

## Einleitung

Biozidfreie Außenhautbeschichtungen sind in der kommerziellen Seeschifffahrt bislang nur bedingt einsetzbar. Durch das anstehende Verbot von organozinnhaltigen Antifouling-Anstrichen geraten alternativ einsetzbare Biozide zunehmend in die Diskussion. Eine umfassende Beurteilung der von einem Biozid ausgehenden Gefährdung für die Biosphäre erfordert die Berücksichtigung von Daten über Freisetzung, Reichweite, Bioakkumulation, Wirkung und Unsicherheit [1]. In einer ersten Evaluation [2] zeigte sich die besondere Bedeutung der raumzeitlichen Reichweite der Biozide. Hier werden die Ergebnisse einer quantitativen Abschätzung dieses Risikofaktors präsentiert.

## Biozide

Tributylzinn, Kupfer, Irgarol® und Sea-Nine® wurden durch Abbauraten in Wasser und Sediment, sowie durch die Partikel-Wasser-Verteilungskonstante aus der Literatur charakterisiert (Tabelle 1). Die Streuung dieser biozidspezifischen Parameter wurde durch Maximum-Likelihood Schätzungen von Lognormalverteilungen beschrieben. Für Kupfer wurden natürliche Einträge ins System anhand von Literaturwerten abgeschätzt.

## Modell

Das hier eingesetzte Modell der marinen Biosphäre (Abb. 1) unterscheidet zwischen fünf Meerwasser- und vier Sediment-Kompartimenten, die als homogen angenommen werden. Der Eintrag in die Oberflächenwasser-Kompartimente wird jeweils über das Produkt aus der Unterwasserfläche der Welthandelsflotte und einer typischen Freisetzungsrate abgeschätzt. Die Bioziddynamik wird durch die linearen Prozesse Abbau, Wasseraustausch, Sedimentation von Partikeln und Überdeckung mit Sediment beschrieben. Mit dem resultierenden Level III Ausbreitungsmodell wurden Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt.

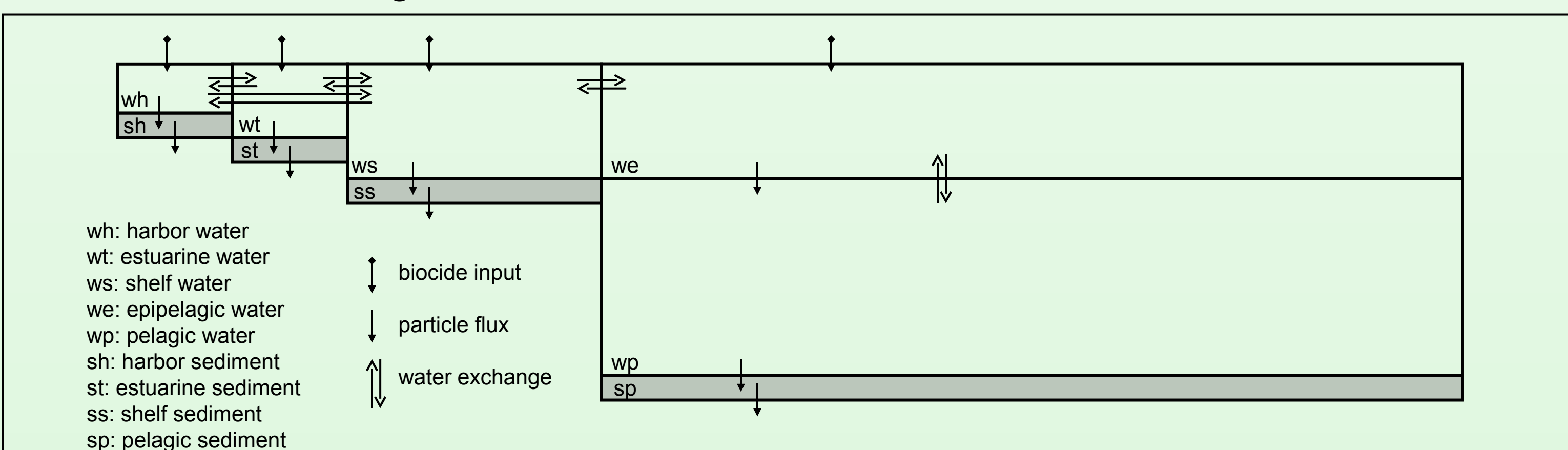


Abb. 1: Kompartimente und Prozesse im Verteilungsmodell

Tabelle 1: Geometrische Mittelwerte, Anzahl der Literaturwerte und geometrische Streuung  $\Phi$  der biozidspezifischen Modellparameter.  $k_w$  ist die Abbaurrate im Wasser,  $k_s$  die Abbaurrate im Sediment und  $K_{pw}$  die Partikel-Wasser-Verteilungskonstante.

Substanz	Parameter	Mittelwert	Einheit	n	$\Phi$
TBT+TBTOH	$k_w$	0,061	d <sup>-1</sup>	13	0,22
	$k_s$	0,24	y <sup>-1</sup>	4	0,82
	$K_{pw}$	$4,7 \cdot 10^3$	L·kg <sup>-1</sup>	13	1,72
Kupfer	$K_{pw}$	$45,7 \cdot 10^3$	L·kg <sup>-1</sup>	4	0,91
	$k_w$	0,0054 <sup>a</sup>	d <sup>-1</sup>	1	0,5 <sup>b</sup>
	$k_s$	0,086	y <sup>-1</sup>	1	0,5 <sup>b</sup>
Irgarol	$K_{pw}$	$3,1 \cdot 10^3$	L·kg <sup>-1</sup>	1	1,3 <sup>c</sup>
	$k_w$	1,18	d <sup>-1</sup>	1	0,5 <sup>b</sup>
	$k_s$	6070 <sup>d</sup>	d <sup>-1</sup>	1	0,5 <sup>b</sup>
Sea-Nine	$K_{pw}$	$1,1 \cdot 10^3$ <sup>e</sup>	L·kg <sup>-1</sup>	2	1,3 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>nur im Oberflächenwasser <sup>b</sup>abgeleitet aus  $\Phi$ -Werten, die für  $k_w$  und  $k_s$  von TBT geschätzt wurden <sup>c</sup>abgeleitet aus  $\Phi$ -Werten, die für  $K_{pw}$  von TBT und Kupfer geschätzt wurden <sup>d</sup>4,8 bis 0,7 % der Radioaktivität von Tag 15 bis 30 in anaerobem Wasser wurden nicht identifiziert und etwa 60 % war nicht aus dem Sediment extrahierbar. Trotz der allgemein angegebenen hohen Abbauraten waren 4,8 bzw. 2,6 % der Radioaktivität in einem anaeroben Sediment am 14. bzw. 61. Tag als Sea-Nine extrahierbar <sup>e</sup>der geometrische Mittelwert wurde verwendet

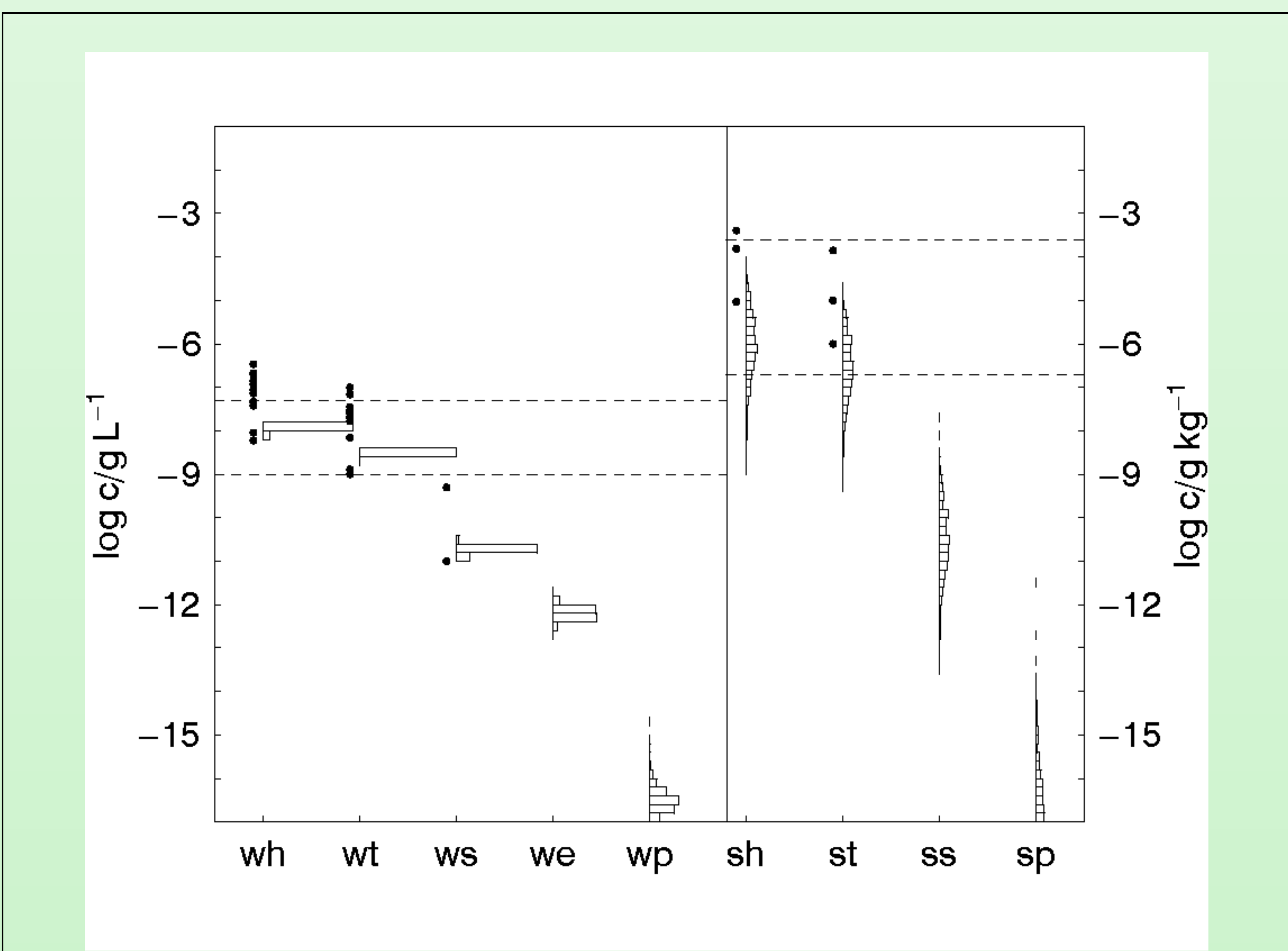


Abb. 2: Vergleich gemessener und abgeschätzter TBT-Konzentrationen. Die gestrichelten Linien sind Nachweisgrenzen aus der Literatur

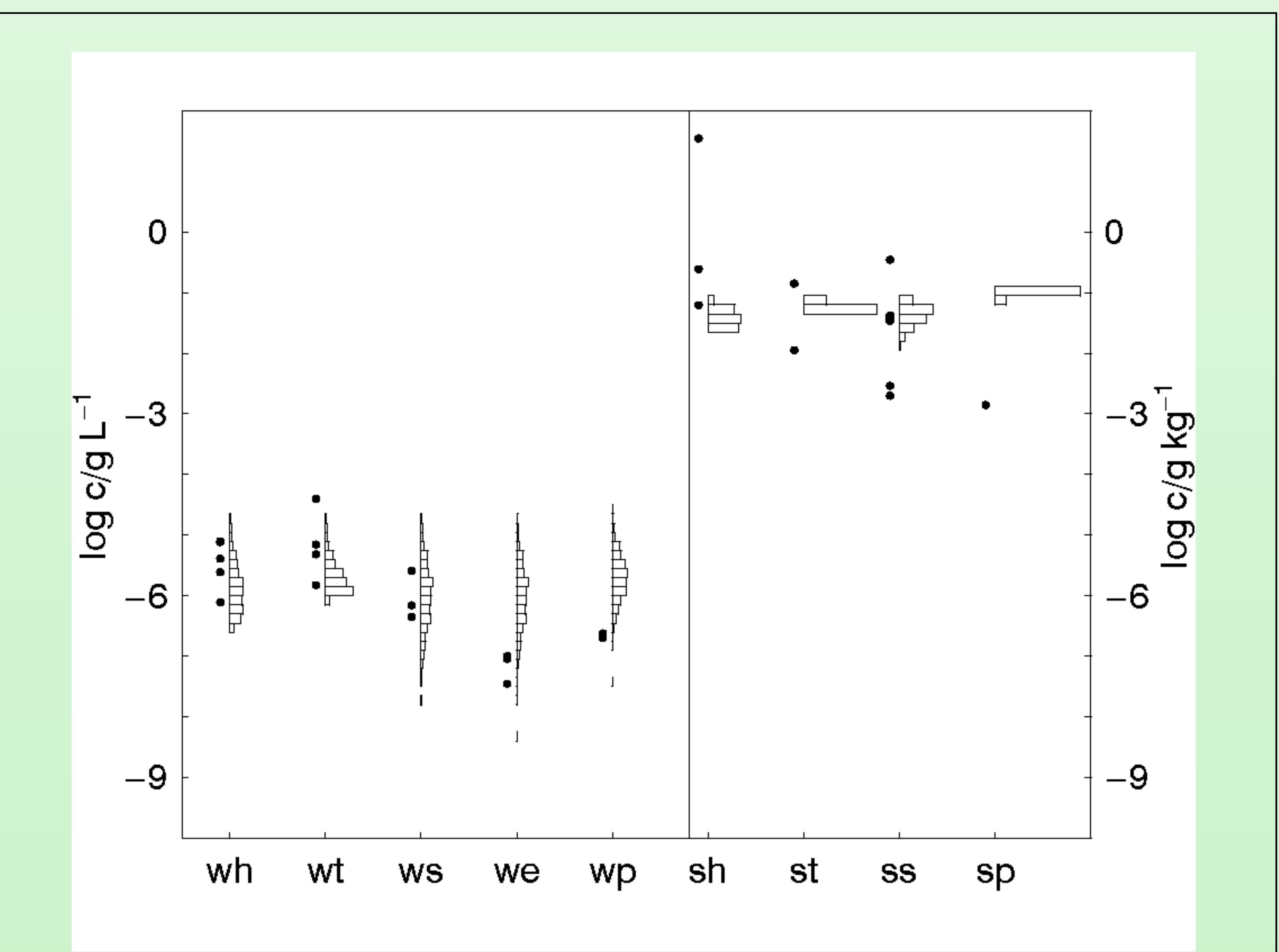


Abb. 3: Vergleich gemessener und abgeschätzter Kupfer-Konzentrationen

## Ergebnisse

Die Berechnungen für das Fließgleichgewicht (Abb. 2 und 3) lassen einen Großteil des von Schiffsrümpfen abgegebenen TBT im Wasser von Ästuarien mit Häfen und über dem Kontinentalschelf erwarten. Bei einer globalen Anwendung kupferhaltiger Antifoulingstoffe macht der geschätzte Anteil des von Schiffsrümpfen abgegebenen Kupfers am Gesamteintrag in das System ca. 9 % aus. Die Aufenthaltszeit  $\tau$  von Kupfer im Modellsystem wird vor allem durch die Sedimentationsrate am Meeresboden bestimmt. Im Vergleich liegt die mittlere Aufenthaltszeit für das Herbizid Irgarol zwischen der von Cu und der von TBT, während sie für das Biozid Sea-Nine deutlich unter der von TBT liegt (Abb. 4). Unklar ist noch, inwiefern an organische Substanz gebundenes Sea-Nine remobilisiert werden kann und dadurch dessen Aufenthaltszeit unterschätzt wird.

## Folgerungen

Mit einfachen Ausbreitungsmodellen können vorhandene Abbau- und Verteilungsdaten weiterführend interpretiert werden. Die Unsicherheiten in den biozid-, aber auch in den umweltspezifischen Parametern ist so groß, daß eine konventionelle Risikoanalyse mit diesem Modell nicht sinnvoll erscheint. Im Rahmen einer Risikoanalyse mit mehreren weitgehend unabhängigen Indikatoren ist die Aufenthaltszeit als Indikator der raumzeitlichen Reichweite ein wertvoller Beitrag zur prospektiven Einschätzung von Schädwirkungen.

## Literatur

- [1] Mathes K, Ranke J (1999) Erfassung des Gefahrenpotentials von Chemikalien: Ein alternativer Ansatz aus ökologischer Sicht *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung* Sonderheft Umweltrisikopolitik 10/99, 97-104  
 [2] Ranke J, Jastorff B (2000) Multidimensional risk analysis of antifouling biocides *Environmental Science and Pollution Research* 7(2), 105-114

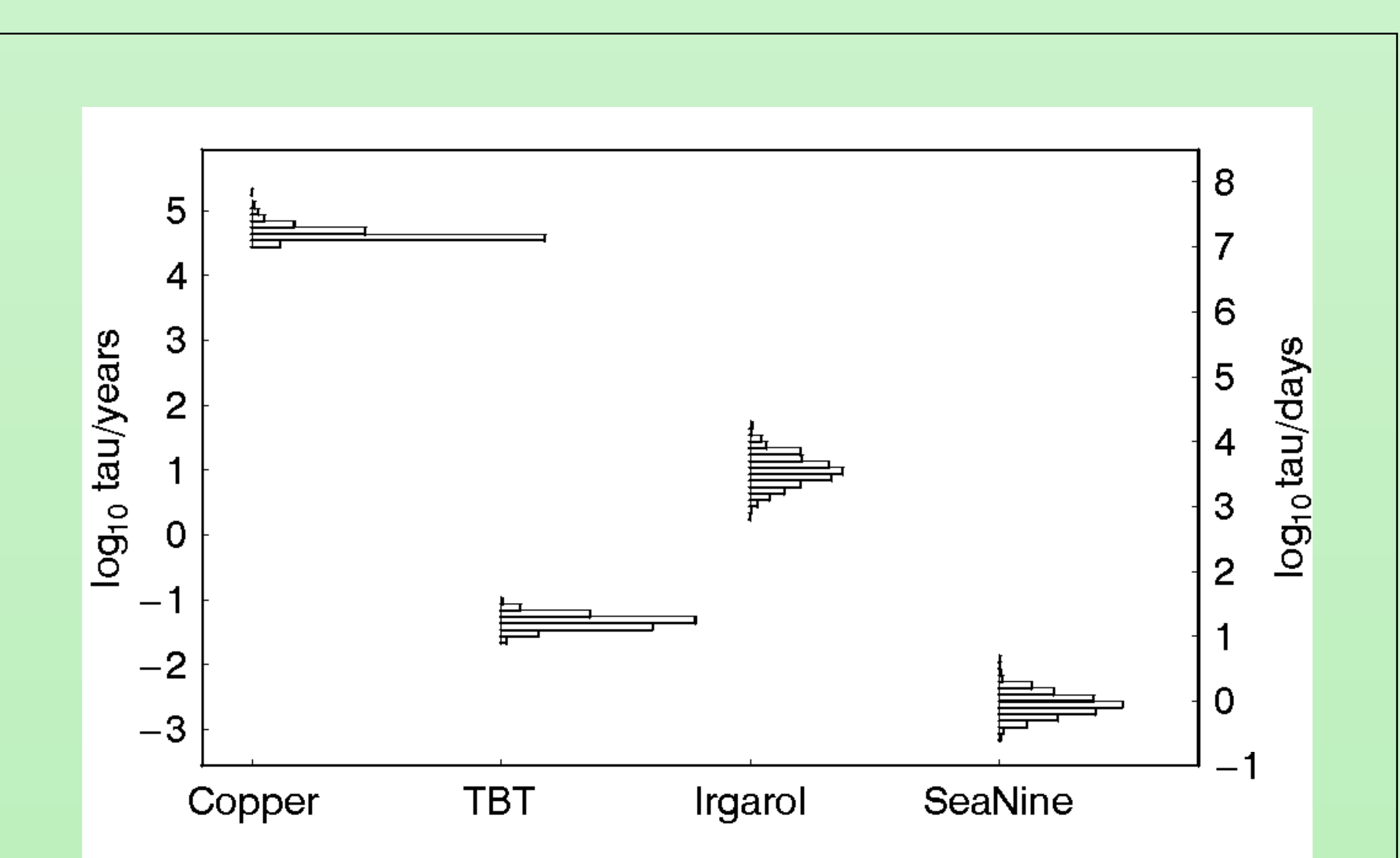


Abb. 4: Vergleich der abgeschätzten Aufenthaltszeiten  $\tau$