

Report

# **Expositionsanalyse zur gesundheitlichen Risikobewertung der Sedimentbelastung im Rummelsburger See**

## **Kurzfassung**

Dr. Stefan Hahn, Dr. Katharina Blümlein  
Fraunhofer Institut für Toxikologie und  
Experimentelle Medizin (ITEM)  
Nikolai-Fuchs-Straße 1,  
D-30625 Hannover, Deutschland

Dr. Michael Klein  
Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie  
und Angewandte Oekologie IME  
Auf dem Aberg 1  
57392 Schmallenberg  
Deutschland

**Date: April 2019**

## 1 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 wird deshalb in diesem Projekt in einem ersten Schritt mit Hilfe von geeigneten Modellen eine Expositionsabschätzung durchgeführt. Diese Modellierung soll den ungünstigsten Fall abdecken und damit die maximal möglichen Konzentrationen der oben genannten Schadstoffe in der Luft darstellen. Diese Abschätzung wird in einem zweiten Schritt mit einem gezielten analytischen Screening der Konzentrationen in der Luft über dem See verifiziert.

Ziel ist eine stoff- und pfadspezifische Expositionsabschätzung für verschiedene Nutzungsarten. Schwerpunkt ist dabei die Betrachtung der inhalativen Exposition über den Transferpfad Sediment – Wasser – Luft. Ergänzend werden andere mögliche Expositionen wie z.B. der dermale Kontakt über die Wasserphase abgeschätzt. Für die gesundheitliche Risikobewertung wird ein Vergleich mit aus der Literatur verfügbaren Vorsorgewerten vorgenommen. Die Untersuchung einer möglichen Geruchsbelästigung ist nicht Gegenstand des Projektes.

## 2 Daten zum Rummelsburger Sees

Neben allgemeinen Daten zum See wie Größe, Fläche, Wind- und Fließgeschwindigkeiten, liegen aus dem RuBuS Projekt unter anderem Daten zu PAK, PCB und MKW im Sediment des Rummelsburger Sees vor.

Aus diesen Daten ergeben sich folgende maximale Belastungen der obersten Sedimentschicht (0-3 cm):

- Die Konzentration des Summenparameters EPA-PAK<sup>1</sup> liegt max. bei ca. 100 mg/kg TS<sup>2</sup>.
- 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. Neben den Daten aus dem RuBuS Projekt liegen auch Daten aus dem Oberflächengewässer-Monitoring

---

<sup>1</sup> EPA-PAK: 16 von der US-EPA ausgewählte polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

<sup>2</sup> TS = Trockensubstanz

der Senatsverwaltung zu Kontaminationen des Wasserkörpers vor. Des Weiteren ist der Rummelsburger See auch Teil des Biomonitoring-Programms von Fischen in Berliner Gewässern, das durch das Berliner Fischereiamt durchgeführt wird.

### 3 Modellierung der Luftkonzentrationen

Für die Berechnung von Schadstoffkonzentrationen in der Luft über dem Rummelsburger See stehen verschiedene Modellansätze unterschiedlicher Komplexität zur Verfügung. Begonnen wird mit möglichst einfachen Abschätzungsverfahren unter Berücksichtigung von Worst-case-Annahmen. Mit steigender Komplexität reduziert sich der Grad der Konservativität des Modells. 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 zu relevanten gesundheitlichen Auswirkungen bei der Risikoanalyse kommt, kann mit realistischeren Annahmen die Expositionsmodellierung verbessert und ggf. mit aktuellen Messdaten überprüft werden.

Die Berechnung wurde auf die bekannten Hauptkontaminanten der Sedimentbelastung des Rummelsburger Sees beschränkt, d.h. PAK, MKW sowie PCB. Für die Schwermetalle sowie die innerhalb des RuBUS Projektes ebenfalls untersuchten Organozinnverbindungen wurden keine maximalen Luftkonzentrationen berechnet. Für diese Substanzgruppen gibt es keine genauen Angaben darüber, in welchen chemischen Verbindungen sie vorliegen. Eine Abschätzung des Verteilungsverhaltens und der Exposition ist dadurch schwierig und sehr unzuverlässig. Gerade für Schwermetalle sind aber aufgrund der Schwerflüchtigkeit keine nennenswerten Konzentrationen in der Luft zu erwarten. Für Organozinnverbindungen wie TBT-hydroxid kann nach einer überschlägigen Abschätzung von maximalen Luftkonzentrationen deutlich (Faktor 10-100) unterhalb der PAK ausgegangen werden.

Luftkonzentrationen wurden mit zwei verschiedenen Modellen berechnet. Diese Modelle beruhen auf Sediment-Wasser-Luft-Verteilungsprozessen.

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

- Verlagerung der Substanz aus dem Sediment ins Wasser und aus dem Wasser in die Luft
  - Eingangparameter: Sedimentkonzentration + Verteilungskoeffizient Sediment-Wasser + 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
  - worst case da basierend auf Gleichgewichtsannahmen

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

- Verteilung der Substanz im See unter Berücksichtigung der Gewässergeometrie
- Berücksichtigung experimenteller 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
  - realistisches Modell unter Berücksichtigung von worst case Annahmen

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 Schicht 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, kann 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 Kontaminanten 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 möglichst ungünstige Literaturdaten ausgewählt, wodurch sie eher die Transferrate und damit die Luftkonzentration überschätzen als unterschätzen.

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

Wie erwartet werden mit dem 3-Phasen Gleichgewichtsmodell erheblich konservativere Werte berechnet als mit dem Steady State Modell unter Berücksichtigung der Sedimentdimensionen. 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 mit einer Tendenz zur Überschätzung. Insgesamt ist von einer Tendenz zur Überschätzung auszugehen, weil die maximalen Sedimentkonzentrationen aus dem 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, hoher Verteilungskoeffizient Luft-Wasser 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.

*Berechnete Schadstoffkonzentrationen in der Luft auf Basis beider Verfahren*

<b>Substanz</b>	<b>3-Phasen-Gleichgewicht [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Steady State Modell [mg/m<sup>3</sup>]</b>
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)perylene	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

## 4 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 (Hotspot der Sedimentbelastung) durchgeführt. Die gemessenen Luftkonzentrationen lagen deutlich unterhalb der modellierten Werte.

Darüber hinaus zeigte das Screening, dass kein eindeutiger Unterschied zwischen einem beprobten Hintergrundstandort und der Umgebungsluft in unmittelbarer Nähe des Rummelsburger Sees hinsichtlich der Konzentration der ausgewählten PAK, gesättigter KWs und der untersuchten Aromaten vorlag. Die Annahme einer im Vergleich zum Hintergrund erhöhten inhalativen Belastung aufgrund der Sediment-Kontamination im Rummelsburger See erweist sich daher als nicht plausibel.

## 5 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. Für die Berechnung der täglichen Dosis wird von einer im regulatorischen Bereich akzeptierten mittleren Atemfrequenz von 16 m<sup>3</sup>/d für einen Erwachsenen (60 kg Körpergewicht) und 12 m<sup>3</sup>/d für ein Kind (23,9 kg Körpergewicht) ausgegangen. 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. Da es sich um konservativ abgeschätzte Werte handelt, können damit gesundheitlich relevante Konzentrationen ausgeschlossen werden. 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.

Die Gefährdungsabschätzung wurde bezüglich der dermalen Aufnahme der Substanzen zum Beispiel beim Schwimmen über Hautkontakt mit dem Wasser und die orale Aufnahme beim Verschlucken ergänzt. Dabei wurde angenommen, dass eine Person pro Tag mit einer Schichtdicke von 0,1 cm des Wassers in Kontakt ist und pro Tag 50 ml Wasser verschluckt. Die Ergebnisse liegen dabei sowohl für die PCB als auch für die PAK unterhalb gesundheitlich relevanter Dosen.

Wie die Modellierung zu Biota aufzeigt, reichern sich die bioakkumulierenden Stoffe wie PCB in (fettreichen) Fischen an. Vergleicht man die Monitoring-Daten mit den erlaubten Höchstgehalten in Lebensmitteln (EC 2011), so werden diese in Aalen für dioxinähnliche (dl) PCB (PCB118) nicht überschritten, bei den nicht dioxinähnlichen (ndl) PCB (Summe aus PCB28, PCB52, PCB101,

PCB138, PCB153 und PCB180) aber um den Faktor 2 überschritten. Bei den untersuchten fettarmen Fischen (Brassen) wurden keine Überschreitungen der Höchstmengen festgestellt. Ohne eine detaillierte Betrachtung kann keine differenzierte Aussage darüber getroffen werden, welche Schlussfolgerungen aus der Überschreitung der ndI-PCB zu ziehen sind und ob beim gelegentlichen Verzehr von Aalen, die im Rummelsburger See geangelt wurden, ein relevantes gesundheitliches Risiko besteht. Es wird empfohlen dazu weitergehende Betrachtungen durchzuführen.

Die Untersuchung einer möglichen Geruchsbelästigung war nicht Gegenstand des Projektes. Auch wenn von keinen gesundheitlich relevanten Dosen ausgegangen werden kann, kann ein subjektives Geruchsempfinden zu einem Unwohlsein beitragen.

## **6 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. Der Vergleich mit Wasserqualitätsdaten sowie den Biomonitoring-Daten unterstreicht diese Annahme. 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.

## **7 Referenzen**

Bölscher J, Dumm M, Suthfeldt R, Vogt B, Bölscher J, Terytze K, Schulte A (2017a) 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, dioxinähnliche PCB und nicht dioxinähnliche PCB in Lebensmitteln. Abl L320 vom 3.12.2011.