

Flintbek, 28.9.2017

Sauerstoffmangel im bodennahen Wasser der westlichen Ostsee

Das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR) hat im Zeitraum vom **28.8. bis 12.9.2016** mit MS "Haithabu" (Abb. 1) die alljährliche Messkampagne zur Ermittlung der Sauerstoffgehalte in der westlichen Ostsee durchgeführt. Von den insgesamt 36 Messstellen lagen 29 in Wassertiefen unterhalb 15 Meter und sieben 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)

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 Milligramm pro Liter führen.

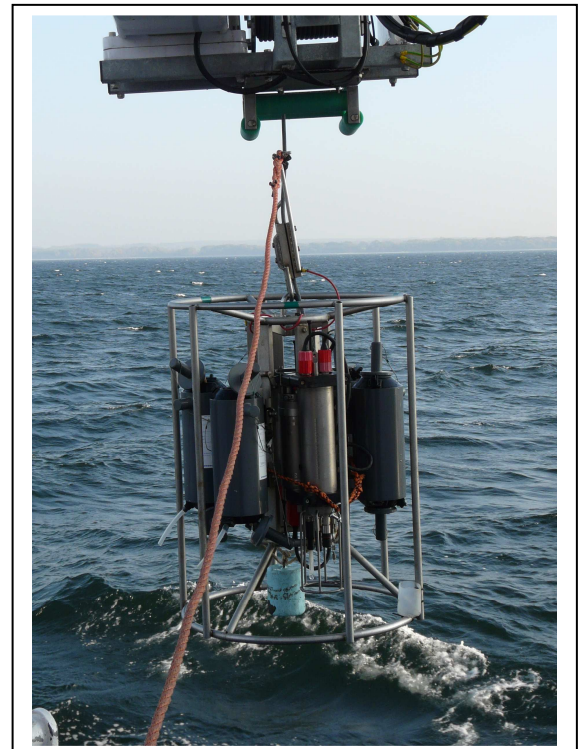


Abb. 2: "Rosette" mit Wasserschöpfern und Multiparametersonde (Foto: LLUR)

In diesem Jahr konnte in den Tiefenwasserproben sogar verbreitet das Faulgas Schwefelwasserstoff (H_2S) nachgewiesen werden, d.h. am Meeresboden fanden infolge des Sauerstoffschwunds bereits anaerobe Zersetzungsprozesse von organischem Material (abgestorbene Algen oder Bodentiere) statt. Dies betrifft insbesondere die Ostseeregionen Flensburger Förde und Geltinger Bucht, die mittlere Kieler Bucht (Stollergrund), die Kieler Außenförde sowie die die Mecklenburger, die Lübecker und die Neustädter Bucht. In Abb. 3 sind die gemessenen Sauerstoffgehalte an den einzelnen Messstellen des schleswig-holsteinischen Ostseegebietes in einer Karte klassifiziert dargestellt.

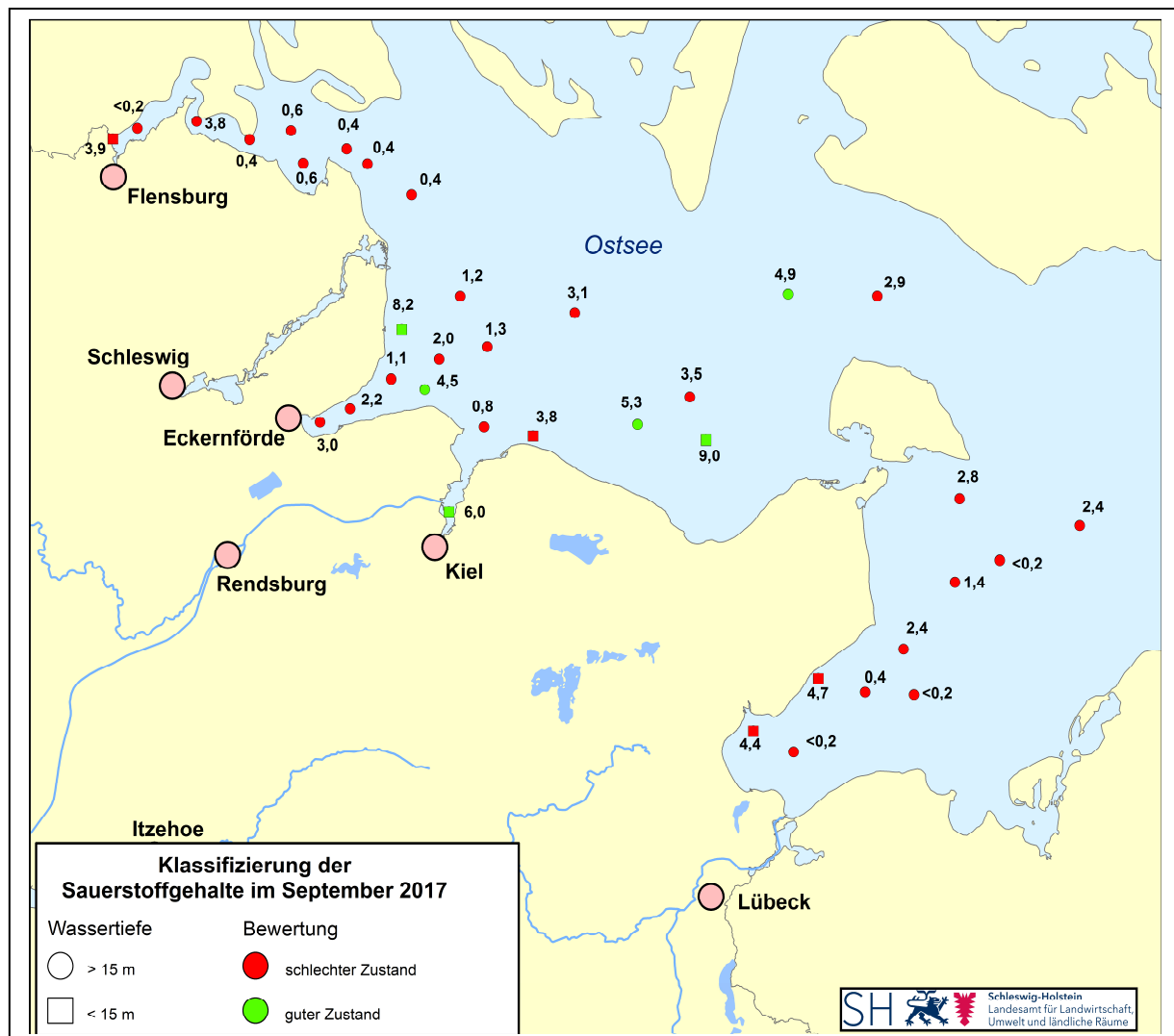


Abb. 3: Klassifizierte Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser der westlichen Ostsee im September 2017, ein Meter über dem Meeresboden gemessen

Im September 2017 wird der Sauerstoffzielwert¹ von 4 mg/l an **90%** der untersuchten *tiefen Messstellen* unterschritten. Im Jahr 2016 lag der Anteil bei 63%. **Die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser der westlichen Ostsee sind also in diesem Jahr im Ver-**

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

gleich zur Situation im Vorjahr erheblich schlechter zu bewerten. Auch in den flacheren Bereichen herrscht in diesem Jahr Sauerstoffmangel, der dort geltende Sauerstoff-Zielwert von 6 mg/l wird an **57%** der untersuchten Messstellen nicht erreicht.

Eine *regionalisierte Auswertung der mittleren Sauerstoffgehalte* 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 2017 in allen Regionen mit Ausnahme des Fehmarnbells deutlich schlechter sind im Vergleich zum Vorjahr. Im Fehmarnbelt liegen die Sauerstoffgehalte nur knapp unter dem Zielwert für „gute Sauerstoffbedingungen“ von 4 mg/l.

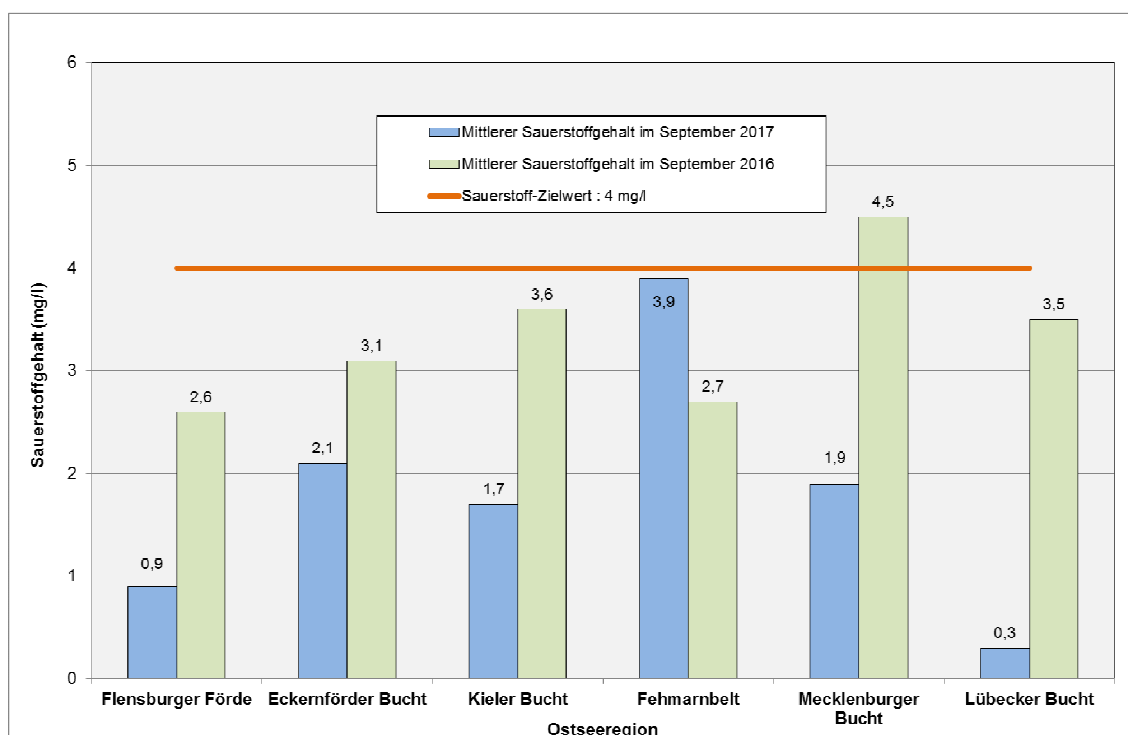


Abb. 4: Mittlere Sauerstoffgehalte in den verschiedenen Regionen der westlichen Ostsee im September 2017 und 2016 sowie Sauerstoffzielwert

Am Beispiel der Messstelle „**Flensburger Innenförde**“ werden die Sauerstoffgehalte jeweils im September von 2006 bis 2017 dargestellt (Abb. 5). Die Zeitreihe zeigt, dass hier der Sauerstoffzielwert von 4 mg/l in den letzten 12 Jahren jeweils im Spätsommer immer deutlich unterschritten wurde. 2017 wurde bereits Ende August ebenfalls ein sehr geringer Sauerstoffgehalt von <0,2 mg/l gemessen und es wurde Schwefelwasserstoff festgestellt, d.h. es herrscht extremer Sauerstoffschwund.

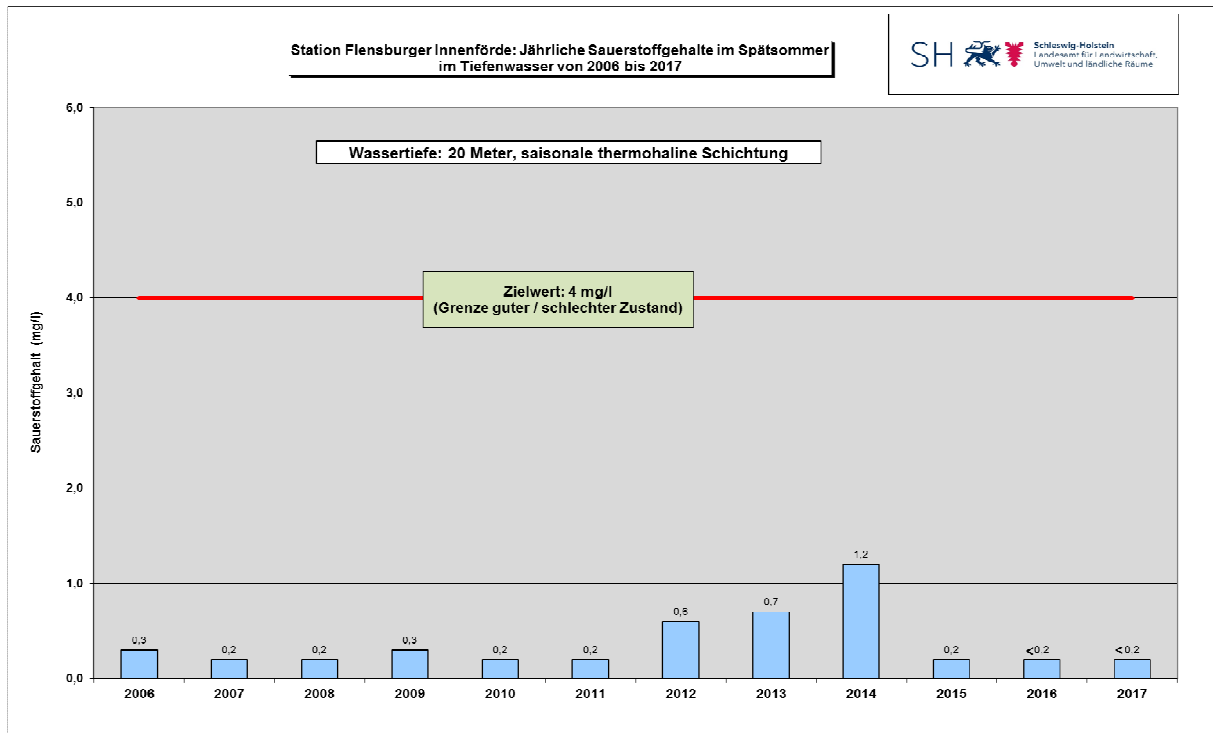
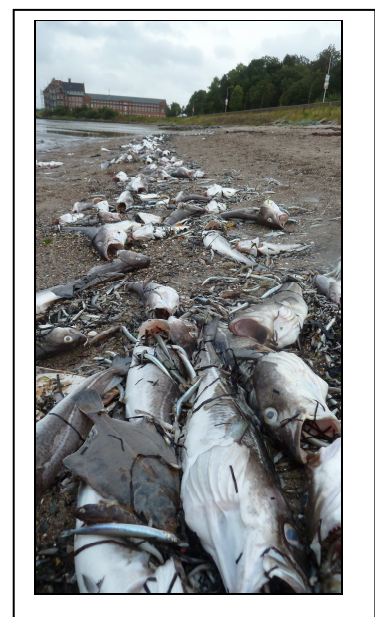


Abb. 5: Spätsommerliche Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser in der Flensburger Innenförde im Zeitraum von 2006 bis 2017 und Darstellung des Sauerstoffzielwerts

Am 12.9.2017 wurde in Eckernförde im Bereich des Südstrands ein Fischsterben in den Medien gemeldet. Zahlreiche tote Fische wurden angespült, darunter Plattfische (Klieschen, Flundern und Schollen) in Einzelexemplaren über den Strand verteilt, sowie tausende kleine Fische (Grundeln) und zahlreiche Dorsche (Abb. 6). Bis zu 20 verschiedene Fischarten wurden von einem Mitarbeiter des LLUR bei einer späteren Nachsuche gefunden. Berichte über Fischsterben gab es auch von der Kieler und Flensburger Förde.



Abb.6: Verendete Fische am Eckernförder Südstrand am 13.9.2017
(Fotos: Ivo Bobsien)



Als Ursache des Fischsterbens ist von anhaltendem Sauerstoffmangel bei Vorkommen von Schwefelwasserstoff auszugehen. Der äußerst starke und konstante Südwestwind hatte das

sauerstoffreiche Oberflächenwasser aus der Bucht hinausgedrückt, wodurch das sauerstoffarme Tiefenwasser aufsteigen konnte, ein wetterabhängiges Ereignis, das auch als „upwelling“ bezeichnet wird. Wenn bei diesem Prozess Fische eingeschlossen werden, kommt es unter Sauerstoffmangelbedingungen zum Fischsterben.

Die Entwicklung hin zu dem spätsommerlichen Sauerstoffmangel im Tiefenwasser der Förden und Buchten war bereits während des Ostseemonitorings im August feststellbar. In der **Flensburger Innenförde** und in der **Geltlinger Bucht** lagen die Sauerstoffkonzentration über dem Meeresboden bereits Ende August unter 1 mg/l und Schwefelwasserstoff war festzustellen. In der äußeren **Eckernförder Bucht** lag die Sauerstoffkonzentration bei nur 1,1 mg/l, während Mitte Juli noch 4,1 mg/l gemessen wurden. In der **Kieler Außenförde** waren es Mitte Juli noch 5 mg/l, d.h. ein „guter Zustand“, während der Sauerstoffgehalt Anfang September dann bei nur noch 0,8 mg/l lag und auch hier Schwefelwasserstoff feststellbar war. Eine ähnlich starke Abnahme zeigte sich auch in der **Mecklenburger** und in der **Lübecker Bucht**, hier wurden Ende August nur noch Gehalte zwischen 0,7 und 1,8 mg/l gemessen.

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. 7 sind die modellierten Ergebnisse der Messungen im August 2017 für die westliche Ostsee dargestellt. Erkennbar ist der bereits im August auftretende, verbreitete starke Sauerstoffmangel (<2 mg/l) südlich der Inseln Fünen und Ærø, in der Flensburger Förde, der Eckernförder Bucht, der Kieler Förde sowie in der südwestlichen Mecklenburger und Lübecker Bucht.

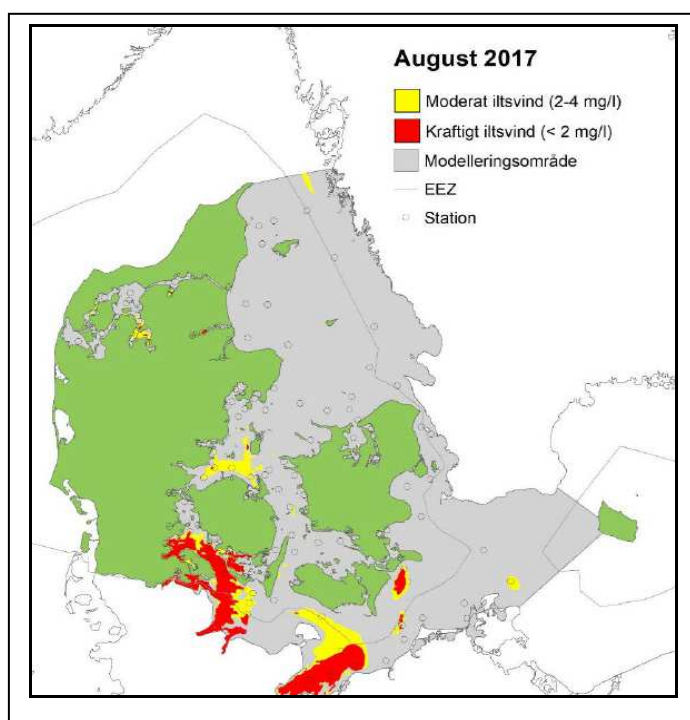


Abb. 7: Modellierte Sauerstoffkonzentrationen im Bodenwasser im August 2017. Quelle: Dänisches Nationales Zentrum für Umwelt und Energie (DCE, Institute for Bioscience).

Auswirkungen des saisonalen Sauerstoffmangels auf die Bodentierfauna

Sinkt der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser unter 2 Milligramm pro Liter ab, wird es für Fische (s.o.) 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. 8 und Abb. 9 zeigen beispielhaft den Unterschied der Meeresbodenbesiedlung zwischen Regionen mit sauerstoffhaltigem und sauerstofffreiem Tiefenwasser.



Abb. 8: Im Flachwasser (links) deutliche Besiedlung, während in tiefen sauerstoffarmen Bereichen sterbende Würmer auf dem Meeresgrund liegen (Fotos: LLUR)



Abb. 9: 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, außer an der Schwentinemündung, noch deutlich überschritten. Eine Verringerung der Nährstoffausträge wird insbesondere durch eine Reihe von Maßnahmen in den Einzugsgebieten zur Erreichung der Ziele der Wasser-Rahmenrichtlinie angestrebt. So kann die Grundwasserschutzberatung für Landwirte in vielen Bereichen auch den Stoffaustrag 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. Auch von der 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 Milligramm pro Liter bzw. von Sauerstoffschwund mit Konzentrationen unter 2 Milligramm pro Liter ist im **Brackwassermeer Ostsee** daher durchaus nicht ungewöhnlich. *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 **mittelfristig die Situation auch in den Sauerstoffmangelgebieten 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. Thorkild Petenati, Dezernat Küstengewässer
Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und
ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein,
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek,
Tel.: 0 43 47 / 704-423, Fax: 0 43 47 / 704-402;
Email: Thorkild.Petenati@llur.landsh.de