

Quecksilberbelastung eines gefährdeten Seevogels

Mercury contamination of an endangered seabird

Justine Bertram

Zusammenfassung

Quecksilber ist ein toxisches Schwermetall, dessen Konzentration in der Umwelt durch menschliche Aktivität weiterhin ansteigt und das sich in Spitzenprädatoren anreichert. Wir (Flusseeeschwalbenprojekt, Institut für Vogelforschung) sammelten mehr als 1200 Blutproben von 588 Flusseeeschwalben (*Sterna hirundo*) über einen Zeitraum von sieben Jahren, um zu untersuchen, wie die Aufenthaltsdauer in ihrem Brutgebiet in Wilhelmshaven, ihr Alter und Geschlecht ihre Quecksilberlevel beeinflussen. Die Quecksilberkonzentrationen im Blut variierten stark und überschritten alle den Toxizitätsschwellenwert, oberhalb dessen in der Vergangenheit gesundheitsschädliche Effekte beobachtet wurden. Die Zeit, die die Flusseeeschwalben in ihrem Brutgebiet verbrachten, wirkte sich auf die Quecksilberkonzentrationen aus und deutet darauf hin, dass sie im Brutgebiet mehr Quecksilber aufnehmen als in ihren Überwinterungs- und Zuggebieten. Weiterhin beobachteten wir einen Trend zur linearen Akkumulation von Quecksilber im Blut bei Weibchen im Laufe des Alters, während Männchen Quecksilber in jungen Jahren erst schnell und mit steigendem Alter langsamer akkumulierten. Die Geschlechtsspezifität unserer Ergebnisse deutet darauf hin, dass die Eiablage eine erhebliche Rolle für die Quecksilberausscheidung bei Weibchen spielt, was weitere Studien zu den Folgen für die Fortpflanzung erforderlich macht.

Quecksilber, Akkumulation, Belastung, Langzeitstudie, Hg

Abstract

Mercury is a toxic heavy metal, the environmental presence of which continues to increase due to human activity, and which accumulates in top predators. We (common tern project, Institute of Avian Research) collected more than 1200 blood samples from 588 common terns (*Sterna hirundo*) over a period of seven years to investigate how the time spent in their breeding area in Wilhelmshaven, their age and sex affected their mercury levels. Blood mercury concentrations varied widely, but all exceeded the toxicity threshold above which adverse health effects have been observed in the past. The time the common terns spent in their breeding area had an effect on mercury concentrations, indicating that they ingest more mercury in the breeding area than in their wintering and migratory areas. Furthermore, we observed a trend towards linear accumulation of mercury in the blood of females with age, whereas males accumulated mercury more rapidly when young and more slowly with increasing age. The sex-specificity of our results suggests that egg-laying plays a significant role in mercury excretion in females, which calls for further studies on the consequences for the chicks developing from these eggs.

mercury, accumulation, contamination, longitudinal study, Hg

doi: 10.23766/NiPF.202401.10

Einleitung

Menschliche Aktivitäten haben in den letzten 100 Jahren zu einem Anstieg der Quecksilberwerte in der Umwelt um 300-500 % geführt (UN ENVIRONMENT, 2018). Der fortschreitende Klimawandel wird voraussichtlich diesen Trend weiter verstärken, insbesondere durch das Auftauen von Permafrostböden, die beträchtliche Mengen an Quecksilber speichern (SCHUSTER et al., 2018). Wenn Quecksilber in Gewässer gelangt, wird es durch Bakterien in seine toxischste Form, Methylquecksilber, umgewandelt, die mit der Nahrung aufgenommen und entlang der Nahrungskette angereichert wird (ATWELL et al., 1998). Insbesondere Spitzenprädatoren, die sich von aquatischen Organismen wie Fischen

ernähren, sind dem Risiko einer erhöhten Quecksilberaufnahme ausgesetzt (SCHEUHAMMER et al., 2007), wodurch Gesundheit und Reproduktion negativ beeinflusst werden können (WHITNEY & CRISTOL, 2017). So kann Quecksilber beispielsweise das Verhalten (TARTU et al., 2013, 2015; GOUTTE et al., 2015), die Immunabwehr (HAWLEY et al., 2009; LEWIS et al., 2013) oder die körperliche Verfassung (MA et al., 2018; AMENLINEAU et al., 2019; ECKBO et al., 2019; ADAMS et al., 2020) beeinträchtigen.

Weiterhin wird vermutet, dass sich Quecksilber bei kontinuierlicher Aufnahme im Laufe der Zeit im Organismus anreichern kann, wobei jedoch für Vögel aufgrund fehlender Longitudinaldaten noch unklar ist, ob eine solche Akkumulation tatsächlich



auftritt. Wir haben über einen Zeitraum von sieben Jahren mehr als 1200 Blutproben von Flusseeeschwalben, die Teil einer einzigartigen Langzeitstudie sind, auf ihre Quecksilberkonzentration untersucht. Aufgrund ihrer Langlebigkeit und der hauptsächlich aus Fisch bestehenden Nahrung sind Flusseeeschwalben einem erhöhten Risiko der Quecksilberakkumulation ausgesetzt. Wir haben untersucht, inwieweit die Blutquecksilberwerte der Flusseeeschwalben im Brutgebiet in Wilhelmshaven von ihrer Aufenthaltsdauer im Brutgebiet, ihrem Alter und Geschlecht abhängig sind.

Methoden

Die Flusseeeschwalbenkolonie

Unsere Studie fand in einer monspezifischen Flusseeeschwalbenkolonie am Banter See in Wilhelmshaven statt. Seit 1992 steht die Kolonie im Fokus einer Langzeitstudie, in der durch intensives Monitoring der Kolonie und umfangreiche Datenerfassung die individuelle Lebensgeschichte jedes einzelnen Vogels erfasst wird. Unser automatisches Erfassungssystem, basierend auf Transpondern und Antennen, ermöglicht es uns außerdem, die Ankunft und Präsenz jeder Flusseeeschwalbe im Brutgebiet zu erfassen. Weiterhin dokumentieren wir die Nestzugehörigkeit, den Legetag des ersten Eies sowie die Gelegegröße jedes Individuums.

Die Blutprobenentnahme

Beim Sammeln der Blutproben halfen uns nahrungsdeprivierte Mexikanische Raubwanzen (*Dipetalogaster maxima*; Abbildung 1; siehe auch BECKER et al., 2006). Dazu setzten wir ein bis zwei Wanzen in ein hohles Kunst-Ei, dessen Größe und Farbe einem echten Flusseeeschwalbenei entsprechen. Dieses „Wanzen-Ei“ legten wir in das Nest der zu beprobenden Flusseeeschwalbe. Sobald die Flusseeeschwalbe ihr Nest inkubiert, ist die Wanze in der Lage ihren Saugrüssel durch kleine Löcher am Rand des Eies zu stecken und der Flusseeeschwalbe Blut abzusaugen, ohne dass diese etwas davon bemerkt. Durch genaue Beobachtung stellten wir sicher, dass die Wanze ausschließlich das Blut unseres Zielvogels saugte. Nach 20 bis 30 Minuten konnten wir dann mit einer Spritze das Blut des Vogels aus dem Abdomen der Wanze absaugen. Diese Me-

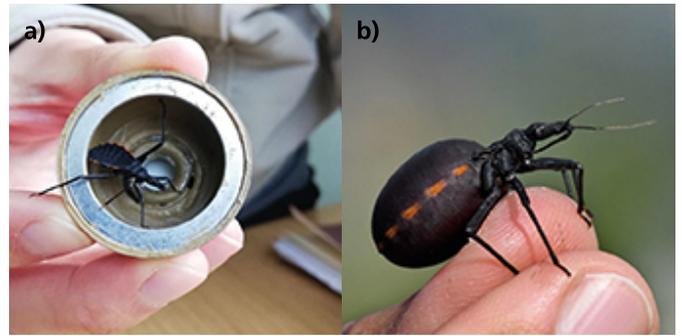


Abb. 1: a) eine hungrige Wanze im künstlichen Ei. Foto: Justine Bertram; b) eine mit Blut vollgesaugte Wanze. Foto: Uwe Franzen

thode ermöglichte es uns in den Jahren 2017 bis 2023 mehr als 1200 Blutproben von 588 Individuen zu sammeln und diese auf ihre Quecksilberkonzentration zu untersuchen. Das Blut reflektiert dabei eine Mischung aus dem im Brutgebiet aufgenommenem (MONTEIRO & FURNESS, 1995) und dem im Körper eingelagerten Quecksilber (EAGLES-SMITH et al., 2008; FROMANT et al., 2016).

Ergebnisse und Diskussion

Einfluss der Intervalle

Ankunft im Brutgebiet – Eiablage – Blutentnahme

Die Quecksilberkonzentrationen im Blut der Flusseeeschwalben variierten zwischen 0,29 und 3,90 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ und überschritten damit den Toxizitätsschwellenwert von 0,2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, bei welchem gesundheitsschädliche Auswirkungen beobachtet wurden (nach ACKERMAN et al., 2016). Zudem waren diese bei Männchen grundsätzlich höher als bei Weibchen. Dabei scheint unter anderem der Einfluss der Intervalle zwischen Ankunft im Brutgebiet, der Eiablage der Weibchen und der Blutentnahme eine wichtige Rolle zu spielen. Je länger sich Männchen vor der Blutabnahme im Brutgebiet aufhielten, desto höher war ihre Quecksilberkonzentration im Blut (Abbildung 2a und 2b). Dies könnte darauf hindeuten, dass eine längere Aufenthaltsdauer im Brutgebiet dazu führt, dass die Männchen einer höheren Aufnahme von Quecksilber über die Nahrung ausgesetzt sind als in ihren Jagd-

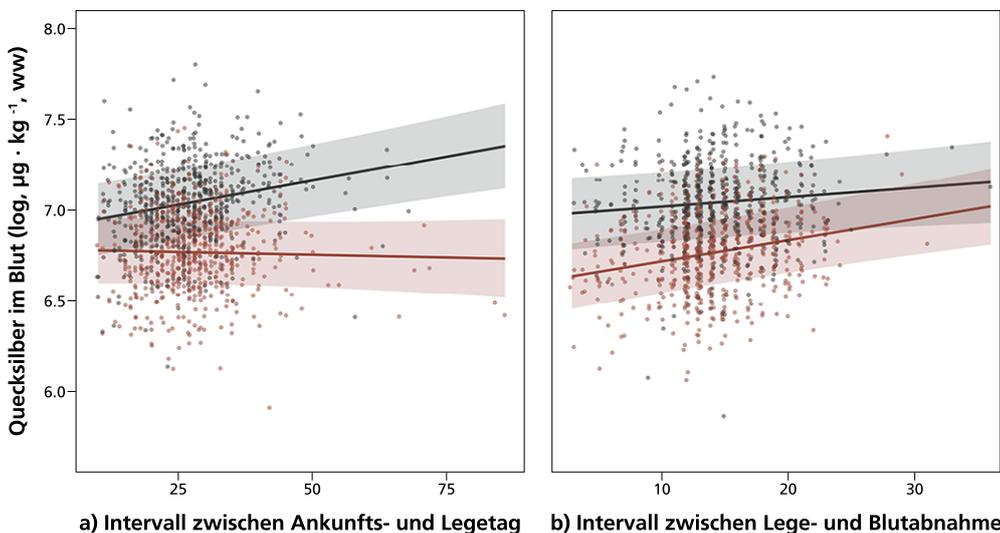


Abb. 2: Quecksilberkonzentration im Blut von männlichen (schwarz) und weiblichen (rot) Flusseeeschwalben in Abhängigkeit von ihrem (a) Intervall zwischen Ankunfts- und Legetag und (b) Intervall zwischen Lege- und Blutabnahme. Jeder Punkt stellt eine Blutprobe dar, die Linien die geschlechtsspezifischen linearen Regressionslinien, die schattierten Flächen die Konfidenzintervalle. Während die Quecksilberkonzentrationen bei den Männchen innerhalb beider Intervalle anstiegen, zeigte sich bei den Weibchen keine Auswirkung der Zeit vor dem Legetag des ersten Eies, jedoch führte ein längeres Intervall zwischen Lege- und Blutabnahmetag auch bei den Weibchen zu höheren Quecksilberkonzentrationen im Blut.

gebieten vor der Ankunft. Dies wird auch durch eine kürzlich publizierte Studie gestützt, die zeigt, dass die Quecksilberkonzentration in Fischen in der Nordsee in den letzten 25 Jahren erheblich angestiegen ist (KAMMANN et al., 2023). Bei Weibchen hingegen hatte das Intervall zwischen Ankunft im Brutgebiet und Eiablage einen anderen Effekt auf die gemessenen Blutquecksilberwerte als das Intervall zwischen Eiablage und Blutprobenentnahme. Während die Zeit, die sie vor der Eiablage am Banter See verbrachten, keinen Einfluss auf ihre Quecksilberwerte zu haben schien (Abbildung 2a), haben wir höhere Quecksilberwerte bei Weibchen gemessen, wenn der Zeitraum zwischen Eiablage und Blutabnahme länger war (Abbildung 2b). Dieser Unterschied zwischen den Geschlechtern könnte auf die Fähigkeit der Weibchen zurückzuführen sein, ihre Blutquecksilberkonzentration durch die Eiablage zu reduzieren (BOND & DIAMOND, 2009; ACKERMAN et al., 2020). Wenn eine längere Aufenthaltsdauer im Brutgebiet, aufgrund starker Umweltbelastung, tatsächlich zu höheren Quecksilberkonzentrationen im Blut führt, könnte die Eiablage zunächst einen Anstieg der Quecksilberkonzentrationen im Blut bei den Weibchen, nicht aber bei den Männchen ausgleichen. Nach Vollendung des Geleges würde dieser zusätzliche Ausscheidungsmechanismus jedoch wegfallen, was im Laufe der Zeit auch bei den Weibchen zu einem Anstieg der Quecksilberkonzentrationen führen würde.

Einfluss des Alters

Ältere Vögel waren im Allgemeinen stärker mit Quecksilber belastet als jüngere, was auf eine geschlechtsspezifische individuelle Anreicherung dieses Schadstoffs mit steigendem Alter zurückzuführen war (Abbildung 3). Während jüngere Männchen Quecksilber schneller akkumulierten als ältere, akkumulierten Weibchen Quecksilber generell langsamer und linear, was potentiell mit ihrer Fähigkeit Quecksilber durch die Eiablage auszuscheiden zusammenhängen könnte. Eine geschlechtsspezifische Quecksilberaufnahme durch die Nutzung unterschiedlicher Jagdgebiete (CARRAVIERI et al., 2014; MILITÃO et al., 2023) oder eine unterschiedliche Beutewahl (DE FELIPE et al., 2019), die zudem altersspezifisch sein könnte, sind allerdings alternative Erklärungen, die weiterer Untersuchungen bedürfen.

Fazit und Ausblick

Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass Flusseeeschwalben in ihrem Brutgebiet in Wilhelmshaven besonders hohen Quecksilberwerten ausgesetzt sind, die sie mit zunehmendem Alter akkumulieren, wobei die Weibchen einen beträchtlichen Teil des Quecksilbers in ihre Eier einlagern können. Inwiefern sich dies auf die Nachkommen auswirkt und ob sich die Flusseeeschwalbenpopulation an die Quecksilberkontamination anpassen kann, werden wir in den kommenden Jahren untersuchen.

Quellenverzeichnis

- ACKERMAN, J. T., EAGLES-SMITH, C. A., HERZOG, M. P., HARTMAN, C. A., PETERSON, S. H., EVERS, D. C., JACKSON, A. K., ELLIOTT, J. E., VAN DER POL, S. S. & BRYAN, C. E. (2016). Avian mercury exposure and toxicological risk across western North America: A synthesis. *Sci. Total Environ.* 568, 749–769. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.071>.
- ACKERMAN, J. T., HERZOG, M. P., EVERS, D. C., CRISTOL, D. A., KENOW, K. P., HEINZ, G. H., LAVOIE, R. A., BRASSO, R. L., MALLORY, M. L., PROVENCHER, J. F., BRAUNE, B. M., MATZ, A., SCHMUTZ, J. A., EAGLES-SMITH, C. A., SAVOY, L. J., MEYER, M. W. & HARTMAN, C. A. (2020). Synthesis of Maternal Transfer of Mercury in Birds: Implications for Altered Toxicity Risk. *Environ. Sci. Technol.* 54, 2878–2891. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06119>.
- ADAMS, E. M., WILLIAMS, K. A., OLSEN, B. J. & EVERS, D. C. (2020). Mercury exposure in migrating songbirds: correlations with physical condition. *Ecotoxicology*. 29, 1240–1253. <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02190-8>.
- AMELINEAU, F., GREMILLET, D., HARDING, A. M. A., WALKUSZ, W., CHOQUET, R. & FORT, J. (2019). Arctic climate change and pollution impact little auk foraging and fitness across a decade. *Sci. Rep.* 9, 1014. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38042-z>.
- ATWELL, L., HOBSON, K. A. & WELCH, H. E. (1998). Biomagnification and bioaccumulation of mercury in an Arctic marine food web: Insights from stable nitrogen isotope analysis. *Can. J. Fish.*

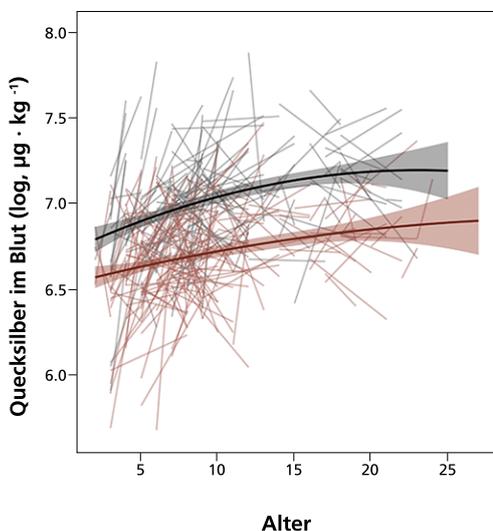


Abb. 3: Veränderung der Quecksilberkonzentration mit dem Alter, wobei die dünnen Linien die tatsächliche Veränderung individueller Quecksilberkonzentrationen über die Messjahre repräsentieren, und die fetten Linien die erwartete Veränderung der Quecksilberkonzentration im Laufe des Lebens für männliche (schwarz) und weibliche (rot) Flusseeeschwalben. Unabhängig vom Geschlecht hatten ältere Flusseeeschwalben grundsätzlich höhere Quecksilberkonzentrationen im Blut als jüngere, was auf eine geschlechtsspezifische Akkumulierung zurückzuführen war. Während sich bei jüngeren Männchen eine schnellere Quecksilberakkumulation im Vergleich zu älteren zeigte, verlief die Quecksilberakkumulation bei Weibchen langsamer und linear.

- Aquat. Sci. 55, 1114–1121. <https://doi.org/10.1139/f98-001>.
- BECKER, P. H., VOIGT, C. C., ARNOLD, J. M. & NAGEL, R. (2006). A non-invasive technique to bleed incubating birds without trapping: a blood-sucking bug in a hollow egg. *J. Ornithol.* 147, 115–118. <https://doi.org/10.1007/s10336-005-0027-3>.
- BOND, A. L. & DIAMOND, A. W. (2009). Total and Methyl Mercury Concentrations in Seabird Feathers and Eggs. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 56, 286–291. <https://doi.org/10.1007/s00244-008-9185-7>.
- CARRAVIERI, A., BUSTAMANTE, P., TARTU, S., MEILLÈRE, A., LABADIE, P., BUDZINSKI, H., PELUHET, L., BARBRAUD, C., WEIMERSKIRCH, H., CHASTEL, O. & CHEREL, Y. (2014). Wandering Albatrosses Document Latitudinal Variations in the Transfer of Persistent Organic Pollutants and Mercury to Southern Ocean Predators. *Environ. Sci. Technol.* 48, 14746–14755. <https://doi.org/10.1021/es504601m>.
- DE FELIPE, F. P., REYES-GONZÁLEZ, J. M., MILITÃO, T., NEVES, V. C., BRIED, J., ORO, D., RAMOS, R. & GONZALEZ-SOLIS, J. (2019). Does sexual segregation occur during the nonbreeding period? A comparative analysis in spatial and feeding ecology of three *Calonectris* shearwaters. *Ecol. Evol.* 9, 10145–10162. <https://doi.org/10.1002/ece3.5501>.
- EAGLES-SMITH, C. A., ACKERMAN, J. T., ADELSBACH, T. L., TAKEKAWA, J. Y., MILES, A. K. & KEISTER, R. A. (2008). Mercury correlations among six tissues for four waterbird species breeding in San Francisco Bay, California, USA. *Environ. Toxicol. Chem.* 27, 2136–2153. <https://doi.org/10.1897/08-038.1>.
- ECKBO, N., LE BOHEC, C., PLANAS-BIELSA, V., WARNER, N. A., SCHULL, Q., HERZKE, D., ZAHN, S., HAARR, A., GABRIELSEN, G. W. & BORGÅ, K. (2019). Individual variability in contaminants and physiological status in a resident Arctic seabird species. *Environ. Pollut.* 249, 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.025>.
- FROMANT, A., CARRAVIERI, A., BUSTAMANTE, P., LABADIE, P., BUDZINSKI, H., PELUHET, L., CHURLAUD, C., CHASTEL, O. & CHEREL, Y. (2016). Wide range of metallic and organic contaminants in various tissues of the Antarctic prion, a planktonophagous seabird from the Southern Ocean. *Sci. Total Environ.* 544, 754–764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.114>.
- GOUTTE, A., BARBRAUD, C., HERZKE, D., BUSTAMANTE, P., ANGELIER, F., TARTU, S., CLÉMENT-CHASTEL, C., MOE, B., BECH, C., GABRIELSEN, G. W., BUSTNES, J. O. & CHASTEL, O. (2015). Survival Rate and Breeding Outputs in a High Arctic Seabird Exposed to Legacy Persistent Organic Pollutants and Mercury. *Environ. Pollut.* 200, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.033>.
- HAWLEY, D. M., HALLINGER, K. K. & CRISTOL, D. A. (2009). Compromised immune competence in free-living tree swallows exposed to mercury. *Ecotoxicology* 18, 499–503. <https://doi.org/10.1007/s10646-009-0307-4>.
- KAMMANN, U., NOGUEIRA, P., SIEGMUND, M., SCHMIDT, N., SCHMOLKE, S., KIRCHGEORG, T., HASENBEIN, M. & WYSUJACK, K. (2023). Temporal trends of mercury levels in fish (dab, *Limanda limanda*) and sediment from the German Bight (North Sea) in the period 1995–2020. *Environ. Monit. Assess.* 195, 73. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10655-y>.
- LEWIS, C. A., CRISTOL, D. A., SWADDLE, J. P., VARIAN-RAMOS, C. W. & ZWOLLO, P. (2013). Decreased Immune Response in Zebra Finches Exposed to Sublethal Doses of Mercury. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 64, 327–336. <https://doi.org/10.1007/s00244-012-9830-z>.
- MA, Y., BRANFIREUN, B. A., HOBSON, K. A. & GUGLIELMO, C. G. (2018). Evidence of negative seasonal carry-over effects of breeding ground mercury exposure on survival of migratory songbirds. *J. Avian Biol.* 49, jav-01656. <https://doi.org/10.1111/jav.01656>.
- MILITÃO, T., KÜRTEEN, N. & BOUWHUIS, S. (2023). Sex-specific foraging behaviour in a long-lived seabird. *Mar. Biol.* 170, 132. <https://doi.org/10.1007/s00227-023-04280-7>.
- MONTEIRO, L. R. & FURNESS, R. W. (1995). Seabirds as monitors of mercury in the marine environment. *Water Air Soil Pollut.* 80, 851–870. <https://doi.org/10.1007/BF01189736>.
- SCHEUHAMMER, A. M., MEYER, M. W., SANDHEINRICH, M. B. & MURRAY, M. W. (2007). Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals, and fish. *Ambio* 36, 12–19. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[12:EOEMO-T\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[12:EOEMO-T]2.0.CO;2).
- SCHUSTER, P. F., SCHAEFER, K. M., AIKEN, G. R., ANTWEILER, R. C., DEWILD, J. F., GRZYEC, J. D., GUSMEROLI, A., HUGELIUS, G., JAFAROV, E., KRABBENHOFT, D. P., LIU, L., HERMAN-MERCER, N., MU, C., ROTH, D. A., SCHAEFER, T., STRIEGL, R. G., WICKLAND, K. P. & ZHANG, T. (2018). Permafrost Stores a Globally Significant Amount of Mercury. *Geophys. Res. Lett.* 45, 1463–1471. <https://doi.org/10.1002/2017GL075571>.
- TARTU, S., GOUTTE, A., BUSTAMANTE, P., ANGELIER, F., MOE, B., CLÉMENT-CHASTEL, C., BECH, C., GABRIELSEN, G. W., BUSTNES, J. O. & CHASTEL, O. (2013). To Breed or Not to Breed: Endocrine Response to Mercury Contamination by an Arctic Seabird. *Biol. Lett.* 9, 20130317. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2013.0317>.
- TARTU, S., ANGELIER, F., WINGFIELD, J. C., BUSTAMANTE, P., LABADIE, P., BUDZINSKI, H., WEIMERSKIRCH, H., BUSTNES, J. O. & CHASTEL, O. (2015). Corticosterone, prolactin and egg neglect behavior in relation to mercury and legacy POPs in a long-lived Antarctic bird. *Sci. Total Environ.* 505, 180–188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.008>.
- UN ENVIRONMENT PROGRAMME. Global Mercury Assessment 2018, 2019. <https://www.unep.org/resources/publication/globalmercury-assessment-2018>.
- WHITNEY, M. C. & CRISTOL, D. A. (2017). Impacts of Sublethal Mercury Exposure on Birds: A Detailed Review. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 244, 113–163. https://doi.org/10.1007/398_2017_4.

Kontakt

Justine Bertram, M.Sc.
 Institut für Vogelforschung „Vogelwarte Helgoland“
 An der Vogelwarte 21
 26386 Wilhelmshaven
justine.bertram@ifv-vogelwarte.de

