

Warum sich die überdüngte Ostsee so schwer erholt – Neue IOW-Übersichtsarbeiten zeigt zentrale Prozesse und Ursachen

Die Ostsee steht seit Jahrzehnten unter Druck: Zwar wurden die Einträge von Phosphor und Stickstoff aus Flüssen – Ursache der Überdüngung des Binnenmeeres – merklich reduziert. Doch Folgeerscheinungen wie Algenblüten und Sauerstoffmangel treten nach wie vor massiv auf und ziehen weitere ökologische Folgen nach sich. Forschende des Leibniz-Instituts für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) zeigen nun in einer umfassenden Zusammenschau, wie Nährstofflasten, interne Stoffkreisläufe und Klimaerwärmung zusammenwirken, so dass Schutzmaßnahmen nur verzögert greifen. Gleichzeitig sehen sie Ansatzpunkte für wirksames Ostsee-Management. Die Arbeit erschien jüngst im Annual Review of Marine Science.

Dass die Ostsee unter Überdüngung leidet, ist seit mehr als einem halben Jahrhundert bekannt. Schutzprogramme wie der „Baltic Sea Action Plan“ der Helsinki-Kommission zum Schutz der Ostsee (HELCOM) haben durch Implementierung auf EU- und nationaler Ebene dazu geführt, dass die Nährstoffbelastung aus menschlichen Quellen merklich zurückging: Die Phosphorfrachten der Flüsse sanken seit den 1980er-Jahren um etwa 50 %, die Stickstofffrachten um rund 30 %. Auch neuere Belastungszahlen zeigen diesen Trend: Während 1995 die Phosphor-Gesamteinträge in die zentrale Ostsee noch über 20.000 Tonnen pro Jahr betrugen, lagen sie 2017 bei rund 12.400 Tonnen; beim Stickstoff gingen sie in der selben Zeit von rund 520.000 Tonnen auf knapp 400.000 Tonnen zurück.

Dennoch zeigt sich bis heute keine durchgreifende Verbesserung der Oberflächenwasserqualität. Um zu verstehen, wie Ökosystemprozesse ineinander greifen und die Erholung der Ostsee ausbremsen, bündelt die nun veröffentlichte Review-Arbeit eines IOW-Autorentteams Erkenntnisse aus mehr als sechs Jahrzehnten Ostseeforschung und verbindet Langzeitdaten mit umfangreicher Fachliteratursynthese, um durch Prozessverständnis und aktuelle Modellansätze zu einem Gesamtbild der sich wandelnden Ostsee zu kommen.

Ein Meer im Wandel: Erwärmung trifft auf ein empfindliches Gleichgewicht

Die Ostsee ist als Brackwassermeer stark geschichtet: Salzärmeres Oberflächenwasser liegt über dichterem, salzreicherem Tiefenwasser. Das verhindert, dass Sauerstoff aus der Atmosphäre leicht in die Tiefe gelangt. Der Abbau organischer Substanz führt dort daher häufig zu Sauerstoffmangel. Nur seltene Salzwassereinströme aus der Nordsee können die tiefen Wassermassen zeitweise belüften.

Durch den Klimawandel hat sich die Ostsee deutlich erwärmt. So sind die Oberflächentemperaturen des zentralen Gotland Beckens seit 1960 im Schnitt um fast 2 °C gestiegen. Wie Modellierungen in der jetzt publizierten Studie zeigen, ist aber auch in den tiefen Wasserschichten ein Erwärmungstrend feststellbar, was auf häufigere Einstromereignisse im Sommer zurückzuführen ist. Da wärmeres Wasser weniger Sauerstoff löst als kaltes, ist das Potenzial dieser sommerlichen Einströme zur Belüftung der tiefen Ostseebecken geringer als das der Wintereströme. Zudem wird hier Sauerstoff schneller verbraucht. Die Folge: Sogenannte Todeszonen – Bereiche mit weniger als 20 µmol O₂ pro Liter – werden größer und bleiben länger bestehen. Das bestätigt auch die aktuelle Langzeitauswertung.

Vor diesem Hintergrund hebt das Review die Rolle kleinräumiger „lateraler Intrusionen“ hervor: Schmale, nur wenige Meter dicke Wasserschichten mit höheren Sauerstoffgehalten dringen in Zwischenbereiche des geschichteten Ostsee-Wasserkörpers ein und transportieren langfristig dabei sogar rund zehnmal mehr Sauerstoff als die großen Einstromereignisse. Bisherige numerische Modelle berücksichtigen diesen Prozess jedoch nur unzureichend und sollten entsprechend angepasst werden.

Phosphat aus der Tiefe: Warum die Vergangenheit nachwirkt

Ein Schwerpunkt des Reviews liegt auf dem Phosphatkreislauf, der eine entscheidende Rolle für die anhaltende Eutrophierung der Ostsee spielt. Unter anoxischen Bedingungen – wenn also freier Sauerstoff fehlt – wird Phosphat aus dem Sediment freigesetzt und reichert sich im Wasser an. Denn es fehlen oxidierte Eisenverbindungen, die den Pflanzennährstoff dauerhaft binden. Das IOW-Autorenteam arbeitete nun anhand von Langzeit-Messreihen heraus, dass im Tiefenwasser der Ostsee die Phosphatkonzentrationen zwischen Einstromereignissen ansteigen und Werte deutlich über 5 µmol pro Liter erreichen können. Durch alljährliche Winterdurchmischung gelangt ein Teil dieses

gelösten Phosphats in oberflächennahe Wasserschichten. Mit durchschnittlich 27 mmol pro Quadratmeter ist diese interne Phosphorquelle laut der aktuellen Studie inzwischen so groß, dass sie Reduktionen der externen Phosphat-Einträge über Flüsse weitgehend kompensiert. Selbst starke Einstromereignisse senken diese Werte nur begrenzt: Beim großen Einstrom im Winter 2014 wurden maximal etwa 30 % des Phosphats aus dem Wasser entfernt, nur rund 5 % wurden dauerhaft im Sediment gebunden.

Die Rückkopplung von Sauerstoffmangel und Phosphatfreisetzung in den Tiefen der Ostsee verändert auch das Phytoplankton im Oberflächenwasser. Denn Verluste von Nitrat im Tiefenwasser und die zunehmende interne Phosphat-Rücklösung sorgen dafür, dass sich das Verhältnis der beiden Pflanzennährstoffe im Ostseewasser verändert: Von 1969 bis 2023, so zeigen die Langzeitdaten, fiel das Verhältnis von gelöstem Stickstoff zu gelöstem Phosphor im Winter um rund 4 mol mol^{-1} – mit großen ökologischen Folgen. Denn dies begünstigt Blaualgenblüten im Sommer, da diese Stickstoff aus der Luft nutzen können und ihr Wachstum vor allem durch Phosphor-Verfügbarkeit begrenzt wird.

Die sommerlichen Blaualgenblüten können schlechter direkt im Nahrungsnetz verwertet werden als andere Algen, und so sinken nach ihrem Absterben große Mengen organischer Substanz wieder auf den Ostseegrund. Das transportiert Phosphorverbindungen ins Sediment, die sich dort immer weiter akkumulieren, und kurbelt über Zersetzungsprozesse die Sauerstoffzehrung an. Damit wird deutlich, warum sinkende externe Einträge nicht automatisch zu sinkenden Konzentrationen im Meer führen: Die Ostsee trägt eine große „Nährstoffhypothek“ aus vergangenen Jahrzehnten in sich.

Ansatzpunkte für wirksames Ostsee-Management

„Die interne Rücklösung von Phosphat aus Ostsee-Sedimenten, die wir jetzt über lange Zeiträume mit konkreten Zahlen belegt haben, ist ganz wesentlich dafür verantwortlich, dass sich die Ostsee nicht nach einem einfachen Ursache-Wirkung-Prinzip erholen kann“, kommentiert Joachim Kuss, als Erstautor federführend im Team der an der Studie beteiligten IOW-Forschenden. „Erfolgreicher Schutz braucht langen Atem – und ein Management, das die internen Kreisläufe genauso ernst nimmt wie die äußeren Einträge“, so der Meereschemiker. Aufbauend auf forschungsbasiertem aktuellen Prozessverständnis sieht das Autorenteam folgende Handlungsfelder:

- Nährstoffüberschüsse müssen konsequent weiter gesenkt werden, denn nur so können Rückkopplungen langfristig überwunden werden.
- Natürliche Küstenfilter müssen gestärkt oder wiederhergestellt werden: Übergangszone wie Bodden, Fjorde, Ästuarien, Feuchtgebiete oder Schilfgürtel können Nährstoffe zurückhalten und dauerhaft binden.
- Naturbasierte Maßnahmen sollten ausgebaut werden, etwa die Förderung von Seegraswiesen oder die gezielte Kultivierung von Makroalgen, um Nährstoffe aktiv aus dem Wasser zu entnehmen. Auch Riffe und Muschelbänke tragen dazu bei.
- Langzeitbeobachtung und moderne Messsysteme müssen ausgebaut werden. Denn nur durch kontinuierliches Monitoring – zunehmend auch mit neuen Sensorsystemen für hochauflöste Phosphatmessungen – lassen sich Verbesserungen oder Rückschläge früh erkennen.

Originalpublikation: Joachim Kuss, Peter Holtermann, Lars Umlauf, Olaf Dellwig, Ralf D. Prien, & Joanna J. Waniek (2026). *The Changing Baltic Sea: Between Nutrient Load Reduction and a Warming Climate*. Annu. Rev. Mar. Sci. 2026. 18:16.1–16.26, doi.org/10.1146/annurev-marine-040324-020707

Wissenschaftlicher Kontakt:

Dr. Joachim Kuss | Tel.: +49 381 5197 314 | joachim.kuss@iow.de

Kontakt IOW-Presse- und Öffentlichkeitsarbeit:

Dr. Kristin Beck | Tel.: 0381 – 5197 135 | presse@iow.de

Das Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) erforscht den natürlichen und anthropogenen Wandel von Küsten- und Randmeeren in einem systemübergreifenden und interdisziplinären Ansatz, von der Grundlagenforschung bis hin zur anwendungsorientierten Forschung. Die Ostsee fungiert dabei als ideales Fallbeispiel vor der Haustür. Ein wichtiges Anliegen des IOW ist es, den wissensbasierten Dialog mit Politik, Praxis und Gesellschaft zu führen und so einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Küstenmeere zu leisten.
www.iow.de