



Ergebnisse einer Expositionsanalyse zur gesundheitlichen Risikobewertung der Sedimentbelastung im Rummelsburger See

Michael Klein¹ (michael.klein@ime.fraunhofer.de), Katharina Blümlein² (katharina.bluemlein@item.fraunhofer.de), Stefan Hahn² (stefan.hahn@item.fraunhofer.de)

¹ Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME, Auf dem Aberg, 57392 Schmallenberg

² Fraunhofer Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin (ITEM), Nikolai-Fuchs-Straße 1, 30625 Hannover

Abstract

Der Rummelsburger See ist Teil eines ehemaligen Spreearmes. Er liegt im urbanen Bereich Berlins und wird zunehmend für Freizeitaktivitäten genutzt. Vor allem aufgrund der über Jahrhunderte andauernden intensiven industriellen Nutzung der angrenzenden Flächen bzw. der oberhalb gelegenen Industriestandorte an der Spree sind die Sedimente des Sees erheblich belastet.

Im Rahmen des Projektes wurden basierend auf den Sedimentbelastungen und Informationen zum Verteilungsverhalten der Substanzen (Sediment – Wasser – Luft) maximal zu erwartende Luftkonzentrationen abgeschätzt. Dabei wurden die Eingangsparameter so ausgewählt, dass von einer worst-case Betrachtung ausgegangen werden kann. Die resultierenden Ergebnisse sind unterhalb oder maximal in der gleichen Größenordnung wie bekannte Vorsorgewerte.

Diese Modellergebnisse wurden mit einem Screening auf ausgewählte Schadstoffe im Kompartiment Luft über und am See verifiziert. Die gemessenen Luftkonzentrationen lagen deutlich unterhalb der modellierten Werte. Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass nach gegenwärtigem Kenntnisstand die Sedimentbelastung des Rummelsburger Sees über den Expositionspfad Luft zu keiner zusätzlichen Gesundheitsgefährdung für Anwohner und Nutzer des Sees gegenüber der urbanen Hintergrundbelastung führt.

Einleitung

Der Rummelsburger See ist Teil eines ehemaligen Spreearmes. Er liegt im urbanen Bereich Berlins und wird zunehmend für Freizeitaktivitäten genutzt. Vor allem aufgrund der über Jahrhunderte andauernden intensiven industriellen Nutzung der angrenzenden Flächen bzw. der oberhalb gelegenen Industriestandorte an der Spree sind die Sedimente des Sees erheblich belastet. Zu nennen sind hier besonders die Belastung mit PAK (Polyzyklisch-aromatische Kohlenwasserstoffe), MKWs (Mineralölkohlenwasserstoffe) und Schwermetallen. Teilweise ist auch eine erhöhte Belastung mit PCBs (Polychlorierte Biphenyle) festzustellen. In den letzten Jahren wurden über Gewässeruntersuchungen und Forschungsprojekte wie „RuBuS“ (Bölscher et al 2017a) umfangreiche Informationen bezüglich der Belastung des Rummelsburger Sees und dessen Sedimenten erhoben.

Unklar ist bislang, ob sich die Sedimentbelastung auf die Luftqualität um den Rummelsburger See auswirkt und zu einer Gesundheitsgefährdung für den Menschen führt, zum Beispiel

für Personen mit Wohnsitz oder Arbeitsplatz in unmittelbarer Nähe des Sees oder bei Freizeitaktivitäten auf und um den Rummelsburger See.

Auf der Grundlage vorhandener Daten wurde in diesem Projekt für den Senat der Stadt Berlin (Hahn et al. 2018) in einem ersten Schritt mit Hilfe von geeigneten Modellen eine Expositionsabschätzung durchgeführt. Diese Modellierung sollte den ungünstigsten Fall abdecken und damit die maximal möglichen Konzentrationen der oben genannten Schadstoffe in der Luft darstellen. Diese Abschätzung wurde in einem zweiten Schritt mit einem gezielten analytischen Screening der Konzentrationen in der Luft über dem See verifiziert.

Ziel war eine stoff- und pfadspezifische Expositionsabschätzung für verschiedene Nutzungsarten. Schwerpunkt ist dabei die Betrachtung der inhalativen Exposition über den Transferpfad Sediment – Wasser – Luft. Für die gesundheitliche Risikobewertung wurde ein Vergleich mit aus der Literatur verfügbaren Vorsorgewerten vorgenommen.



Wichtige Daten zum Rummelsburger See

Folgende Informationen zur Dimension des Rummelsburger Sees liegen vor (Bölscher et al. 2017):

- Fläche: 494 000 m² (ca 1500 m * 330 m)
- Volumen: 1251060 m³
- Mittlere Tiefe: 2,5 m
- Maximale Tiefe: 4,8 m

Von folgenden maximalen Belastungen im Sediment (oberste Schicht) des Rummelsburger Sees muss ausgegangen werden:

- Die Konzentration des Summenparameters EPA-PAK liegt max. bei ca. 100 mg/kg TS.

- Die Konzentration der 7 ausgewählten PCB (Summenparameter) liegt bei max. < 1 mg/kg TS.
- Für die MKWs wurde die höchste Kontamination beobachtet. Diese liegt in der obersten Sedimentschicht im Bereich von 0,26 – 4,6 g/kg TS.

Ähnliche Kontaminationswerte wurden in der Regel auch in tieferen Schichten nachgewiesen. Teilweise steigen die Werte auf etwa das Doppelte, vereinzelt sogar darüber hinaus an.

Modellierung der Luftkonzentrationen

Für die Berechnung von Schadstoffkonzentrationen in der Luft über dem Rummelsburger See stehen verschiedene Modellansätze unterschiedlicher Komplexität zur Verfügung. Dabei ist es sinnvoll, mit möglichst einfachen Abschätzungsverfahren unter Berücksichtigung von worst-case Annahmen zu beginnen, und nur im Bedarfsfall genauere Berechnungen vorzunehmen. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, bereits mit geringem Aufwand belastbare Informationen zum Verhalten der Schadstoffe zu gewinnen und für eine Risikoanalyse verwenden zu können. Für den Fall, dass es auf Basis der einfachen Methodik relevante gesundheitlichen Auswirkungen prognostiziert, kann mit realistischeren Annahmen die Expositionsmodellierung verbessert und ggf. mit aktuellen Messdaten überprüft werden.

Luftkonzentrationen wurden mit zwei verschiedenen Modellen auf Basis von Sediment-Wasser-Luft-Verteilungsprozessen berechnet.

Das einfachere Modell stellt das 3-Phasen-Gleichgewicht Modell dar. Seine wesentlichen Eigenschaften sind:

- Verlagerung der Substanz aus dem Sediment ins Wasser und aus dem Wasser in die Luft o Eingangparameter: Sedimentkonzentration und Verteilungskoeffizient Sediment-Wasser und Verteilungskoeffizient Luft-Wasser
- Annahme von Gleichgewichtsbedingungen (Beschreibung des Endzustands, keine Dynamik)
- Kein Abbau der Substanz in Wasser und Sediment oder Transport mit der Strömung und dem Wind
- Einschätzung der Modellergebnisse
 - o worst case da basierend auf Gleichgewichtsannahmen

Das zweite Modell (Steady-State Modell) ist aufwendiger, wie die folgende Aufstellung zeigt:

- Verteilung der Substanz zwischen Sediment-Wasser-Luft unter Berücksichtigung der Dimensionen des Sees
- Berücksichtigung experimentell bestimmter Sedimentkonzentrationen
- Abbau der Substanz
- Transport der Substanz mit dem Wind
- Berücksichtigung von „Widerständen“; das heißt kein Gleichgewicht (aber: Beschreibung des Endzustands, keine Dynamik)

- Berücksichtigung des Eintragskompartiments
- Einschätzung der Modellergebnisse o realistisches Modell unter Berücksichtigung von worst case Annahmen

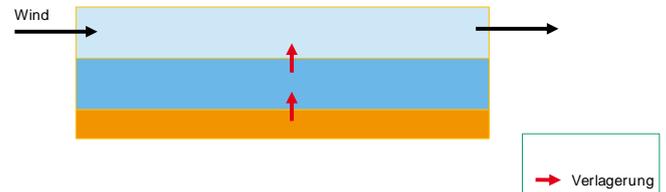


Abb. 1: Schematische Darstellung der verwendeten Modelle: 3-Phasen-Gleichgewicht Modell und Steady-State-Modell. Die Berücksichtigung des Transports von Stoffen in der Luft oberhalb des Sees (schwarze Pfeile) erfolgt nur bei dem Steady State Modell.

Als wichtigen Eingabeparameter erwarten beide Modelle Sedimentkonzentrationen. Es wird davon ausgegangen, dass Sedimentschichten unterhalb von 3 cm nur zu einem vernachlässigbaren Anteil für Schadstoffkonzentration in Wasser und Luft verantwortlich sind, da diese nicht direkt mit dem Wasserkörper in Kontakt stehen und nur nach Diffusion in die oberste Sedimentschicht zur Wasserkonzentration beitragen. Für eine konservative Abschätzung wurden jeweils die höchsten gemessenen Konzentrationen für die gesamte Sedimentfläche angenommen. Dabei liegen für die PAK und PCB Werte für die Einzelsubstanzen vor. Für die MKWs liegen nur Summenbelastungen des Sediments vor. Unter der Annahme, dass die gesamte MKW Belastung sich wie Tetradecan verhält, wurde eine ähnliche Abschätzung wie für PAK und PCB vorgenommen werden.

Als Parameter für die Verteilung Sediment-Wasser wird üblicherweise der Verteilungskoeffizient K_d , auch oft als $K_{p, sed}$ bezeichnet, herangezogen. Literaturdaten für die Schadstoffe PAK, PCB und MKW schwanken in Abhängigkeit der Bodenart und Art des organischen Kohlenstoffs sowie des Alters der Kontamination und der Wechselwirkungen mit der Boden- oder Sedimentmatrix um bis zu drei Größenordnungen. Für die Modellierung wurden möglichst niedrige Adsorptionswerte ausgewählt, um den höchsten möglichen Transfer abzubilden.

Für die Verteilung Wasser-Luft kann die Henry Flüchtigkeitskonstante herangezogen werden. Auch hier wurden aus den zur Verfügung stehenden Literaturdaten möglichst für die Verteilung konservative Werte ausgewählt, wodurch die Transferrate und damit die Luftkonzentration eher überschätzt als unterschätzt wurde.

In Tabelle 1 sind die berechneten Konzentrationen in der Luft für beide Modelle (3 Phasen Gleichgewichtsmodell, Steady-State Modell) dargestellt.

Tabelle 1: Berechnete Schadstoffkonzentrationen in der Luft auf Basis beider Verfahren

Substanz	3-Phasen-Gleichgewicht [mg/m ³]	Steady State Modell [mg/m ³]
Naphthalin	1,12E-01	5,04E-03
Acenaphthylen	1,53E-02	1,10E-03
Acenaphthen	6,55E-03	4,50E-04
Fluoren	4,02E-03	6,91E-04
Anthracen	8,23E-04	1,57E-04
Phenanthren	2,54E-03	5,00E-04
Fluoranthen	4,32E-04	8,40E-05
Pyren	7,68E-04	3,07E-04
Chrysen	3,00E-06	1,00E-06
Benz(a)anthracen	2,51E-05	7,73E-06
Benzo(a)pyren	8,39E-07	2,50E-07
Benzo(b)fluoranthen	1,76E-06	5,20E-07
Benzo(k)fluoranthen	5,22E-07	1,56E-07
Benzo(g,h,i)perylen	4,12E-07	1,16E-07
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2,57E-07	6,68E-08
Dibenzo(a,h)anthracen	3,99E-08	1,03E-08
Decan	1,99E+04	8,69E+00
Dodecan	3,54E+03	2,66E+00
Tetradecan	6,14E+02	8,06E-01
Hexadecan	1,04E+02	2,43E-01
Docosan	2,02E+00	2,10E-02
PCB 28	6,00E-05	1,33E-05
PCB 52	1,57E-05	3,48E-06
PCB 101	7,19E-06	2,76E-06
PCB 138	2,01E-06	1,41E-06
PCB 153	2,70E-06	1,86E-06
PCB 180	5,26E-07	4,09E-07
PCB 118	4,60E-06	7,60E-07

Wie erwartet werden mit dem 3-Phasen Gleichgewichtsmodell erheblich konservativere Werte berechnet als mit dem Steady State Modell, welches die Seedimensionen berücksichtigt. Die Ergebnisse des konservativeren Gleichgewichts-Modells können als oberste Grenze für mögliche Wasserkonzentrationen im See verstanden werden, die Ergebnisse aus dem Steady State Modell als realistischere Werte. Insgesamt ist von einer Tendenz zur Überschätzung auszugehen, weil die maximal gemessenen Sedimentkonzentrationen (RubuS Projekt) als Grundlage für die Berechnungen herangezogen wurden.

Die Unsicherheitsanalyse der Modellierung unter Berücksichtigung des Vergleichs der modellierten Werte mit gemessenen Wasserqualitätsdaten und Biomonitoring-Daten bestätigt, dass es sich aufgrund der ausgewählten Eingangsparameter [höchste Belastung im Sediment, niedriger Verteilungskoeffizient Sediment-Wasser ($K_{p, \text{sed}}$), hoher Verteilungskoeffizient Luft-Wasser (K_{aw})] bei der vorliegenden

Modellierung der möglichen maximalen Wasser- und Luftkonzentrationen um eine konservative Abschätzung handelt. Im Vergleich dazu muss von noch höheren Unsicherheiten bei der Abschätzung der Schadstoffgehalte in Biota ausgegangen werden.

Screening (Monitoring) der Luftkonzentrationen

Zur Verifizierung der Modellergebnisse wurde ein Screening auf ausgewählte Schadstoffe im Kompartiment Luft über und am See durchgeführt.

Die Messungen wurden im Hochsommer 2018 während einer mehrwöchigen Heißwetterphase bei Lufttemperaturen von 25 bis 33 °C im Nord-/Nord-West-Bereich des Sees (Hot-spot der Sedimentbelastung) durchgeführt. Die gemessenen Luftkonzentrationen lagen deutlich unterhalb der modellierten Werte. Exemplarisch sind die Ergebnisse für ausgewählte PAK (Summenparameter) und Naphthalin in der Abbildung 2 dargestellt.

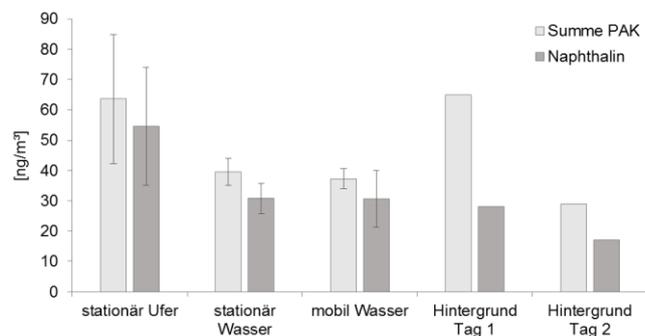


Abb. 2: PAK- und Naphthalin-Konzentrationen in der Luft (Summe partikelgebunden und gasförmig) an den angegebenen Probenahmepunkten. Die Summe der PAK umfasst Naphthalin, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren und Fluoranthen (Die PAK Acenaphthylen, Anthracen, Pyren und Benzo[a]pyren waren in den Proben nicht detektierbar.). Angegeben sind jeweils die Mittelwerte über die Probenahmetage; die Fehlerbalken stellen die Standardabweichung der Messwerte dar.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass kein markanter Unterschied zwischen einem beprobten Hintergrundstandort und der Umgebungsluft in unmittelbarer Nähe des Rummelsburger Sees hinsichtlich der Konzentration der ausgewählten PAK vorliegt. Selbiges wurde für die untersuchten gesättigter KWs und untersuchten Aromaten festgestellt (Hahn et al 2018). Die Annahme einer im Vergleich zum Hintergrund erhöhten inhalativen Belastung aufgrund der Sediment-Kontamination im Rummelsburger See erweist sich daher als nicht plausibel.

Abschätzung der Exposition des Menschen

Eine Exposition des Menschen ausgehend von der Sedimentbelastung könnte theoretisch beim Aufenthalt in der Nähe des Sees und bei der Nutzung des Sees (Freizeitaktivitäten) möglich sein. Dazu zählen die inhalative Aufnahme der Schadstoffe über die Luft zum Beispiel in einem Hausboot, am Ufer, beim Segeln, Surfen oder Tretbootfahren sowie beim Schwimmen und Angeln.

Geht man nun davon aus, dass die abgeschätzten maximalen Luftkonzentrationen über der Seeoberfläche die maximal möglichen Innenraumkonzentrationen, z.B. in einem Hausboot, darstellen, lassen sich die Modellergebnisse mit den Vorsorgewerten aus der Innenraumkommission vergleichen (Tabelle 2). Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Vorsorge-richtwert die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft beschreibt, bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist. Die Verwendung dieser Richtwerte führt zu einer konservativen Bewertung. Die Innenraumrichtwerte werden hier nur herangezogen, um die Relevanz der modellierten Exposition abzuschätzen und zu klären, ob eine detailliertere Bewertung vorzunehmen ist. Dies bedeutet nicht, dass Innenraumrichtwerte grundsätzlich als Richtwerte für die Belastung durch Luftkonzentrationen im Außenbereich gültig sind.

Bezüglich der inhalativen Exposition ist für höhermolekulare PAK und PCB basierend auf diesen Berechnungen von keiner Gesundheitsgefährdung auszugehen. Die Vorsorgewerte werden deutlich unterschritten. Für niedermolekulare PAK wie Naphthalin und naphthalinähnliche Verbindungen werden höhere Expositionswerte abgeschätzt, die aber immer noch unterhalb des Vorsorgewertes liegen. Für die MKWs liegen nur Summenbelastungen des Sediments vor. Unter der Annahme, dass die gesamte MKW Belastung sich wie Tetradecan verhält, kann eine ähnliche Abschätzung wie für PAK und PCB vorgenommen werden. Die resultierenden Ergebnisse sind in der gleichen Größenordnung wie bekannte Vorsorgewerte. Wie das analytische Screening aufzeigt, sind die abgeschätzten Werte aber deutlich höher als die real gemessenen Luftkonzentrationen. Insgesamt können damit gesundheitlich relevante Konzentrationen ausgeschlossen werden.

Tabelle 2: Vorsorgewerte für PAK, PCB und MKW im Vergleich zu den modellierten Werten

Substanz (gruppe)	Vorsorgewert	3-Phasen GG	Steady-State
MKW (Leit-substanz Tetradecan)	0,2 mg/m ³ 6 mg/m ³ (NIK Wert)	614 mg/m ³	0,8 mg/m ³
Naphthalin	10 µg/m ³	112 µg/m ³	5 µg/m ³
Benzo(a)pyren	1 ng/m ³ *	0,84 ng/m ³	0,25 ng/m ³
ΣPCB28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153 und PCB180	300 ng/m ³	93 ng/m ³	24 ng/m ³
PCB 118	10 ng/m ³ **	4,6 ng/m ³	0,76 ng/m ³

* Zielwert nach Bundesimmissionschutzgesetz;

** Als Leitsubstanz (Prüfwert) für 5 pg PCB-TEQ/m³

Aus diesen modellierten maximalen Luftkonzentrationen kann nun auch eine maximale tägliche Dosis abgeschätzt werden. Für die Berechnung der täglichen Dosis wird dabei von einer

im regulatorischen Bereich akzeptierten mittleren Atemfrequenz von 16 m³/d für einen Erwachsenen (60 kg Körpergewicht) und 12 m³/d für ein Kind (23,9 kg Körpergewicht) ausgegangen. Weitere potentielle Aufnahmepfade wären durch die Haut beim Schwimmen oder durch Verschlucken des kontaminierten Wassers. Nähere Informationen zur Berechnung der maximalen täglichen Dosis und dem Vergleich mit Grenzwerten können dem Projektbericht entnommen werden (Hahn et al 2018). Die Untersuchung einer möglichen Geruchsbelastung war nicht Gegenstand des Projektes. Auch wenn von keinen gesundheitlich relevanten Dosen ausgegangen werden kann, kann ein subjektives Geruchsempfinden zu einem Unwohlsein beitragen.

Fazit

Im Rahmen des Projektes wurden basierend auf den Sedimentbelastungen und Informationen zum Verteilungsverhalten der Substanzen (Sediment – Wasser – Luft) maximal zu erwartende Luftkonzentrationen abgeschätzt. Dabei wurden die Eingangsparameter so ausgewählt, dass von einer worst-case Betrachtung ausgegangen werden kann. Die resultierenden Ergebnisse sind unterhalb oder maximal in der gleichen Größenordnung wie bekannte Vorsorgewerte.

Diese Modellergebnisse wurden mit einem Screening auf ausgewählte Schadstoffe im Kompartiment Luft über und am See verifiziert. Die gemessenen Luftkonzentrationen lagen deutlich unterhalb der modellierten Werte. Zusammenfassend ist nach gegenwärtigem Kenntnisstand davon auszugehen, dass die Sedimentbelastung des Rummelsburger Sees gegenüber der urbanen Hintergrundbelastung zu keiner zusätzlichen Gesundheitsgefährdung für Anwohner und Nutzer des Sees führt.

Referenzen

- Bölscher J, Dumm M, Suthfeldt R, Vogt B, Bölscher J, Terytze K, Schulte A (2017): Dynamik, Schadstoffbelastung und Ökotoxizität der Sedimente in der Rummelsburger Bucht – Berliner Spree. Unveröffentlichte Rohdaten des Forschungsprojektes RuBuS. Projektnummer 11429 UEP II/2. Freie Universität Berlin
- EC (2011): VERORDNUNG (EU) Nr. 1259/2011 DER KOMMISSION vom 2. Dezember 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte für Dioxine, dioxin-ähnliche PCB und nicht dioxinähnliche PCB in Lebensmitteln. Abl L320 vom 3.12.2011
- Hahn, S., Blümlein, K., Klein, M. (2018): Expositionsanalyse zur gesundheitlichen Risikobewertung der Sedimentbelastung im Rummelsburger See.

Weitere Informationen

Expositionsanalyse zur gesundheitlichen Risikobewertung der Sedimentbelastung im Rummelsburger See.

https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/wasser/rummelsburger_see/

Korrespondenzadresse

Michael Klein
Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME
Auf dem Aberg
57392 Schmallenberg
Telefon: 02972 302 317
michael.klein@ime.fraunhofer.de