

## Sauerstoffmangel im bodennahen Wasser der westlichen Ostsee

Das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR) hat im Zeitraum vom **02.09. bis 11.09.2019** mit MS "Haithabu" (Abb. 1) die alljährliche Messkampagne zur Ermittlung der Sauerstoffgehalte in der westlichen Ostsee durchgeführt. Von den insgesamt 41 Messstellen lagen 29 in Wassertiefen unterhalb 15 Meter und zwölf im flacheren Wasser zwischen 7 und 13 Metern. Die Sauerstoffgehalte wurden mit einer Multiparametersonde (Abb. 2) im Vertikalprofil zwischen einem Meter unter der Oberfläche bis einem Meter über dem Meeresboden gemessen. Zusätzlich wurden die prozentuale Sauerstoffsättigung, die Wassertemperatur, der Salzgehalt und der pH-Wert erfasst. Im Folgenden wird über die Ergebnisse der jeweils *einen Meter über dem Meeresboden* gemessenen Sauerstoffgehalte berichtet.



Abb.1: MS „Haithabu“ beim Monitoringeneinsatz in der Ostsee (Foto: C. Steffens).

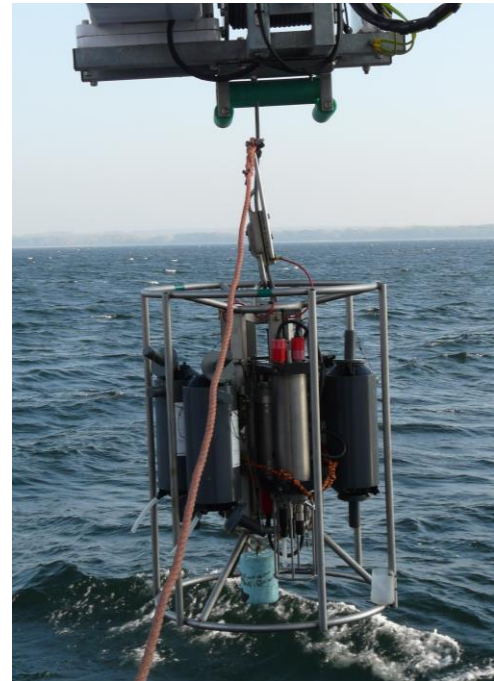


Abb. 2: "Rosette" mit Wasserschöpfern und Multiparametersonde (Foto: LLUR)

Alljährlich ab dem Frühsommer bildet sich in der westlichen Ostsee aufgrund von Salzgehalts- und Temperaturunterschieden in Bereichen mit Wassertiefen über 15 Meter eine saisonale thermohaline Schichtung aus. Dies kann über dem Boden, insbesondere in den inneren Förden und Buchten, zu einem Sauerstoffschwund mit Konzentrationen unter 2 mg/l führen.

Ist der Sauerstoffschwund besonders ausgeprägt, findet am Meeresboden anaerobe Zersetzungsprozesse von organischem Material (abgestorbene Algen oder Bodentiere) statt. Dies zeigt sich durch die Bildung des Faulgases Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ). Im Gegensatz zu 2018, wo  $H_2S$  nur an einer Station gefunden wurde, konnte das Faulgas in 2019 in vielen Be-

reichen der westlichen Ostsee nachgewiesen werden, verstärkt in der Flensburger Förde sowie in der Eckernförder Bucht.

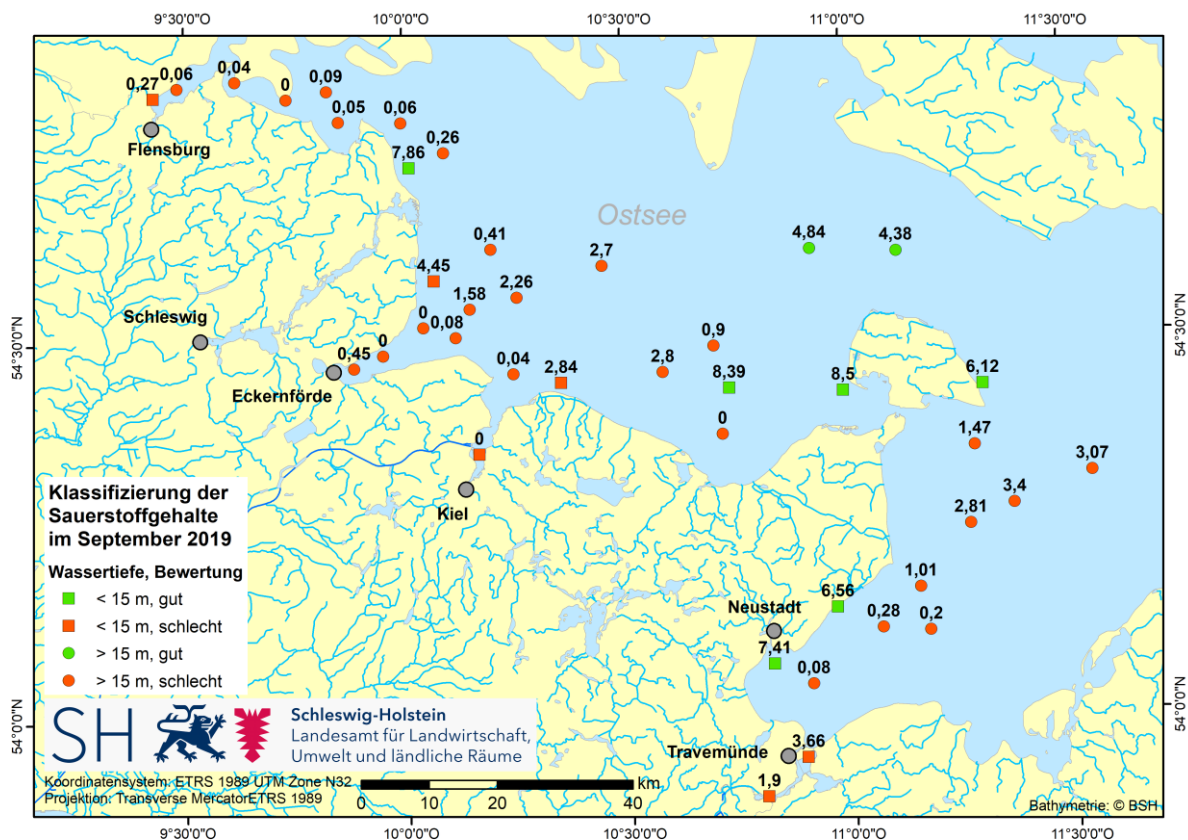


Abb. 3: Klassifizierte Sauerstoffgehalte (mg/l) im Tiefenwasser der westlichen Ostsee im September 2019, ein Meter über dem Meeresboden gemessen.

In Abb. 3 sind die gemessenen Sauerstoffgehalte an den einzelnen Messstellen des schleswig-holsteinischen Ostseegebietes klassifiziert in einer Karte dargestellt. Im September 2019 wurde der Sauerstoffzielwert<sup>1</sup> von 4 mg/l an 27 von 29 (**93%**) der untersuchten Messstellen >15 m unterschritten. Im Jahr 2018 lag der Anteil bei 80%. **Die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser der westlichen Ostsee sind also in diesem Jahr im Vergleich zur Situation im Vorjahr etwas schlechter zu bewerten.** Auch in den flacheren Bereichen herrscht in diesem Jahr Sauerstoffmangel, der dort geltende Sauerstoff-Zielwert von 6 mg/l wurde an sechs von zwölf (**50%**) der untersuchten Messstellen nicht erreicht.

Eine regionalisierte Auswertung der mittleren Sauerstoffgehalte (Median) im Tiefenwasser der verschiedenen Förden und Buchten der westlichen Ostsee ist in Abb. 4 mit Angabe des Zielwertes für saisonal geschichtete Gebiete dargestellt. Zum Vergleich sind die Sauerstoffgehalte des Vorjahres mit angegeben. Erkennbar ist, dass die Gehalte im September 2019 in vielen Regionen deutlich schlechter sind im Vergleich zum Vorjahr. Nur im Fehmarnbelt lie-

<sup>1</sup> Die Zielwerte wurden von einer Fach-AG des Bund/Länder Ausschusses für die Nord- und Ostsee (BLANO) entwickelt und werden seit 2016 in den deutschen Ostseegewässern angewandt.

gen die Sauerstoffgehalte in diesem Jahr über dem Zielwert für „gute Sauerstoffbedingungen“ von 4 mg/l.

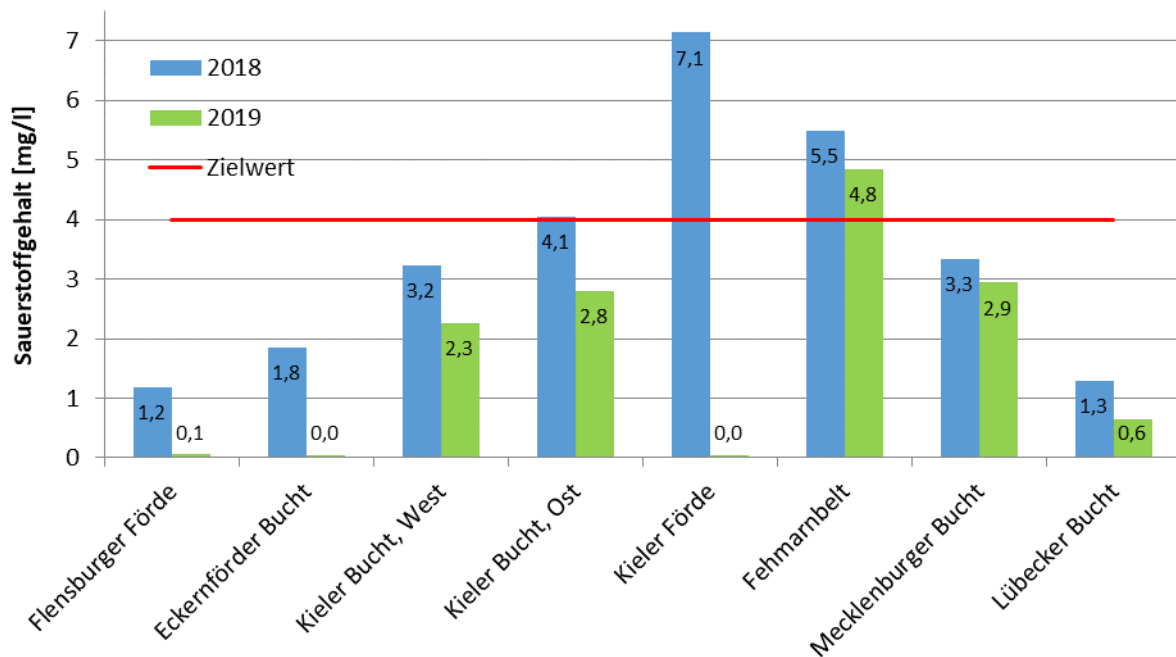


Abb. 4: Darstellung des Medians der Sauerstoffgehalte in den verschiedenen Regionen der westlichen Ostsee im September 2018 und 2019, inklusive des Sauerstoffzielwertes.

Am Beispiel der Messstelle „**Flensburger Innenförde**“ wurden die Sauerstoffgehalte jeweils im September von 2009 bis 2019 dargestellt (Abb. 5). Die Zeitreihe zeigt, dass hier der Sauerstoffzielwert von 4 mg/l in den letzten 10 Jahren jeweils im Spätsommer immer deutlich unterschritten wurde. Zusätzlich wurde wie schon im Jahr zuvor Schwefelwasserstoff festgestellt, d.h. es herrscht extremer Sauerstoffschwund.

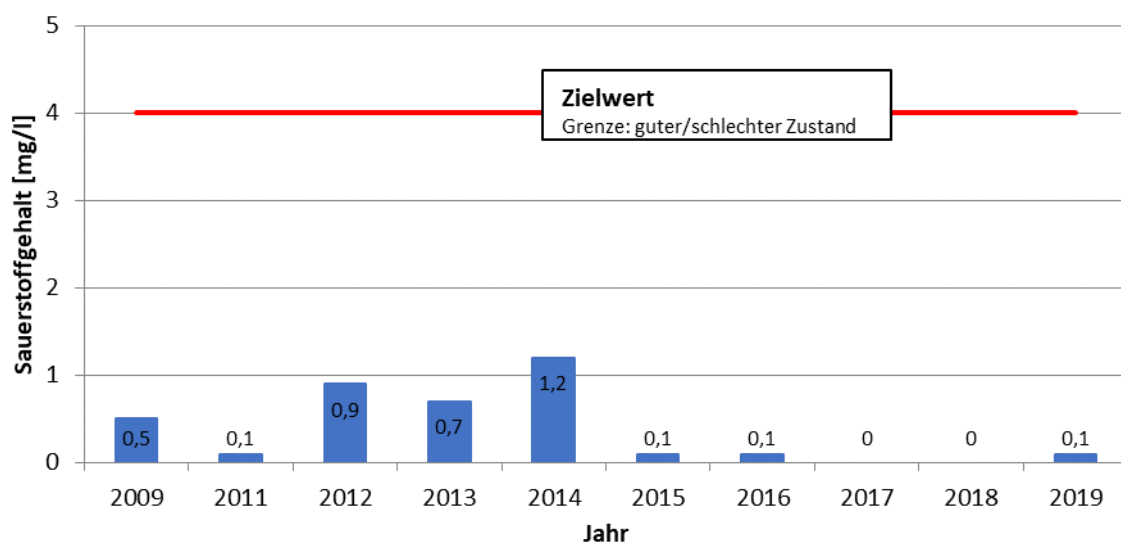


Abb. 5: Darstellung der spätsommerlichen Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser in der Flensburger Innenförde im Zeitraum von 2009 bis 2019 und des Sauerstoffzielwertes.

Anders als in 2018 wurden in diesem Jahr in vielen Bereichen der Ostsee vermehrt ein Fischsterben beobachtet. In den Medien wurde besonders über angespülte Fische in der Lübecker Bucht und der Eckernförder Bucht berichtet. Es ist davon auszugehen, dass der anhaltende Sauerstoffmangel in Verbindung mit Schwefelwasserstoffentwicklung die Ursache für das Fischsterben ist. Der äußerst starke und konstante Südwestwind hatte das sauerstoffreiche Oberflächenwasser aus den Buchten hinausgedrückt, wodurch das sauerstoffarme Tiefenwasser aufsteigen konnte, ein wetterabhängiges Ereignis, das auch als „Upwelling“ bezeichnet wird. Da Schwefelwasserstoff ein sehr giftiges Gas ist, das zu Benommenheit, Krämpfen und schließlich zum Tod führt, können sich die Fische nicht mehr eigenständig in sichere Bereiche begeben und verenden, wenn sie mit dem schwefelwasserstoffhaltigen Wasser in Kontakt gekommen sind.

Sauerstoffuntersuchungen werden auch regelmäßig vom *Dänischen Nationalen Zentrum für Umwelt und Energie* (DCE) an der Universität Århus durchgeführt und in zwei Sauerstoffklassen bewertet (<2 mg/l und 2-4 mg/l). In Abb. 6 sind die modellierten Ergebnisse der Messungen im August 2019 für die westliche Ostsee dargestellt. Erkennbar ist der bereits im August auftretende, verbreitete starke Sauerstoffmangel (<2 mg/l) in der Flensburger Förde, der Eckernförder Bucht, sowie der Mecklenburger Bucht.

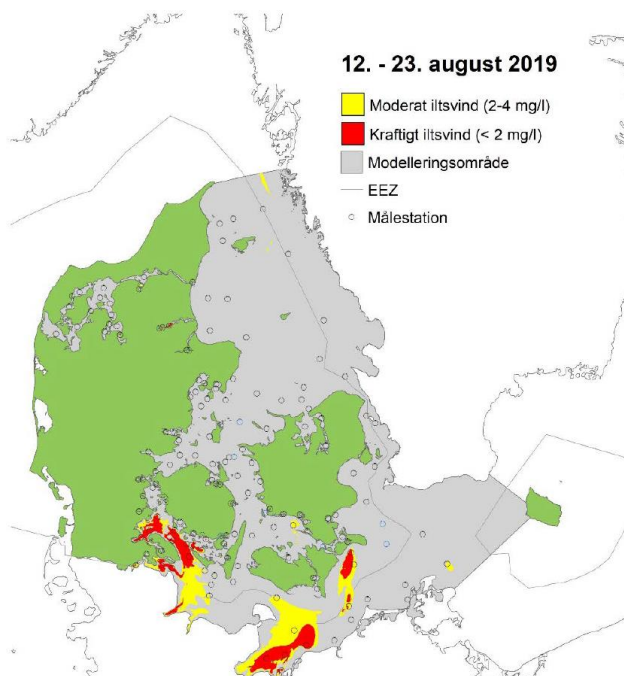


Abb. 6: Modellerte Sauerstoffkonzentrationen im Bodenwasser im August 2019. Quelle: Dänisches Nationales Zentrum für Umwelt und Energie (DCE, Institute for Bioscience, Århus Universitat).



## Auswirkungen des saisonalen Sauerstoffmangels auf die Bodentierfauna

Sinkt der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser unter 2 mg/l ab, wird es für Fische und die am oder im Meeresboden lebenden Tiere (Makrozoobenthos) zunehmend lebensbedrohlich. Dies gilt insbesondere, wenn diese Bedingungen über einen längeren Zeitraum bestehen bleiben und sich infolge mikrobieller Prozesse (Sulfatreduktion) das Faulgas **Schwefelwasserstoff** ( $H_2S$ ) bildet. Für sauerstoffatmende (aerobe) Tiere ist es ein äußerst starkes Zellgift, das zu einem größeren Tiersterben am Meeresboden führen kann. Abb. 7 und Abb. 8 zeigen beispielhaft den Unterschied der Meeresbodenbesiedlung zwischen Regionen mit sauerstoffhaltigem und sauerstofffreiem Tiefenwasser.



Abb. 7: Im Flachwasser (links) deutliche Besiedlung, während in tiefen sauerstoffarmen Bereichen sterbende Würmer auf dem Meeresgrund liegen (Fotos: LLUR).



Abb. 8: Schwefelbakterien (*Beggiatoa*) sind ein Indikator für einsetzenden Sauerstoffmangel (Foto: U. Kunz).

## Ursache für den Sauerstoffmangel am Meeresboden der westlichen Ostsee

Der saisonal auftretende Sauerstoffmangel im Tiefenwasser der westlichen Ostsee ist eine Folge der **Eutrophierung der Küstengewässer** durch zu hohe, das Wachstum der Planktonalgen fördernde *Nährstoffeinträge aus dem Einzugsgebiet*. Hier wird überwiegend eine intensive Landwirtschaft betrieben und die Nährstoffüberschüsse erweisen sich immer noch als zu hoch. Die in der *Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer* (2016) für die einmündenden deutschen Ostseezuflüsse festgelegte Zielkonzentration für Gesamtstickstoff von 2,6 mg/l (Jahresmittel) wird an allen Zuflüssen im schleswig-holsteinischen Gebiet, außer an der Schwentinemündung, noch deutlich überschritten. Eine Verringerung der Nährstoffeinträge wird insbesondere durch eine Reihe von Maßnahmen in den Einzugsgebieten zur Erreichung der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie angestrebt. So kann die Grundwasser-schutzberatung für Landwirte in vielen Bereichen auch den Stoffeintrag in die Oberflächengewässer verringern helfen. Auch die zwischen dem Umweltministerium und dem *Bauernverband Schleswig-Holstein* im Jahr 2013 vereinbarte *Allianz für den Gewässerschutz*, 2017 erneuert und erweitert um die Wasser- und Bodenverbände, soll u.a. durch den optimierten Einsatz von Wirtschaftsdüngern, wie der bodennahen Ausbringung bzw. Injektion von Gülle und der dauerhaften Anlage von Gewässerrandstreifen die Nährstoffe in der Fläche halten. Von der im 1. Halbjahr 2020 erwarteten Neufassung der 2017 novellierten *Düngeverordnung* des Bundes erhofft man sich eine Verringerung der diffusen Nährstoffeinträge in die Binnengewässer und damit auch in die inneren Ostseeküstengewässer.

Der spätsommerliche bzw. herbstliche **Sauerstoffmangel** ist ein Phänomen der westlichen Ostsee, das bis in die 70er Jahre des letzten Jahrhunderts nur gelegentlich zu beobachten war. Seit etwa 35 Jahren wird es allerdings **fast jährlich in den tiefen Meeresbereichen und den tiefen, austauscharmen Förden** beobachtet. Das saisonale Auftreten von Sauerstoffmangel mit Konzentrationen unter 4 mg/l bzw. von Sauerstoffschwund mit Konzentrationen unter 2 mg/l ist im **Brackwassermeer Ostsee** daher durchaus nicht ungewöhnlich, die Häufigkeit in den letzten Jahrzehnten aber durchaus besorgniserregend.

*Physikalisch bedingt* tritt im westlichen Teil der Ostsee alljährlich eine etwa vier Monate andauernde Schichtung des Wasserkörpers auf, d.h. wärmeres, salzarmes Oberflächenwasser liegt über kälterem, salzreichem Tiefenwasser. Dadurch bildet sich in 12 bis 17 Meter Wassertiefe eine so genannte **thermohaline Sprungschicht** aus, die den vertikalen Sauerstofftransport in das Tiefenwasser verhindert. Gerade dort aber laufen die sauerstoffzehrenden, mikrobiellen Abbauprozesse von abgestorbenen Frühjahrsplanktonalgenblüten ab. Der damit verbundene Sauerstoffschwund *am und im Meeresboden* wird auch als **sekundärer Eutrophierungseffekt** bezeichnet.

Die weitere Entwicklung der Sauerstoffgehalte wird maßgeblich von der spätherbstlichen Witterung beeinflusst. Windiges Wetter fördert die Sauerstoffzufuhr zum Meeresboden. Bei

der im Verlauf des Spätherbstes einsetzenden Abkühlung des Oberflächenwassers wird sich **die Situation auch in den Sauerstoffmangelgebieten mittelfristig wieder entspannen**, da dann eine vertikale Durchmischung einsetzt mit Sauerstoffzufuhr in das Tiefenwasser und damit bis an den Meeresboden. Dadurch werden sich die Sauerstoffverhältnisse für die Bodontiere deutlich verbessern und es kann, solange kein anderer schädigender Faktor existiert, eine Wiederbesiedlung erfolgen, die je nach Schädigungsgrad und ohne erneute Störungen mehrere Jahre andauern kann.

**Kontakt:**

Dipl.-Chem. Hannah Lutterbeck, Dezernat Küstengewässer  
Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und  
ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein,  
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek,  
Tel.: 0 43 47 / 704-274, Fax: 0 43 47 / 704-402;  
Email: [Hannah.Lutterbeck@llur.landsh.de](mailto:Hannah.Lutterbeck@llur.landsh.de)