



Zur Erfassung von Langzeit-Auswirkungen von PBT and vPvB Stoffen im Rahmen der sozio-ökonomischen Analysen in REACH

Silke Gabbert (Korrespondenzautorin, silke.gabbert@wur.nl), Monika Nendza (Nendza@al-luhnstedt.de), Hans-Christian Stolzenberg (Hans-Ch.Stolzenberg@uba.de)

Abstract

Die Autorisierung von PBT und vPvB Stoffen unter REACH erfordert eine sozio-ökonomische Analyse, die zeigt, dass die positiven Auswirkungen einer Weiterverwendung des Stoffes die negativen Auswirkungen überwiegen. Eine wesentliche Voraussetzung für eine sachgerechte sozio-ökonomische Analyse von PBT/vPvB Stoffen ist die Bewertung ihrer langfristig zu erwartenden Umweltbelastungen. Der Multimedia Stock Pollution Ansatz erlaubt eine Abschätzung des Zeitverlaufs der Anreicherung eines Stoffes in verschiedenen Umweltmedien. Darüber hinaus können die am stärksten betroffenen Umweltmedien identifiziert werden. Wir zeigen anhand des Fallbeispiels Anthracen wie der Ansatz angewendet werden kann und wie Ergebnisse – z.B. im Rahmen einer sozio-ökonomischen Analyse – interpretiert werden können.

Einleitung

Die Anreicherung persistenter Chemikalien in der Umwelt kann zahlreiche negative Wirkungen nach sich ziehen [1-3]. Stoffe die persistent, bioakkumulativ und toxisch (PBT Stoffe) oder sehr persistent und sehr bioakkumulativ (vPvB Stoffe) sind, gelten innerhalb der Europäischen Chemikaliengesetzgebung REACH [4] als besonders besorgniserregend (substances of very high concern, SVHC). In REACH sind derzeit 168 Chemikalien SVHC, davon 24 Stoffe entweder PBT oder vPvB, siehe: <http://echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-table>.

Bestimmte SVHC, wie PBT und vPvB Stoffe, dürfen nach Ablauf einer Frist nur dann weiter hergestellt und verwendet werden, wenn ein Produzent oder Vermarkter mit Hilfe einer sozio-ökonomischen Analyse zeigen kann, dass der volkswirtschaftliche Nutzen der Weiterverwendung die Kosten überwiegt ([4] Art. 55-57, s. auch [5] für eine detaillierte Beschreibung des REACH Autorisierungsverfahrens). Derzeit stehen 31 SVHC auf einer Autorisierungsliste in REACH Annex XIV. Zwei Stoffe sind PBT oder vPvB (Moschusxylool und Hexabromcyclododecan).

Grundsätzlich reichern sich (pseudo-)persistente Stoffe in Umweltmedien und Organismen an, solange die Einträge den Abbau übersteigen. Die Erfassung der zu erwartenden langfristigen Konzentrationen in der Umwelt ist sowohl innerhalb als auch außerhalb von REACH essentiell für eine Beurteilung von volkswirtschaftlichen Nutzen und Kosten der Weiterverwendung oder Nicht-Verwendung (pseudo-)persistenter Chemikalien. Die momentane Ausgestaltung der sozio-ökonomischen Analyse im REACH-Autorisierungsverfahren bietet hierzu keine konzeptionellen und methodischen Anleitungen oder Vorgaben [6]. Ziel dieses Artikels ist es, eine mögliche Herangehensweise an diese Problematik aufzuzeigen.

In den folgenden Abschnitten stellen wir den Multimedia Stock Pollution Ansatz vor, der es ermöglicht, die kurz-, mittel- und langfristigen Konzentrationen von PBT/vPvB Stoffen in verschiedenen Umweltmedien einzuschätzen. Für ein definiertes Emissions-Szenario erlaubt dieser Ansatz Rückschlüsse darauf (i) in welchen Medien sich ein PBT/vPvB Stoff anreichern wird, (ii) in welchen Medien die erwartete Konzentration am größten sein wird, (iii) wie der Zeitverlauf der Konzentrationen in Abhängigkeit von Medium-spezifischen Abbauraten aussehen wird. Ziel ist nicht die detailgenaue Berechnung der zu erwartenden Umweltkonzentrationen in verschiedenen Medien, sondern eine Einschätzung des Zeithorizontes, der für eine Bewertung von Umweltbelastungen im Rahmen sozio-ökonomischer Analysen zugrunde gelegt werden sollte. Der Multimedia Stock Pollution Ansatz ist dabei eine von mehreren möglichen Herangehensweisen.

Der Multimedia Stock Pollution Ansatz

Der Zusammenhang zwischen der Änderung der Konzentration im Zeitverlauf und der Zerfalls- bzw. Abbaurates eines Stoffes lässt sich mit Hilfe einer Differentialgleichung darstellen, die in verschiedenen Disziplinen (Radiophysik [7], Pharmakologie, z.B. [8], Umweltökonomie, z.B. [9, 10]) angewendet wird:

$$\dot{P}_t = x_t - \delta P_t \quad (1)$$

\dot{P}_t bezeichnet die Änderung der Konzentration einer Chemikalie im Zeitverlauf, x_t ist die Emission in ein Umweltmedium zum Zeitpunkt t und δ ist die Abbaurates der Chemikalie im Umweltmedium.

Auflösen von Gleichung (1) ergibt einen mathematischen Ausdruck, der den Zusammenhang zwischen der Anfangskonzentration einer Chemikalie zum Zeitpunkt $t=0$, der Emission in t , der Abbaurates δ und der Konzentration in t beschreibt (s. [11] für Details):

$$P_t = P_0 e^{-\delta t} + \frac{x}{\delta} (1 - e^{-\delta t}) = \left(P_0 - \frac{x}{\delta}\right) e^{-\delta t} + \frac{x}{\delta} \quad (2)$$

In der umweltökonomischen Literatur wird P_t als "pollution stock" bezeichnet [12]. Bisherige Anwendungen des Modells, z.B. auf Pestizide [13], Treibhausgase [14] oder Wasserschadstoffe [15] haben jeweils nur ein bestimmtes Umweltmedium untersucht. Tatsächlich aber finden zwischen und in Umweltmedien dynamische Austausch- und Transformationsprozesse statt, die dazu führen, dass Stoffe in verschiedenen Medien sich unterschiedlich stark anreichern und abgebaut werden können. Fugazität-basierte Multimedia Fate Modelle können diese Prozesse erfassen [16-25]. Bisher wurden

Multimedia Fate Modelle unterschiedlicher Komplexität (Level I–IV) entwickelt, wobei Level IV Modelle [24] die dynamische Simulation zeitabhängiger Anreicherungs- und Abbauprozesse von Chemikalien in verschiedenen Umweltmedien erlauben. Obwohl aus wissenschaftlicher Sicht zu bevorzugen, sind Level IV Modelle für eine praktische Anwendung in regulatorischen Entscheidungsprozessen weniger geeignet weil sie sehr datenhungrig sind. Ein pragmatischer Kompromiss zwischen theoretischem Anspruch und Anwendbarkeit ist die Kombination eines Level III Modells mit dem Stock Pollution Ansatz.

Die Simulation der langfristigen Anreicherungs- und Abbauprozesse in verschiedenen Umweltmedien erfolgt in zwei Schritten (Abb. 1):

1. Mit einem Level III Multimedia Fate Modell (z.B. <http://www.trentu.ca/academic/aminss/envmodel/models/VBL3.html>) wird die anteilige Verteilung des emittierten Stoffes in Boden, Wasser, Luft, Sediment, Schwebstoffe und Fische im Steady State berechnet. Daraus lassen sich

prozentuale Anteile des Emissionseintrags in Boden, Wasser, Luft und Sediment ableiten.

2. Die prozentualen Anteile dienen anschließend als Gewichtungsfaktoren für die Berechnung der Medium-spezifischen Einträge eines PBT/vPvB Stoffes pro Periode. Anhand dieser Einträge kann der Zeitverlauf der erwarteten Konzentrationen für Boden, Wasser, Luft und Sediment simuliert werden.

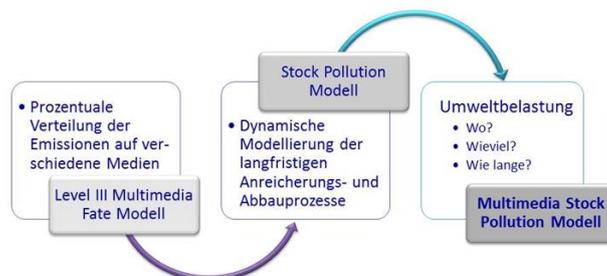


Abb. 1: Schematische Darstellung des Multimedia Stock Pollution Ansatzes

Tabelle 1: Eigenschaften von Anthracen relativ zu den P und vP Grenzwerten gemäß REACH (Annex XIII)

	Anthracen	REACH Grenzwert "P"	REACH Grenzwert "vP"
CAS Nummer	120-12-7		
Molekulargewicht [g/mol]	178,24		
Schmelzpunkt [°C]	216,4		
Wasserlöslichkeit [mg/L]	0,047 bei 25°C		
Dampfdruck [Pa]	9.4x10 ⁻⁴ bei 25°C		
Log K _{AW} *	-2,84		
Log K _{OW}	4,68		
Abbau-Halbwertszeit in Luft	3,4 h bei 52 °C	---	---
Abbau-Halbwertszeit in Wasser	13-42 d	Süßwasser: > 40 d Meerwasser: > 60 d	> 60 d
Abbau-Halbwertszeit in Sediment	7,9 y; 125-420 d	Süßwasser: > 120 d Meerwasser: > 180 d	> 180 d
Abbau-Halbwertszeit in Boden	210 d; 420-1250 d	> 120 d	> 180 d

Daten aus:[27].

* log K_{AW} berechnet als log (HLC/RT) mit HLC = Dampfdruck [Pa] geteilt durch Wasserlöslichkeit [mol/m³]; R = 8,319 m³ mol⁻¹ K⁻¹

Fallbeispiel: Anthracen

Die Möglichkeiten und Grenzen des Multimedia Stock Pollution Ansatzes zeigen wir am Beispiel von Anthracen, einem polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoff, der in Steinkohlenteer vorkommt und der z.Zt. auf der Kandidatenliste für die Autorisierung steht (s. <http://echa.europa.eu/candidate-list-table>).

Die benötigten Daten für die Multimedia Fate Modellierung wurden dem SVHC Support Dokument für Anthracen [27]

entnommen (Tab. 1). Wenn mehrere Angaben zu Abbau-Halbwertszeiten vorlagen, haben wir konservative Werte verwendet.

Level III Multimedia Fate Modelle berechnen die anteiligen Mengen eines Stoffes in Umweltmedien im Steady State. Weil die berechneten Verteilungen vom Eintragsort abhängig sind, haben wir stellvertretend zwei Emissionsszenarien mit Einträgen entweder in Wasser oder Luft betrachtet (Tab. 2). Damit werden Minimal- bzw. Maximalwerte erhalten, die auch die

Werte bei teilweisen Emissionen sowohl in Wasser als auch Luft umfassen. Die anteiligen Mengen sind unabhängig von der absoluten Größe der Emissionen und können in die erwarteten medium-spezifischen Emissionen x_i transformiert werden. Wir unterstellen derzeit konstante anteilige Emissionen während

der gesamten betrachteten Periode, eine erhebliche Vereinfachung, die durch eine Erweiterung des Ansatzes auf dynamische Modelle überwunden werden kann.

Tabelle 2: Emissionen in Wasser (Emissionsszenario 1) und Luft (Emissionsszenario 2), und resultierende anteilige Mengen von Anthracen in verschiedenen Umweltmedien (in %)

Emissionsszenario 1: 100% Emissionen in Wasser				Emissionsszenario 2: 100% Emissionen in Luft			
Gesamtmenge [t/y]		Emissionen Wasser [t/(t _{Wasser} *y)]		Gesamtmenge [t/y]		Emissionen Luft [t/(t _{Luft} *y)]	
1350		x = 27		1350		x = 27	
anteilige Mengen f_i [%]				anteilige Mengen f_i [%]			
Luft	Wasser	Boden	Sediment	Luft	Wasser	Boden	Sediment
0,0233	54,8	0,98	44,2	2,32	0,160	97,4	0,130

Daten aus [27], anteilige Mengen berechnet mit <http://www.trentu.ca/academic/aminss/envmodel/models/VBL3.html>; Volumen und Massen der Umweltmedien in Europa aus EUSES (<https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/european-union-system-evaluation-substances>) und EPI Suite (<http://www2.epa.gov/tsca-screening-tools/using-predictive-methods-assess-exposure-and-fate-under-tsca#fate>).

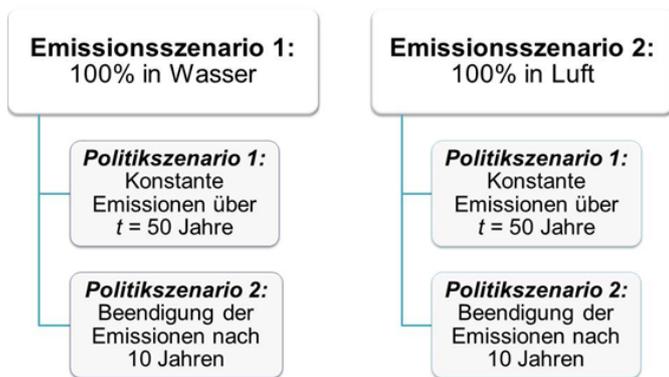
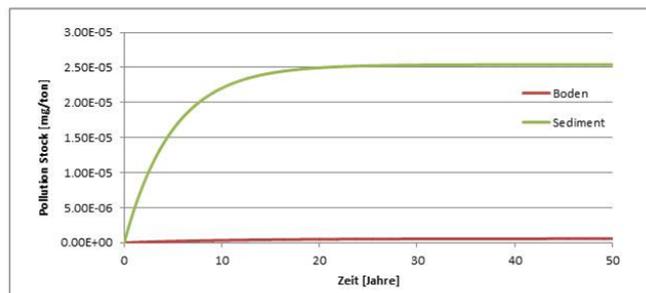


Abb. 2: Szenarien-Definition für die Simulation der Multimedia Stock Pollution Bewertung von Anthracen

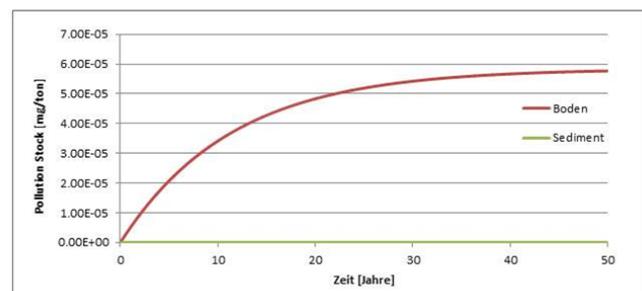
Politikszenerio 1: Konstante Emissionen über 50 Jahre

Abbildung 3 zeigt die Entwicklung des Pollution Stocks für Anthracen in verschiedenen Umweltmedien, oben für 100% Emissionen in Wasser, unten für 100% Emissionen in Luft. In beiden Emissionsszenarien bildet sich durch die exponentielle Anreicherung des Stoffes im Zeitverlauf ein Pollution Stock bis zum Steady State, und zwar bei Eintrag ins Wasser vor allem im Sediment, bei Eintrag in die Luft vor allem im Boden. Diese Verteilungsmuster sind mit den jeweils großen Kontaktflächen und den geringeren Abbauraten im Boden und Sediment im Vergleich zu Wasser und Luft erklärbar. Interessanterweise stimmt die relative Belastung der Umweltmedien hinsichtlich des Pollution Stocks nicht mit den anteiligen Mengen des Stoffeintrags gemäß Level III Multimedia Fate Modellierung überein (Tab. 2). Die Diskrepanz lässt sich damit erklären, dass Level III Multimedia Fate Modelle den Steady State nach einmaliger Emission darstellen, während der dynamische Stock Pollution Ansatz die sich langfristig entwickelnden Belastungen bei kontinuierlichen Einträgen erfasst.

Emissionsszenario 1: 100% Emissionen in Wasser*



Emissionsszenario 2: 100% Emissionen in Luft*



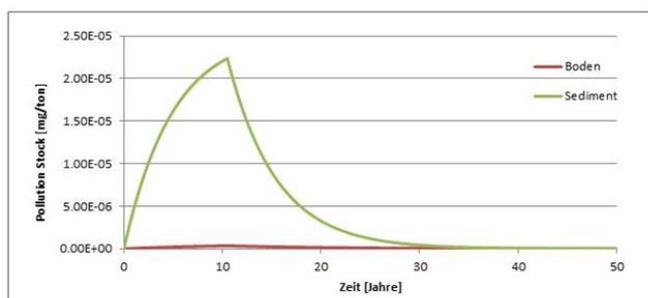
Der Verlauf des Pollution Stocks in den Medien Luft und Wasser ist in der Abbildung nicht dargestellt, da er im Vergleich zu Sediment und Boden sehr klein ist. Auf Anfrage stellen die Autoren die Abbildungen zu den Stock Pollution Verläufen für Luft und Wasser gerne zur Verfügung.

Abb. 3: Entwicklung des Pollution Stocks im Zeitverlauf für Anthracen, Politikszenerio 1 (Konstante Emissionen über 50 Jahre)

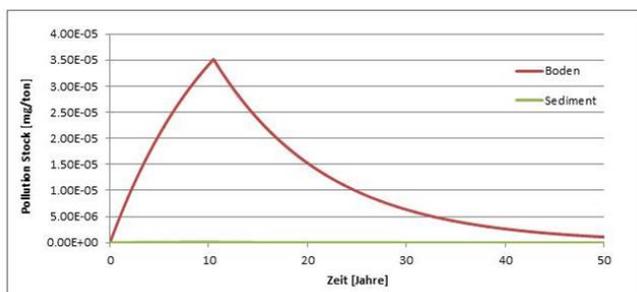
Politikszenerio 2: Beendigung der Emissionen nach 10 Jahren
Abbildung 4 zeigt die Entwicklung des Pollution Stocks von Anthracen unter der Annahme, dass nach 10 Jahren sämtliche Einträge beendet werden. Danach führt der Abbau zu einer

Reduktion der Belastungen, die im Sediment ca. 30 Jahre (Abb. 4 oben) und im Boden ca. 50 Jahre (Abb. 4 unten) andauern. Damit wird deutlich, dass eine Beendigung der Emissionen von persistenten Stoffen nicht mit einem Ende der Umweltbelastungen einhergeht, sondern diese noch Jahrzehnte fortbestehen können. Die Einbeziehung dieser Belastungen auch nach dem Ende von Emissionen in die sozio-ökonomische Analyse im Rahmen der Autorisierung von persistenten SVHC ist deshalb ein wichtiges Anliegen. Ähnlich wie beim Politikscenario 1 beobachten wir, dass der relative Pollution Stock in den verschiedenen Umweltmedien zeitabhängig mit den jeweiligen Abbauraten variiert. Anwendungen des Stock Pollution Ansatzes auf weitere Stoffe (z.B. Hexabromcyclo-dodecan, HBCDD) zeigten außerdem, dass sich die Rangfolge der am stärksten betroffenen Umweltmedien im Zeitablauf ändern kann [28].

Emissionsszenario 1: 100% Emissionen in Wasser*



Emissionsszenario 2: 100% Emissionen in Luft*



*Der Verlauf des Pollution Stocks in den Medien Luft und Wasser ist in der Abbildung nicht dargestellt, da er im Vergleich zu Sediment und Boden sehr klein ist. Auf Anfrage stellen die Autoren die Abbildungen zu den Stock Pollution Verläufen für Luft und Wasser gerne zur Verfügung.

Abb. 4: Entwicklung des Pollution Stocks im Zeitverlauf für Anthracen, Politikscenario 2 (Beendigung der Emissionen nach 10 Jahren)

Synopsis

Der Stock Pollution Ansatz ermöglicht eine Abschätzung des Zeitverlaufs von Umweltbelastungen durch (pseudo-)persistente Stoffe. Dies ist eine Voraussetzung, um mögliche negative Auswirkungen von Anreicherungen dieser Chemikalien in Umweltkompartimenten abzuschätzen und, wie im REACH Autorisierungsverfahren vorgesehen, gegen den Nutzen einer Weiterverwendung abwägen zu können. Die folgenden Schlussfolgerungen seien besonders hervorgehoben:

- (1) Die Betrachtung der langfristigen Umweltexpositionen von (pseudo-)persistenten Stoffen ist für regulatorische Abwägungsentscheidungen essentiell, da sie das Andauern und das Ausmaß von Belastungen nach Beendigung der Emissionen im Hinblick auf mögliche Langzeitfolgen der Weiterverwendung dieser Stoffe verdeutlicht.
- (2) Der Stock Pollution Ansatz ist ein pragmatisches Instrument zur Abschätzung des Zeitverlaufs der Umweltbelastungen von (pseudo-)persistenten Stoffen für verschiedene Szenarien. Eine vergleichende Bewertung verschiedener Herangehensweisen und Szenarien sowie deren Implikationen für Autorisierungsentscheidungen ist ein Beitrag zur Ausgestaltung der sozio-ökonomischen Analysen für das REACH Autorisierungsverfahren.
- (3) Die Bestimmung der langfristigen Umweltexpositionen ist ein notwendiger, aber kein hinreichender Schritt zur Feststellung möglicher schädlicher Auswirkungen von (pseudo-)persistenten Stoffen. Grundsätzlich kann eine geringere Konzentration in einem Umweltmedium ein höheres Gefahrenpotential darstellen als eine höhere Konzentration in einem anderen Umweltmedium. Die Ableitung geeigneter Messgrößen des Schädigungspotentials von (pseudo-)persistenten Stoffen ist eine interdisziplinäre wissenschaftliche und regulatorische Herausforderung.

Literatur

- [1] Langer P (2010). The impacts of organochlorines and other persistent pollutants on thyroid and metabolic health. *Front. Neuroendocrin.* 31(4), 497-518.
- [2] Loos R, Gawlik BM, Locoro G, Rimaviciute E, Contini S, Bidoglio G (2009). EU-wide survey of polar organic persistent pollutants in European river waters. *Environ. Pollut.* 157(2), 561-568.
- [3] Loos R, Locoro G, Comero S, Contini S, Schwesig D, Werres F, Balsaa P, Gans O, Weiss S, Blaha L, Bolchi M, Gawlik BM (2010). Pan-European survey on the occurrence of selected polar organic persistent pollutants in ground water. *Water Res.* 44(14), 4115-4126.
- [4] CEC (2006). Regulation (EC) No. 1907/2006 of the European Parliament and the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No. 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:396:0001:0849:EN:PDF> (accessed June 2015).
- [6] Gabbert S, Scheringer M, Ng AC, Stolzenberg H-C (2014). Socio-economic analysis for the authorisation of chemicals under REACH: A case of very high concern? *Regul. Toxicol. Pharm.* 70, 564-571.

- [7] Bateman H (1910). Solution of a system of differential equations occurring in the theory of radioactive transformations. *Proc. Cambridge Philos. Soc.*, 15, 423-427.
- [8] Pfeiffer S, Pfliegel P, Borchert HH (1984). *Grundlagen der Biopharmazie*. Verlag Chemie, Weinheim.
- [9] Plourde CG (1972). A model of waste accumulation and disposal. *Can. J. Econ.* 5, 199-225.
- [10] Perman R, Ma Y, Common M, Maddison D, McGilvray J (2011). *Natural Resource and Environmental Economics*. Fourth Edition. Pearson Education Limited.
- [11] Gabbert S, Nendza M (2015). Authorisation of chemicals in REACH: A stock-pollution approach to assessing impacts of persistent chemicals in a socio-economic analysis, Part I and II. Project reports performed for the Luxemburg Environment Agency, Client Contract Manager: Hans-Christian Stolzenberg, German Federal Environment Agency, Dessau, Germany.
- [12] Keeler E, Spence M, Zeckhauser R (1971). The optimal control of pollution. *J. Econ. Theory* 4, 19-34.
- [13] Conrad JM, Olson LJ (1992). The economics of a stock pollutant: Aldicarb on Long Island. *Environ. Resour. Econ.* 3, 245-258.
- [14] Tahvonen, O (1997). Fossil fuels, stock externalities, and backstop technology. *Can. J. Econ.* 30(4a), 855-874.
- [15] Roseta-Palma C, Xepapadeas A (2004). Robust control in water management. *J. Risk Uncertainty* 29(1), 21-34.
- [16] Mackay D, Paterson S (1991). Evaluating the multimedia fate of organic chemicals: a level III fugacity model. *Environ. Sci. Technol.* 25, 427-436.
- [17] Wania F, Mackay D (1995). A global distribution model for persistent organic chemicals. *Sci. Tot. Environ.* 160/161 211-232.
- [18] Koprivnjak JF, Poissant L (1997). Evaluation and application of a fugacity model to explain the partitioning of contaminants in the St. Lawrence River Valley. *Water Air Soil Poll.* 97, 379-395.
- [19] Mackay D (2001). *Multimedia Environmental Models: The Fugacity Approach - Second Edition*. Lewis Publishers, Boca Raton, 261 pp.
- [20] Scheringer M, Stroebe M, Wania F, Wegmann F, Hungerbühler K (2004). The effect of export to the deep sea on the long-range transport potential of persistent organic pollutants. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 11(1), 41-48.
- [21] Seth R, Mackay D (2002). Fugacity modeling to predict long-term environmental fate of chemicals from hazardous spills. In: *The Handbook of Hazardous Materials Spills Technology*, Fingas, M.F. (Ed.), McGraw-Hill.
- [22] OECD (2004). *Guidance document on the use of multimedia fate models for estimating overall environmental persistence and long-range transport*. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), OECD Series on Testing and Assessment 45, OECD, Paris.
- [23] Fenner K, Scheringer M, MacLeod M, Matthies M, McKone T E, Stroebe M, Beyer A, Bonnell M, Le Gall AC, Klasmeier J, Mackay D, van de Meent DW, Pennington D, Scharenberg B, Suzuki N, Wania F (2005). Comparing estimates of persistence and long-range transport potential among multimedia models. *Environ. Sci. Technol.* 39, 1932-1942.
- [24] Webster E, Mackay D, Wania F, Arnot J, Gobas F, Gouin T, Hubbarde J, Bonnell, M. (2005). *Development and application of models of chemical fate in Canada. Modelling Guidance Document*. CEMN Report No. 200501, http://www.trentu.ca/academic/aminss/envmodel/CEMNR_eport200501.pdf.
- [25] Klasmeier J, Matthies M, Macleod M, Fenner K, Scheringer M, Stroebe M, Le Gall AC, Kckone T, Van De Meent D, Wania F (2006). Application of multimedia models for screening assessment of long-range transport potential and overall persistence. *Environ. Sci. Technol.* 40, 53-60.
- [26] European Chemical Agency (ECHA) (2011). *Guidance on the preparation of socio-economic analysis as part of an application for authorization*. Guidance document ECHA-11-G-02-EN, ECHA, Helsinki.
- [27] European Chemicals Agency (2009). *SVHC Support Document anthracene oil, anthracene paste, anthracene fraction*. Adopted on 4 December 2009. ECHA, Helsinki.
- [28] Gabbert S, Nendza, M, Stolzenberg, H-C (2015). *Multimedia Stock Pollution Modelling of PBT and vPvB Chemicals: Implications for REACH authorisations*. Under review.

Korrespondenzadressen:

Dr. Silke Gabbert
 Universität Wageningen, Institut für Sozialwissenschaften
 Fachgebiet Umweltökonomie und Ressourcennutzung
 Hollandseweg 1,
 6706 KN Wageningen
 Niederlande
 Tel: +31 317 483870, Fax: +31 317 484933

Dr. Monika Nendza
 Analytisches Laboratorium
 Bahnhofstr. 1
 24816 Luhnstedt

Dr. Hans-Christian Stolzenberg
 Umweltbundesamt
 Fachgebiet "Internationales Chemikalienmanagement" (IV1.1)
 Wörlitzer Pl. 1
 06844 Dessau-Roßlau