   | 0,0026   | 0,0038   | 0,0029   |
| <b>4</b>        | 0,0019   | 0,0021   | 0,0016   | 0,0022   | 0,0016   |
| <b>5</b>        | 0,0012   | 0,0014   | 0,0011   | 0,0016   | 0,0013   |
| <b>6</b>        | 0,0009   | 0,0011   | 0,0008   | 0,0012   | 0,0010   |
| <b>7</b>        | 0,0007   | 0,0008   | 0,0006   | 0,0010   | 0,0009   |
| <b>8</b>        | 0,0007   | 0,0008   | 0,0006   | 0,0010   | 0,0009   |
| <b>9</b>        | 0,0007   | 0,0008   | 0,0006   | 0,0009   | 0,0009   |
| <b>10</b>       | 0,0007   | 0,0008   | 0,0006   | 0,0010   | 0,0009   |
| <b>11</b>       | 0,0006   | 0,0007   | 0,0005   | 0,0009   | 0,0008   |
| <b>12</b>       | 0,0005   | 0,0011   | 0,0010   | 0,0019   | 0,0017   |

**Tabelle 35:** Ergebnisse der Hg-Bilanz unter anaeroben Bedingungen (Neusiedlersee; 7.7.15)

|          | <i>Hg (Wasser [µg/L])</i> | <i>Hg (Luft) [µg/L]</i> | <i>Hg (Filter;4L) [µg]</i> |
|----------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| <b>1</b> | 0,8637                    | 0,02                    | 8,1477                     |
| <b>2</b> | 0,7806                    | 0,02                    | 3,0356                     |
| <b>3</b> | 0,8692                    | 0,02                    | 2,6443                     |
| <b>4</b> | 0,8351                    | 0,03                    | 2,7366                     |
| <b>5</b> | 0,6920                    | 0,02                    | 2,26972                    |

## 5.7 Lebenslauf

Name, Vorname: Christian Christiane

Geburtsdatum: 4.9.1990

Geburtsort: Mödling

### Ausbildung:

|                  |                                                     |
|------------------|-----------------------------------------------------|
| 1996 – 2000      | Volksschule Mannswörth                              |
| 2000 – 2008      | BG Boerhaavegasse, 1030 Wien                        |
| 2008 - 2012      | Bachelorstudium Chemie                              |
| Ab November 2012 | Masterstudium Chemie                                |
| Ab Februar 2014  | Lehramtsstudium Chemie und Ernährungswissenschaften |

### Bisherige Arbeitsverhältnisse:

|                            |                                                                                                              |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| August 2009                | Ferialbeschäftigung als Kanzleiassistentin                                                                   |
| Juli – September 2010      | Praktikum bei OMV Refining & Marketing<br>Schmierstoffe - Forschung und<br>Produktentwicklung                |
| Juli 2011 – September 2013 | Beschäftigung bei Christian Oberflächentechnik                                                               |
| Juli 2013                  | Imkereipraktikum am Bienenhof Mandl                                                                          |
| Oktober 2014 – Juli 2015   | Studentische Mitarbeiterin (Tutorin) der<br>Universität Wien/Fakultät Chemie (Anorganische<br>Schulversuche) |
| ab Oktober 2013            | Markenbotschafterin am Flughafen Wien                                                                        |

## 5.8 Danksagung

Ich möchte mich bei den folgenden Personen bedanken, da das Verfassen dieser Arbeit ohne sie nicht möglich gewesen wäre:

In erster Linie möchte ich meinem Betreuer Priv. Doz. Mag. Dr. Franz Jirsa für die Ermöglichung der Masterarbeit an sich danken. Die vielen Ideen und die konstruktive Kritik haben die praktische und theoretische Arbeit zu einer wertvollen Erfahrung gemacht. Außerdem möchte ich mich für das angenehme Arbeitsklima und die ansteckende Begeisterung für das Themengebiet bedanken.

Assoc. Prof. Dr. Thomas Hein (Wassercluster Lunz) möchte ich für die Bereitstellung der Mesokosmen danken, da ihr Einsatz sehr aufschlussreich für die weiteren Untersuchungen war.

Besonders möchte ich mich bei Christof Plessl bedanken, der mich nicht nur bei fast allen Probenahmen begleitet hat, sondern bei jeglichen praktischen und theoretischen Fragestellungen engagiert zur Stelle war. Weiters möchte ich mich bei meinen Kollegen Bernhard Eder, Nicolas Valiente, Daniel Stifter, Philipp Pirkwieser und Marko Klaic bedanken, die mir nicht nur bei den Probenahmen und der Arbeit im Labor eine große Hilfe waren, sondern auch den Alltag immer wieder verschönert haben.

Schlussendlich möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mir während des gesamten Studiums eine unglaubliche Stütze waren und immer an mich geglaubt haben.