



Unabhängige Umweltexpertengruppe „Folgen von Schadstoffunfällen“ (UEG)  
beim Havariekommando des Bundes und der Länder

## **Abschätzung von Folgen von Schadstoffunfällen mit mineralischen Düngemitteln in deutschen Küstengewässern**

**(Stand November 2019)**

### **Allgemeines**

Mineraldünger werden in großen Mengen auf dem Seeweg transportiert. Ein handelsüblicher NPK-Dünger (kombinierter Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumdünger) mit dem Handelsnamen Nitrophoska war beispielsweise verantwortlich für die Havarie des Frachters „PURPLE BEACH“ in der Nordsee im Mai 2015. Die Unfallursache ist in diesem Fall immer noch nicht abschließend geklärt. Die chemische Zersetzung des Düngers verbunden mit einer Selbsterhitzung führte zu starker Raumentwicklung, die erst durch das Einleiten von Wasser in den Laderaum gestoppt werden konnte (Gesamteinsatzleitung durch das Havariekommando). Im September 2016 ist der Frachter „MUSTAFA KAN“ mit ca. 8.000 Tonnen Mineraldünger Ammoniumphosphat vor der Küste Siziliens havariert und hat dabei einen Großteil seiner Ladung verloren. Im August 2017 zersetzte sich eine Düngemittelladung auf dem Frachter „MV CHESHIRE“ vor den Kanarischen Inseln. Der Frachter konnte erst nach der kompletten Zersetzung der Ladung geborgen werden.

Auch aus Hafenanlagen können Düngemittel ins Wasser gelangen. So wurde beispielsweise durch eine Beschädigung eines Düngerbehälters am 3. Februar 2016 eine erhebliche Menge eines gelösten Stickstoffdüngers (2.755 Tonnen N) in den Hafen von Fredericia (Dänemark) abgelassen und gelangten dann in den zentralen Teil des Lillebælt und breitete sich dann in anderen dänischen Gewässern aus.

Der unfallbedingte Eintrag von größeren Mengen Düngemittel kann Folgen für die Meeresumwelt haben. Übliche Schüttgutfrachter („Bulker“) können 100.000 Tonnen Ladung und mehr transportieren, wobei diese hauptsächlich für Kohle und Erze verwendet werden. Für Düngemittel sind Transportmengen von 10.000 Tonnen durchaus üblich. Im Hamburger Hafen werden jährlich ca. 2,3 Millionen Tonnen Düngemittel umgeschlagen, in Brake ca. 100.000 Tonnen, in Rostock ca. 712.000 Tonnen und in Stralsund ca. 82.400. Diese Handelsvolumina zeigen, dass Düngemitteltransporte in deutschen Küstengewässern stattfinden. Bei einem Unfall mit Ladungsverlust könnten diese Düngemittel ins Meer gelangen.

Ziel dieser Stellungnahme ist eine Abschätzung der zu erwartenden Effekte bei Unfällen im Seeverkehr in deutschen Küstengewässern mit Austritt von mineralischen Düngemitteln. Dazu werden verschiedene Szenarien (Verlust einer typischen Ladung an verschiedenen Stellen in Nord- und Ostsee) betrachtet und potentielle Auswirkungen auf Nährstoffkonzentrationen und Effekte für die Umwelt abgeschätzt.

## Stoffliche Eigenschaften

Mineraldünger bestehen im Wesentlichen aus Salzen, die für das Pflanzenwachstum benötigte Mineralien enthalten (als Kationen: Kalium, Ammonium, Magnesium oder Calcium und als Anionen Nitrat, Phosphat und Chlorid). Handelsüblich sind dabei kombinierter Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumdünger (sogenannte NPK-Dünger, beispielsweise Nitrophoska), die eine bestimmte Mischung aus Salzen dieser Nährstoffe enthalten. Alle Substanzen liegen in fester Form vor und sind nicht brennbar. Allerdings ist ein häufig verwendetes Salz, Ammoniumnitrat, brandfördernd und hat erhebliches Explosionspotential. Durch die Mischung mit anderen Mineralien sinkt dessen brandfördernde und ansonsten erhebliche explosive Eigenschaft. Bei höheren Temperaturen kann allerdings eine thermische Zersetzung unter Entwicklung von Lachgas und nitrosen Gasen erfolgen.

Ammoniumnitrat gehört jedoch nicht zu den explosionsgefährlichen Stoffen im Sinne des Sprengstoffgesetzes. Sein Umgang wird in Deutschland allerdings durch das Sprengstoffgesetz (§3 Sprengstoffgesetz und Anlage III Nr. 1a) geregelt aufgrund verschiedener schwerer Explosionen in der Vergangenheit (u.a. Ludwigshafen 1921, Texas 1947, Toulouse 2001).

Der Seetransport von Schüttgut ist im "International Maritime Solid Bulk Cargoes Code" kurz IMSBC Code geregelt, der in zweijährigem Intervall von der Internationalen Seeschiffahrtsorganisation (IMO) in überarbeiteter Form herausgegeben wird. Ein Großteil des gehandelten Mineraldüngers fällt in die Gruppe C, das heißt, er gilt offiziell als Schüttgut, von dem keine chemischen Gefahren für die Schiffssicherheit ausgehen. Bestimmte Düngemittel können sich aber unter Entstehung von giftigen Gasen, wie bei den Havarien der „PURPLE BEACH“ oder der „MV CHESHIRE“ selbst zersetzen. Diese Reaktion kann bereits durch die Erhitzung eines Teils der Ladung, beispielweise durch nicht gelöschtes Licht im Laderaum, ausgelöst werden. Dadurch ist es in der Vergangenheit wiederholt zu Unfällen im Seetransport gekommen. Es wird daher zurzeit in der IMO beraten, ob die Transportauflagen für Dünger verschärft werden sollen (z.B. CCC 3/5/9). Im September 2017 veröffentlichte die IMO vor dem Hintergrund der Havarie der „MV CHESHIRE“ ein Rundschreiben, in dem vor den besonderen Gefahren von Düngemittelladungen für die Schiffssicherheit gewarnt wird (CCC.1/Circ.4). Bei der letzten Sitzung wurde entschieden, dass die Transportauflagen für bestimmte Produkte verschärft werden sollen (CCC 5/13). Die Umsetzung dieser Absicht steht aber noch aus. Unfälle mit Düngemitteln im Seeverkehr sind allerdings in jedem Fall weiterhin nicht auszuschließen.

Die Transportvorschriften beziehen sich nur auf Aspekte für die Schiffssicherheit. Potentielle Umweltgefahren sind nicht Teil des Regelwerks.

Viele der Substanzen sind sehr gut bis mäßig wasserlöslich, nur Calciumcarbonat ist nahezu unlöslich. Alle Stoffe sind als nicht bioakkumulierend zu bewerten. Kalium- und Magnesium-Ionen können jedoch in höheren Konzentrationen fischschädlich sein. Eine Absenkung des lokalen pH-Wertes ist beim Eintrag von Superphosphat zu erwarten.

Die Wassergefährdung gemäß „Wassergefährdungsstufe für ortsfeste Anlagen (WGK-Stufe)“ liegt bei „1“ für Ammoniumnitrat, Diammoniumhydrogenphosphat und Kaliumchlorid; bei „2“ für Superphosphat; Calciumcarbonat ist als „nwg“ (= nicht wassergefährdend) eingestuft.

## Umweltrelevante Auswirkungen einer Havarie eines mit Düngemitteln beladenen Frachtschiffs mit möglichem komplettem Ladungsverlust

Ein Eintrag in die Meeresumwelt (als Substrat oder über Löschwasser) - auch größerer Mengen – von Düngemitteln ist auf Grundlage des Gefahrstoffrechts mit „keine akute Umweltgefährdung“ einzustufen. Diese formale Einstufung im Sinne des Gefahrstoffrechts beruht auf der Klassifizierung von Düngemitteln als „gering toxisch“.

Mittelbare und ggfs. weitreichende Umweltwirkungen sind jedoch je nach Umgebungssituation zu erwarten:

Beim Freiwerden von Ladung ist davon auszugehen, dass sich – bis auf das Karbonat - alle Substanzen vollständig lösen und in der Umgebung des havarierten Schiffes **hohe Nährstoffkonzentrationen** entstehen.

Diese (Über-)Düngung kann zu erhöhter Photosynthese und verstärktem **Algen- bzw. Planktonwachstum** führen. Beim anschließenden verstärkten Abbau der zusätzlich entstandenen pflanzlichen Biomasse kann von einer erhöhten Sauerstoffzehrung ausgegangen werden.

Die hohen Nährstoffkonzentrationen werden in Abhängigkeit vom Havarieort, der dortigen Wassertiefe und Küstenausbildung sowie der Witterungslage durch Wind, Wellen und Strömung verdünnt oder können zu den oben genannten Auswirkungen führen.

In der Nordsee ist bedingt durch die Wassertiefen (20-50 m) sowie des gegebenen Wellengangs anzunehmen, dass sich die Düngemittelkonzentration bei den meisten typischen Wetterlagen (relativ) schnell verdünnt.

In Gebieten der Ostsee, in denen aufgrund geringer Strömungsgeschwindigkeiten und zu bestimmten Jahreszeiten (vor allem im Spätsommer) sowie in Abhängigkeit von Salzgehalt und Wassertemperatur eine Schichtung der Wassersäule auftritt, ist eine schnelle Verdünnung nicht zu erwarten. Das könnte dann zu außergewöhnlichen Algenblüten führen. Der mikrobielle Abbau abgestorbener Algen vornehmlich unterhalb der Sprungschicht, kann dann zur Sauerstoffzehrung und **Sauerstoffdefizit** bis hin zum Auftreten des toxischen Schwefelwasserstoffs (H<sub>2</sub>S) führen. In der Folge kann das zur Abwanderung der mobilen benthischen Fauna und der Fischfauna sowie zum Absterben der betroffenen Lebewesen und Bereiche führen.

Das Ausmaß dieser Sauerstoffmangelgebiete kann in Abhängigkeit der Ladungsmenge und der o.g. Bedingungen erheblich sein.

Um konkretere Aussagen zum Ausmaß möglicher **Eutrophierungswirkungen** (Algenblüte/Sauerstoffzehrung) durch den Eintrag von Düngemitteln in Folge einer Havarie treffen zu können sind im Rahmen der Arbeiten der UEG Ausbreitungsmodellierungen für spezifische Fallbetrachtungen durchgeführt worden. Es ist zu prüfen, ob das Weltnaturerbe Wattenmeer aufgrund seiner Besonderheiten eine separate Betrachtung erfordert.

## **Ausbreitungsmodellierung**

Ziel der Studie ist die Vorhersage der zu erwartenden Konzentrationen der verschiedenen Nährstoffe nach einem Düngemittelunfall und die Dauer der Belastung für verschiedene Unfallszenarien. Dafür wurde die zeitliche Entwicklung von Konzentrationsverteilungen im betrachteten Seegebiet mit Hilfe eines Ausbreitungsmodells simuliert.

- Wie stark erhöhen sich die Nährstoffkonzentrationen?
- In welchen Bereichen verteilen sich die Stoffe?
- Nach welcher Zeit gehen die erhöhten Konzentrationen wieder auf ein normales Niveau zurück?

In dieser Studie wird zunächst die Größenordnung einer angenommenen stofflichen Belastung (sowohl in Hinblick auf die erreichten Konzentrationen als auch auf den Zeithorizont) abgeschätzt, da dies mit relativ geringem Rechenaufwand möglich ist. Eine realistischere und detaillierte Modellierung des Ausbreitungsverhaltens kann bei Bedarf in einem Anschlussprojekt durchgeführt werden. Außerdem könnte unter Umständen eine Modellierung der Folgen für das Ökosystem (Algenwachstum, Sauerstoffzehrung etc.) angeschlossen werden.

## Szenarien

### Ladung:

Für die Betrachtung wurde ein Unfall mit einem handelsüblichen NPK-Dünger angenommen. Der als Beispiel gewählte Dünger Nitrophoska 15:15:15 enthält:

- 15 % elementaren Stickstoff
  - o 6,0 % N Nitratstickstoff ( $\cong 26,6\% \text{NO}_3^-$ )
  - o 9,0 % N Ammoniumstickstoff ( $\cong 10,8\% \text{NH}_4^+$ )
- 15%  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $\cong 6,54\% \text{P} \cong 20,1\% \text{PO}_4^{2-}$ )
- 15 %  $\text{K}_2\text{O}$  ( $\cong 12,45\% \text{K}$ )

Als eine typischerweise transportierte Menge eines solchen Düngemittels wurden 20.000 t angenommen. Da eine komplette Freisetzung im Falle eines Unfalls unwahrscheinlich ist, wird in dieser Studie von einer Freisetzung von 10.000 t eines solchen Düngemittels ausgegangen, was folgenden Massen entspricht:

- 2660 t  $\text{NO}_3^-$  ( $\cong 43 \text{ Mmol}$ )
- 1080 t  $\text{NH}_4^+$  ( $\cong 60 \text{ Mmol}$ )
- 2010 t  $\text{PO}_4^{2-}$  ( $\cong 21 \text{ Mmol}$ )
- 1245 t  $\text{K}^+$  ( $\cong 32 \text{ Mmol}$ )

### Orte:

Um die Bandbreite der möglichen Auswirkungen darzustellen wurden Einträge an 4 verschiedenen Stellen simuliert:

- 1.) offene Nordsee (auf Schifffahrtsroute),
- 2.) küstennaher Nordseebereich, z.B. Außenelbe, Einfahrt zum Nord-Ostseekanal,
- 3.) offene Ostsee (auf Schifffahrtsroute),
- 4.) küstennaher geschlossener Ostseebereich, z.B. Stettiner Haff.

Der Fall 4 wäre ein Worst-Case Szenario, da es sich um einen relativ keinen Bereich mit geringem Wasseraustausch handelt. Insgesamt wurden für alle Betrachtungen im Hinblick auf eine Worst Case-Betrachtung die Sommermonate als sinnvoll erachtet, da in der Regel ein geringer Wasseraustausch zu erwarten ist und damit eine langsamere Verdünnung.

## Modellierung

Vom BSH (Silvia Maßmann, Fabian Schwichtenberg, Ina Lorkowski) wurden Ausbreitungsrechnungen mit dem Euler'schen Ausbreitungsmodell des BSH durchgeführt (<http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Vorhersagen/Ausbreitungsmodelle/Euler.jsp>). Dieses Ausbreitungsmodell simuliert die zeitliche Entwicklung von Konzentrationsverteilungen mit Hilfe eines einfachen Transportalgorithmus. Dabei wird dem Wasser ein völlig unabhängiger Stoff (sogenannter "passiver Tracer") einmalig an einer bestimmten Position hinzugefügt. Die Hintergrundkonzentration ist gleich Null. Die Startkonzentration an der Einbringungsposition ist 100%, das heißt zum Startzeitpunkt befindet sich die ganze Menge der eingebrachten Substanz in Lösung in einer Zelle. Die Ausbreitung erfolgt dann passiv, d.h. es wird keinerlei Umsetzung simuliert, die Gesamtmasse bleibt über die Zeit gleich und es gibt keinerlei Quellen und Senken im Verlauf der

Simulation. Die horizontale Auflösung des 3-dimensionalen Modells beträgt 900m x 900m. Die zeitliche Auflösung beträgt 15 Minuten.

Folgende Eingangsparameter für die Modellierung wurden gewählt:

- einmalige Einbringung einer prozentualen Konzentration (100% beim Start)
- Start der Simulation am 15.07.2016, 00:00 UTC, Einbringung von 00:15 UTC bis 00:30 UTC
- passive Ausbreitung
- betrachteter Zeitraum: 8 Wochen

Folgende Startkoordinaten wurden für die 4 betrachteten Fälle gewählt:

- 1.) offene Nordsee (auf Schifffahrtsroute), Position: 54°06'00"N / 007°34'00"E
- 2.) küstennaher Nordseebereich, Außenelbe, Einfahrt zum Nord-Ostseekanal, Position: 53°53'00"N / 013°10'00"E
- 3.) offene Ostsee (auf Schifffahrtsroute), Position: 54°50'00"N / 13°10'00"E
- 4.) küstennaher geschlossener Ostseebereich (Stettiner Haff), Position: 53°47'00"N / 14°25'00"E

Die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen lassen sich mit den angenommenen Massen der Düngemittelkomponenten (bzw. den daraus abzuleitenden Konzentrationen) skalieren, so dass für jedes Szenario nur eine Rechnung benötigt wird.

#### *Vereinfachte Annahmen für die Modellrechnung*

Für eine erste einfache Abschätzung der Modellierung der Ausbreitung sind viele Vereinfachungen nötig. Eine starke Vereinfachung ist in dieser Studie beispielsweise die Annahme, die Ladung würde sich spontan im Wasser auflösen und sich dann wie Tinte verhalten. Folgende Vereinfachungen werden implizit durch die Wahl des Modells getroffen:

- sofortige Lösung der gesamten Ladung (ähnlich wie Tinte),
- perfekte vertikale Durchmischung,
- kein Einfluss der gelösten Salze auf die Dichte des Wassers, Vernachlässigung einer potentiellen Schichtenbildung<sup>1</sup>,
- Vernachlässigung von mikrobiellem Abbau, Aufnahme in Pflanzen etc.

#### **Ergebnisse**

Die Modellierung erfolgte, wie oben beschrieben, mit einem 3D-Modell. Die in den Graphiken dargestellten Ausbreitungen zeigen die relative Verteilung des passiven Tracers. Die Farbskala zeigt den Anteil des Stoffes an, der sich in der entsprechenden Zelle befindet. Die effektive Konzentration des Stoffes hängt von der angenommenen Durchmischung am Ausbringungsort ab.

Modelliert wurden 2 Szenarien:

- a) die Substanz verteilt sich zum Startzeitpunkt sofort in die gesamte Wassersäule,
- b) für die Substanz beschränkt sich die Verteilung auf eine bestimmte Wassertiefe (Annahme hier: die oberen 5 m).

---

<sup>1</sup> Das Lösungsverhalten dieser Mineralsalze ist komplex und der Einfluss der veränderten Dichte des Wassers und ihr Einfluss auf das Mischungsverhalten mit anderen Wasserschichten schwer zu beschreiben.

Für jeden Stoff ergibt sich eine eigene Startkonzentration, da die Stoffe in unterschiedlichen Anteilen im Düngemittel vorliegen. Da die Wassertiefe an den 4 Positionen unterschiedlich ist, ergibt sich bei der Annahme einer anfänglichen Verteilung über die gesamte Wassersäule in der Variante a) auch für jede Position eine eigene Startkonzentration. Direkte Konzentrationsvergleiche nur auf Basis der Graphiken zwischen den 4 Positionen sind daher nicht zulässig.

### Offene Nordsee

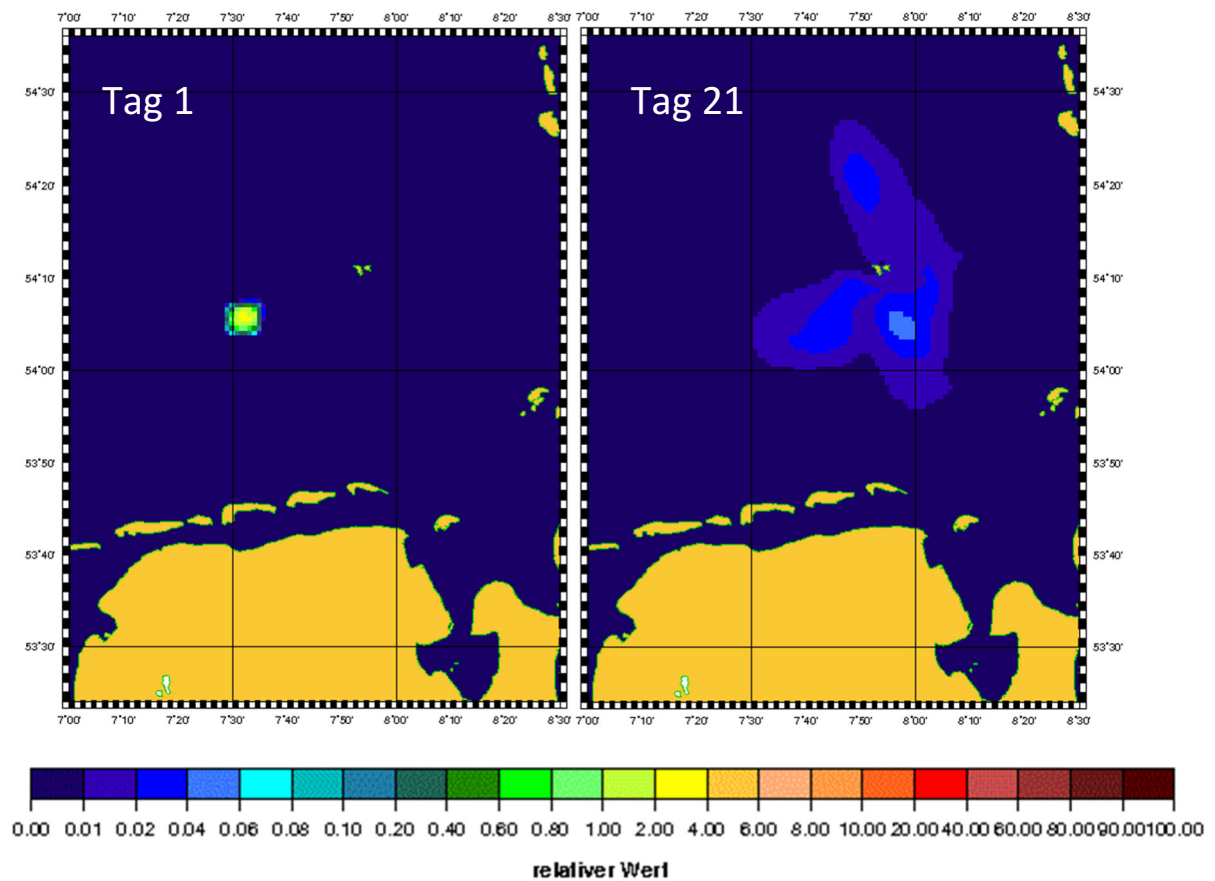


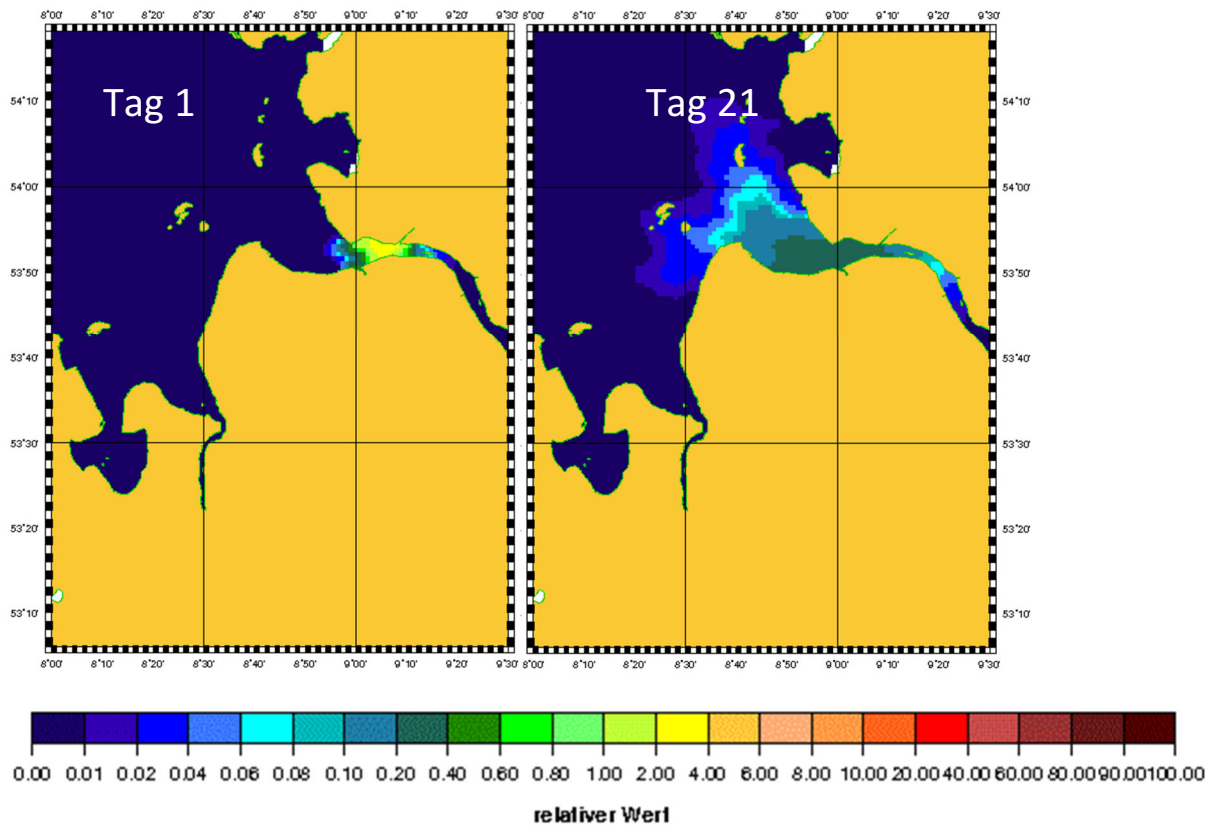
Abbildung 1: Ausbreitung eines passiven Tracers nach Eintrag in die offene Nordsee nach 1, bzw. 21 Tagen

Nach drei Wochen hat sich der eingebrachte Stoff relativ weiträumig in der Nordsee verteilt. Die Substanz verbreitet sich auf einer Fläche mit ca. 30 km Ost-West und 55 km Nord-Süd-Ausdehnung. Am Ausbringungsort wurde die Wassertiefe von 38,9 m angesetzt. Für das angenommene Szenario ergeben sich zusätzlich zu einer eventuell bestehenden Hintergrundkonzentration folgende Spitzenkonzentrationen:

**Tabelle 1: Übersicht über die sich aus den modellierten Szenarien ergebenden Spitzenkonzentrationen und beobachtete Durchschnittskonzentrationen**

	21 Tage, a) Anfangs- durchmischung g gesamte Wassersäule	21 Tage, b) 5 m tiefe Anfangs- durchmischung g	56 Tage, a) Anfangs- durchmischung g gesamte Wassersäule	56 Tage, b) 5 m tiefe Anfangs- durchmischung g	Durchschnittlic h Konz im Sommer (2006-2014) (OSPAR Commission 2017)	OSPAR/ MSRL Zielwert e
Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,8 µmol/L	6,4 µmol/L	0,3 µmol/L	2,1 µmol/L	14,3 µmol/L	13,1 µmol/L (als DIN)
Ammoniu m (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	1,1 µmol/L	8,9 µmol/L	0,4 µmol/L	3,0 µmol/L		Keine Zielwert e gesetzt
Phosphat (PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	0,4 µmol/L	3,1 µmol/L	0,1 µmol/L	1,0 µmol/L	0,71 µmol/L	0,65 µmol/L

### Elbmündung



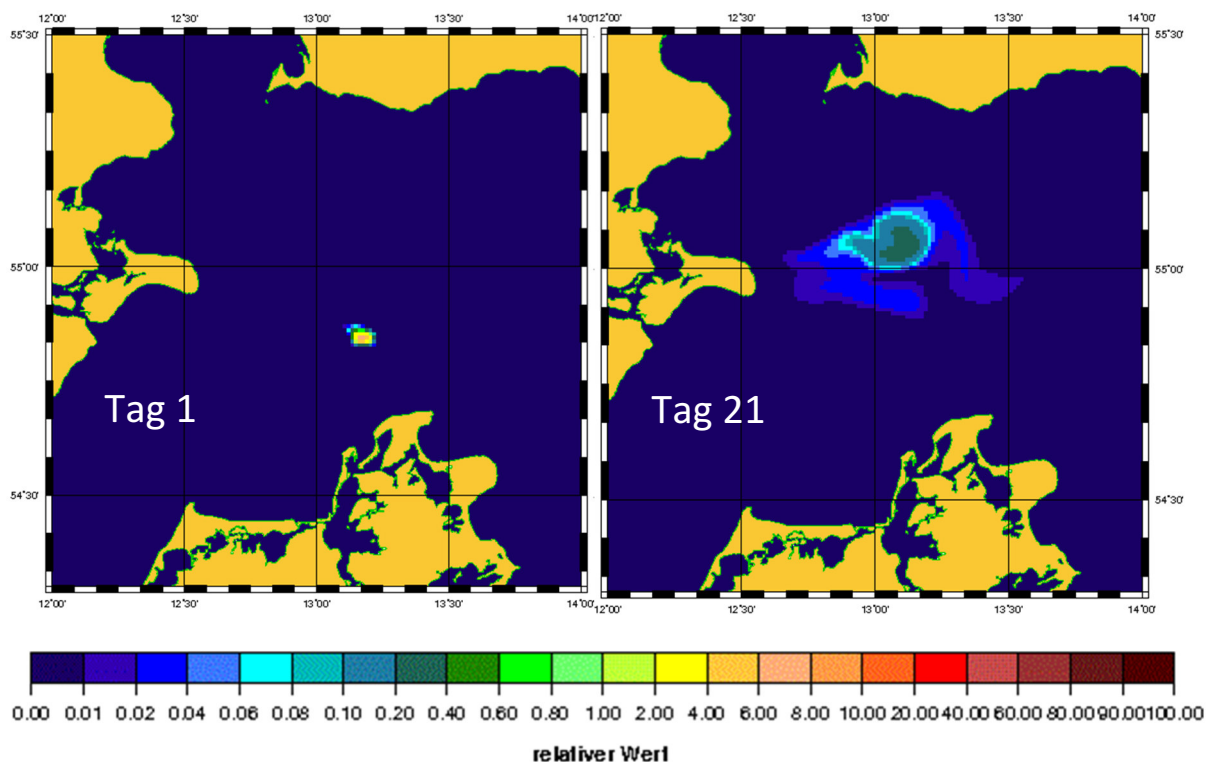
**Abbildung 2: Ausbreitung eines passiven Tracers nach Eintrag in Nähe der Einfahrt zum Nord-Ostseekanal nach 1, bzw. 21 Tagen**

Der Eintrag der Substanz erfolgte in der Nähe der Einfahrt zum Nord-Ostseekanal. Zum größeren Teil wird der Stoff elbabwärts, zum Teil allerdings durch die Tidenbewegungen auch elbaufwärts transportiert. Nach drei Wochen befindet sich der Stoff noch weitgehend im Bereich der Außenelbe bzw. des Ästuars. In dem Gebiet wird eine durchschnittliche Wassertiefe von 14,4 m angesetzt. Für das angenommene Szenario ergeben sich daraus zusätzlich zu einer eventuell bestehenden Hintergrundkonzentration folgende Spitzenkonzentrationen:

**Tabelle 2: Übersicht über die sich aus den modellierten Szenarien ergebenden Spitzenkonzentrationen und beobachtete Durchschnittskonzentrationen**

	21 Tage, a) Anfangs- durchmischung gesamte Wassersäule	21 Tage, b) 5 m tiefe Anfangs- durchmischung	56 Tage, a) Anfangs- durchmischung gesamte Wassersäule	56 Tage, b) 5 m tiefe Anfangs- durchmischung	Mitt. Konz Elbeestuar (OSPAR Commissio n 2017)	OSPAR/ MSRL Zielwer t
Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	14,7 µmol/L	42,5 µmol/L	7,4 µmol/L	21,2 µmol/L	197,9 µmol/L)	81,7 µmol/L
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	20,6 µmol/L	59,3 µmol/L	10,3 µmol/L	29,6 µmol/L		Kein Zielwer t gesetzt
Phosphat (PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	7,2 µmol/L	20,7 µmol/L	3,6 µmol/L	10,4 µmol/L	1,94 µmol/)	1,31 µmol/L

### Offene Ostsee



**Abbildung 3: Ausbreitung eines passiven Tracers nach Eintrag in die offene Ostsee nach 1, bzw. 21 Tagen**



Der Eintrag der Substanz erfolgte in der offenen Ostsee in der Arkonasee nördlich von Rügen. In dem Gebiet wird eine durchschnittliche Wassertiefe von 42,2 m angesetzt. Für das angenommene Szenario ergeben sich daraus zusätzlich zu einer eventuell bestehenden Hintergrundkonzentration folgende Spitzenkonzentrationen:

**Tabelle 3: Übersicht über die sich aus den modellierten Szenarien ergebenden Spitzenkonzentrationen und beobachtete Durchschnittskonzentrationen**

	21 Tage, a) Anfangs- durchmischung gesamte Wassersäule	21 Tage, b) 5 m tiefe Anfangs- durchmischung	56 Tage, a) Anfangs- durchmischung gesamte Wassersäule	56 Tage, b) 5 m tiefe Anfangs- durchmischung	Durchschnittliche Konz. HELCOM (2011-2015)	Zielwerte HELCOM
Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	5,0 µmol/L	42,5 µmol/L	0,8 µmol/L	6,4 µmol/L	4,05 µmol/L	2,90 µmol/L <sup>a</sup> als DIN für Winterkonz.
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	7,0 µmol/L	59,3 µmol/L	1,1 µmol/L	8,9 µmol/L		Keine Zielwerte gesetzt
Phosphat (PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2,5 µmol/L	20,7 µmol/L	0,4 µmol/L	3,1 µmol/L	0,61 µmol/L	0,36 µmol/L <sup>b</sup>

<sup>a</sup>) Zielwert für Arkonabecken (HELCOM/MSRL nutzt allerdings die Winterkonzentrationen und DIN anstatt Nitrat),  
<http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/indicators/nitrogen-din/results-and-confidence/>

<sup>b</sup>) Zielwert für Arkonabecken <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/indicators/phosphorus-dip/results-and-confidence/>

Insbesondere in diesem Fall zeigen die Ergebnisse einen speziellen Fall. Auf Grund der Variabilität der Strömungsverhältnisse kann die Ausbreitung der eingebrachten Substanz zu einem anderen Zeitpunkt deutlich anders verlaufen.

## Stettiner Haff

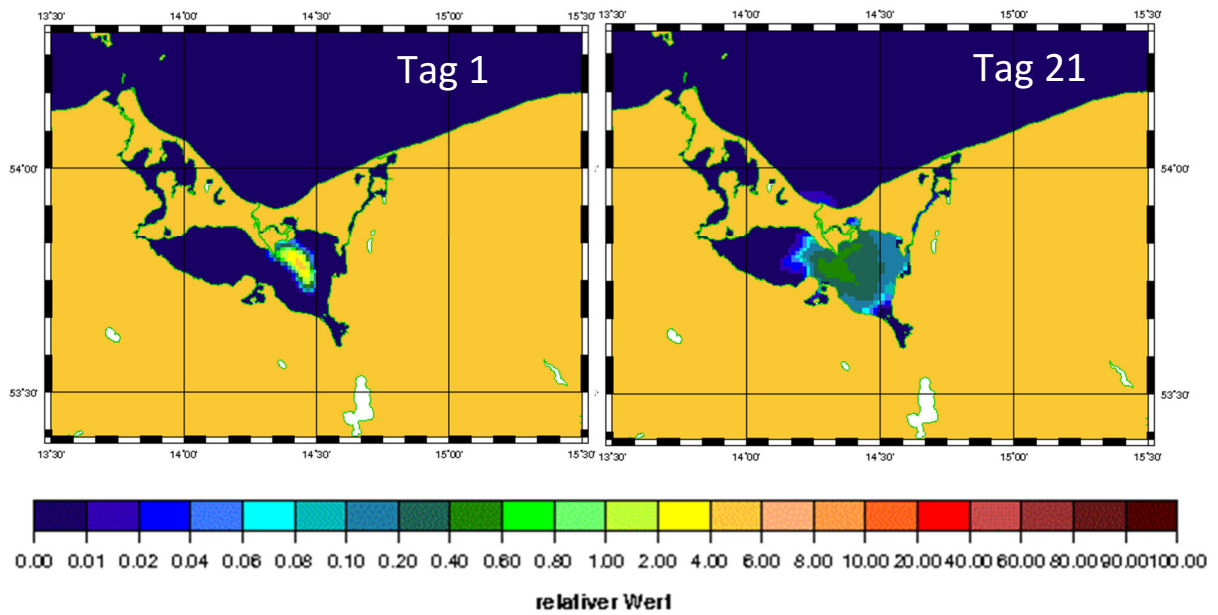


Abbildung 4: Ausbreitung eines passiven Tracers nach Eintrag in das Stettiner Haff nach 1, bzw. 21 Tagen

Der Eintrag der Substanz erfolgte im Bereich des Stettiner Haffs. Auf Grund des geringen Wasseraustauschs befindet sich ein Großteil der Substanz auch noch nach 3 Wochen noch im Haffbereich. In dem Gebiet wird eine durchschnittliche Wassertiefe von 3,4 m angesetzt. Für das angenommene Szenario ergeben sich daraus zusätzlich zu einer eventuell bestehenden Hintergrundkonzentration folgende Spitzenkonzentrationen:

Tabelle 4: Übersicht über die sich aus den modellierten Szenarien ergebenden Spitzenkonzentrationen und beobachtete Durchschnittskonzentrationen

	21 Tage, Anfangs- durchmischung gesamte Wassersäule	56 Tage, Anfangs- durchmischung gesamte Wassersäule	Mittlere Sommerkonzentrationen (06-09) 2012-2016, Messnetz LUNG, Station KHJ –Staatsgrenze Oderhaff:
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )	93,6 $\mu\text{mol/L}$	31,1 $\mu\text{mol/L}$	8,42 $\mu\text{mol/L}$
Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )	130,8 $\mu\text{mol/L}$	43,5 $\mu\text{mol/L}$	4,54 $\mu\text{mol/L}$
Phosphat ( $\text{PO}_4^{2-}$ )	45,7 $\mu\text{mol/L}$	15,2 $\mu\text{mol/L}$	2,11 $\mu\text{mol/L}$

## Diskussion

### Gegenüberstellung einer Havarie mit relevantem Ladungsverlust zu konstanten Nährstoffeinträgen in die Nord- und Ostsee

Der am 26.5.2015 in der Helgoländer Außenreederei havarierte Frachter „PURPLE BEACH“ hatte 20.000 Tonnen Düngemittel des Typs Nitrophoska 15+15+15+2 S geladen. Für die Modellrechnung wurde sich an dieser Schiffsladung orientiert. Unter Umständen können aber auch größere Mengen transportiert und bei einem Unfall in die Meeresumwelt eingebracht werden.

Die Mengen an Gesamtstickstoff (N-Gesamt), die über Elbe, Weser, Ems und Eider jährlich in die **Nordsee** eingetragen wurden, lagen für die Jahre 2006 - 2014 im Mittel bei 145.000 t (jährliche Schwankung zwischen 78.500 und 211.000 t)(OSPAR Commission 2017). Wird diesen Mengen ein angenommener Eintrag in Höhe von 20.000 t Nitrophoska (= ca. 3.000 t N-Gesamt) gegenübergestellt, entspricht dies 2 % der Jahresfracht an N-Gesamt der deutschen Zuflüsse in die Deutsche Bucht<sup>2</sup>. Ein Düngemittelnfall in der Nordsee würde daher im Vergleich der jährlichen Nährstofffrachten über die Flüsse nicht besonders ins Gewicht fallen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass es dennoch, wie bereits dargestellt, zu lokalen Eutrophierungserscheinungen kommen kann.

Für die **Ostsee** wurden im Rahmen der Helsinki-Kommission zum Schutz der Meeresumwelt im Ostseeraum (HELCOM) auf der Ministerkonferenz 2013 verbindliche Reduzierungsziele für die Ostseeanrainerstaaten bzw. maximal erlaubte Einträge (maximum allowable inputs - MAI) beschlossen. Festgelegt sind als Gesamteintrag: Phosphor 21.716 t/a, davon seitens Deutschland 451 t/a; N-Gesamt 792.209 t/a, davon Deutschland 59.480 t/a. In der Ministerdeklaration wurden weiterhin nationale Reduktionsziele für Nährstoffeinträge festgelegt. Deutschland hat sich verpflichtet, 170 Tonnen Phosphoreintrag und 7.670 Tonnen Stickstoffeintrag zum Erreichen des guten Umweltzustands bis 2021 zu reduzieren.<sup>3</sup>

Ein Vergleich dieser Zielwerte für die Ostsee mit den skizzierten Ladungsmengen an 20.000 t Nitrophoska (je 3.000 t Gesamt-N und 1.300 t Gesamt-Phosphor) zeigt die Brisanz des Problems. Der havariebedingte Eintrag einer Düngemittelladung eines Frachters vom Typ „PURPLE BEACH“ in deutsche Ostseegebiete würde zumindest für Phosphat deutlich über den jährlichen deutschen Einträgen liegen und ist daher als relevant anzusehen. Des Weiteren würden havariebedingte Einträge dieses Ausmaßes die Anstrengungen, die oben genannten nationalen Verpflichtungen zu Eintragsreduzierungen zu erreichen, auf Jahre gesehen zunichtemachen.

Wertung: Ein havariebedingter Eintrag von Stickstoff und/oder Phosphor in der beschriebenen Größenordnung ist bezüglich Eutrophierungswirkungen einschließlich Sauerstoffzehrung und möglichem Auftreten von zellgiftigem Schwefelwasserstoff nicht zu vernachlässigen. Vor dem Hintergrund der naturräumlichen Bedingungen der Ostsee ist eine Havarie mit mengenmäßig relevantem Eintrag von Düngemittel mit wesentlichen Risiken verbunden und weitreichende Auswirkungen auf die Ökologie sind zu befürchten.

Eine spezifische Einschätzung, welche lokalen oder ggfs. regionalen Eutrophierungswirkungen eine solche Havarie haben könnte, könnte durch Modellrechnungen unterstützt erfolgen.

---

<sup>2</sup> gemäß aktueller EMEP-Studie deponierten auf der deutschen AWZ plus Küstengewässer zwischen 1995 und 2013 minimal 32.760 Tonnen Stickstoff und maximal 44.400 Tonnen Stickstoff. (Quelle: Shamsudheen, S.V. & Bartnicki, J. (2016): Calculation of atmospheric deposition of nitrogen to the German EEZ and coastal waters of the North Sea using EMEP MSC-W model. Bericht an das Umweltbundesamt, 32 Seiten.) Der Umfang der Stickstoff-Einträge in die deutsche Nordsee, die über Meeresströmungen aus anderen Bereichen eingetragen werden, entspricht in etwa dem Austrag aus der Deutschen Bucht Richtung Norden.

<sup>3</sup>) Für 2014- wird ein Eintrag von 61.396 t N und 520 t P aus Deutschland in die Ostsee geschätzt (HELCOM 2018).

## *Ausbreitung*

Die vier hier exemplarisch ausgewählten Fälle sollen einen Überblick bieten, welches Ausbreitungsverhalten und welche Effekte grundsätzlich zu erwarten sind. Dabei ist eine entscheidende Frage, wie stark sich die Konzentrationen im Vergleich zu natürlichen Konzentrationen erhöhen und wie schnell sich diese Konzentrationen in den verschiedenen Szenarien wieder verdünnen.

Insgesamt zeigt sich, dass die Einträge in dem offenen Seegebiet der Nord- und Ostsee nur zu einer moderaten Erhöhung der Nährstoffkonzentrationen führen, die sich unter günstigen Bedingungen innerhalb weniger Monate wieder auf ein typisches Niveau verdünnen.

Auch für die Ostsee ist ein Rückgang auf eine natürliche Hintergrundkonzentration zu erwarten, bedingt durch den geringen Wasseraustausch in der Ostsee dauert dieser Rückgang deutlich länger.

Die Elbmündung verringert durch die in das Ästuar einschwingende Tide das Austauschvolumen, so dass die Verdünnung auf natürliche Hintergrundkonzentrationen gegenüber den offenen Meeressgewässern deutlich verlangsamt ist. Im Stettiner Haff käme es durch einen unfallbedingten Nährstoffeintrag zu einer deutlichen Erhöhung der Nährstoffkonzentrationen. Durch die langsame Verdünnung wäre die Belastung auch nach 8 Wochen noch deutlich über den typischerweise beobachteten Konzentrationen.

Bei allen angestellten Betrachtungen ist es wichtig, die Limitationen dieses Modellieransatzes zu berücksichtigen.

- Die Annahme einer spontanen Lösung der Nährstoffsalze ist unrealistisch. Es ist zu erwarten, dass der Lösungsprozess sich über einen längeren Zeitraum hinzieht und daher lokal deutlich länger erhöhte Nährstoffkonzentrationen zu erwarten sind als modelliert. Dafür sind die Spitzenkonzentrationen wahrscheinlich durch die Modellierung überschätzt.
- Die Modellierung geht von einer perfekten vertikalen Durchmischung aus. Je nachdem, ob der Eintrag von der Wasseroberfläche erfolgt oder die Substanz schnell auf den Grund sinkt, bevor sie sich auflöst, können erhöhte Konzentrationen entweder in oberen bzw. tieferen Wasserschichten auftreten.
- Die Modellierung geht davon aus, dass die Gesamtmenge der eingetragenen Substanz sich nicht verändert. Im Laufe von drei und insbesondere in acht Wochen ist aber mit einem Abbau bzw. einer Aufnahme von Nährstoffen in Algen zu rechnen. Die realistischer Weise zu erwartenden Konzentrationen wären dementsprechend geringer.

## *Mögliche ökologische Folgen*

Grundsätzlich können Nährstoffeinträge zu erhöhtem Algenwachstum führen. Im Falle einer Blaualgenblüte können dabei toxische Cyanotoxine gebildet werden, die auch für den Menschen gefährlich werden können. Außerdem kann eine Algenblüte auch als indirekter Effekt zu einer erhöhten Sauerstoffzehrung führen. Insbesondere in der Ostsee, wo Sauerstoffarmut ein häufiges Problem ist, kann das Auswirkungen auf die benthischen Lebensgemeinschaften zur Folge haben.

Grundsätzlich kann jeder zusätzliche Nährstoffeintrag das Algenwachstum weiter erhöhen. Ein deutlicher Effekt ist allerdings vor allem dann zu erwarten, wenn zumindest einer der beiden Nährstoffe - N oder P- zuvor der limitierende Faktor waren. Erhöht sich die Konzentration eines nicht limitierenden Nährstoffs, ist unter Umständen kein direkter Effekt auf das Algenwachstum zu

erkennen. Auf der anderen Seite ist gerade in schon stark eutrophierten Gebieten jeder zusätzliche Eintrag zu vermeiden.

Insgesamt lassen sich die potentiellen Auswirkungen eines kurzzeitigen Nährstoffeintrags nicht sicher abschätzen, da viele Faktoren die Effekte beeinflussen. Eine genauere Studie der Effekte ließe sich mit Hilfe eines Ökosystemmodells (z.B. ECOHAM (Uni Hamburg) oder MAECS (HZG )) realisieren, welches zumindest die Hauptnährstoffe, Sauerstoff und die wichtigsten Phytoplanktongruppen der beiden Gebiete simulieren kann. Ein geeignetes Verfahren, um den direkten Effekt des Düngemittels auf das Ökosystem nachzuvollziehen, wäre das sogenannte Nutrient-Tagging (z.B. Radtke *et al.* 2012). Dabei handelt es sich um ein numerisches Verfahren, das es ermöglicht genau nachzuvollziehen, wo sich Nährstoffe aus einer bestimmten Quelle nach einer bestimmten Simulationszeit befinden, auch wenn sie zwischenzeitlich vom Phytoplankton aufgenommen wurden. Dadurch ist der Effekt einer bestimmten Quelle auf das Ökosystem gut bestimmbar.

### **Danksagung**

Die Ausbreitungsrechnungen wurden von Thorger Brüning, Frank Janssen, Hartmut Komo, Ina Lorkowski, Silvia Maßmann und Fabian Schwichtenberg (BSH) durchgeführt. Wera Leujak (UBA) und Annika Grage (BSH) haben durch viele Hinweise und Verbesserungsvorschläge zu dieser Stellungnahme beigetragen.

### **Literatur**

- HELCOM. 2018. 'Sources and pathways of nutrients to the Baltic Sea. Baltic Sea Environment Proceedings No. 153'.
- OSPAR Commission. 2017. "Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area -Third Integrated Report on the Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area." In *Eutrophication Series*. OSPAR.
- Radtke, H., T. Neumann, M. Voss, and W. Fennel. 2012. 'Modeling pathways of riverine nitrogen and phosphorus in the Baltic Sea', *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 117.