

TEXTE

19/2026

**Abschlussbericht**

# **Pilottest eines innovativen Monitorings der Aspekte Eutrophierung und pelagische Habitate in der Nordsee (iMonEP)**

**von:**

Annika Grage, Karin Heyer  
BSH, Hamburg

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt



TEXTE 19/2026

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für  
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und  
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3720 25 201 0  
FB001524

Abschlussbericht

## **Pilottest eines innovativen Monitorings der Aspekte Eutrophierung und pelagische Habitate in der Nordsee (iMonEP)**

von

Annika Grage, Karin Heyer  
BSH, Hamburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

### **Durchführung der Studie:**

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Labor Sülldorf  
Wüstland 2  
22589 Hamburg

### **Abschlussdatum:**

Mai 2023

### **Redaktion:**

Fachgebiet II 2.3 Schutz der Meere  
Julian Mönnich, Wera Leujak, Barbara Bauer

### **DOI:**

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8325>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Februar 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.



### **Kurzbeschreibung: Pilottest eines innovativen Monitorings der Aspekte Eutrophierung und pelagische Habitate in der Nordsee (iMonEP)**

Im Rahmen der 2008 in Kraft getretenen Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie ((MSRL) 2008/56/EG) begann in 2024 der dritte Managementzyklus mit der Folgebewertung des Umweltzustands der Meeresgewässer. Die Bewertung erfolgt für die Nordsee regional abgestimmt im Rahmen von OSPAR und umfasst u.a. die Aspekte pelagische Habitate (Deskriptor 1) und Eutrophierung (Deskriptor 5). Durch die bei OSPAR erarbeiteten Bewertungsverfahren sind die zu überwachenden Parameter und die Häufigkeit der Beprobungen vorgegeben.

Im iMonEP-Projekt wurden Vorschläge für effiziente, aussagekräftige und kostengünstige Monitoringstrategien erarbeitet. Grundlage dafür waren neben den schiffsgestützten Monitoringdaten auch Daten aus anderen Quellen. Es wurde diskutiert, welchen Wert die einzelnen Datenquellen für das Monitoring und die Bewertung gemäß den Vorgaben von OSPAR haben. Es wurden Vorschläge erarbeitet, wie die Datenlage für einzelne Parameter verbessert werden könnte. Aufbauend auf den Projektergebnissen soll zukünftig ein Routinemonitoring etabliert werden.

**Monitoring der Eutrophierungsparameter:** Für die OSPAR Eutrophierungsbewertung müssen Daten zu Chlorophyll a, Nährstoffen und Sauerstoff erhoben werden. Das schiffsgestützte in-situ BSH-Routinemonitoring erfasst diese Parameter 2 - 3mal pro Jahr. Verglichen mit den Vorgaben von OSPAR ist dies deutlich zu wenig. Daher wurden im iMonEP-Projekt weitere Datenquellen für diese Parameter zusammengestellt und überprüft, inwieweit die unterschiedlichen Methoden zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Es konnte gezeigt werden, dass für Nährstoffe und Sauerstoff automatische Messverfahren (z. B. Sonden) und für Chlorophyll Sonden und Fernerkundungsdaten vergleichbare Daten zu den in-situ Messungen liefern, sodass sie ins Monitoring eingebunden werden könnten. Kritischer Punkt ist noch die Qualitätssicherung, die Voraussetzung für die Weitergabe der Daten ist.

**Planktonuntersuchungen:** Das Plankton wird in der deutschen AWZ der Nordsee derzeit routinemäßig nicht beprobt. Für die Bewertung der pelagischen Habitate müssen Planktondaten des Arteninventars einschließlich der Abundanz (Zooplankton) bzw. Biomasse (Phytoplankton) erhoben werden. Im Rahmen des iMonEP-Projektes wurden daher auf den in-situ BSH-Routinemonitoringfahrten Planktonbeprobungen durchgeführt. Neben klassischen Zählanalysen wurden auch innovative Methoden, wie z. B. DNA-Analytik, getestet.

### **Abstract: Pilot test of an innovative monitoring programme for eutrophication and pelagic habitats in the North Sea**

As part of the Marine Strategy Framework Directive ((MSRL) 2008/56/EC), which came into force in 2008, the third management cycle began in 2024 with the follow-up assessment of the environmental status of marine waters. The assessment is carried out regionally for the North Sea within the framework of OSPAR and includes, among other topics, the aspects of pelagic habitats (descriptor 1) and eutrophication (descriptor 5). The assessment methods developed by OSPAR specify the parameters to be monitored and the frequency of sampling.

The iMonEP project developed suggestions for efficient, meaningful and cost-effective monitoring strategies. In addition to the ship-based monitoring data, this was also based on data from other sources. The value of the individual data sources for monitoring and evaluation in accordance with OSPAR's specifications was discussed. Suggestions were developed as to how the data situation for individual parameters could be improved. Based on the project results, routine monitoring will be established in the future.

**Monitoring of eutrophication parameters:** For the OSPAR eutrophication assessment, data on chlorophyll a, nutrients and oxygen must be collected. The ship-based in-situ BSH routine monitoring records these parameters 2 - 3 times per year. Compared to OSPAR's specifications, this is clearly not enough. Therefore, in the iMonEP project, additional data sources for these parameters were compiled and checked to what extent the different methods lead to comparable results. It was shown that for nutrients and oxygen, automatic measurement methods (e.g. sensors) and for chlorophyll, fluorescence sensors and remote sensing data provide comparable data to the in-situ measurements, so that they could be integrated into monitoring. The critical point is quality assurance, which is a prerequisite for passing on the data.

**Plankton studies:** Plankton is currently not routinely sampled in the German EEZ of the North Sea. To assess pelagic habitats, plankton data from the species inventory including abundance (zooplankton) and biomass (phytoplankton) must be collected. As part of the iMonEP project, plankton sampling was carried out on the in-situ BSH routine monitoring trips. In addition to classic counting analyses, innovative methods were also tested, for instance DNA analysis.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis .....	11
Abkürzungsverzeichnis.....	13
Zusammenfassung.....	14
Summary .....	21
1 Einleitung.....	27
1.1 Hintergrund.....	27
1.2 Projektbeschreibung und Aufbau dieses Berichtes .....	27
2 Vorschlag für die Monitoringstrategie .....	29
2.1 Vorgaben gemäß OSPAR und MSRL.....	29
2.1.1 Untersuchungsparameter und deren räumliche und zeitliche Vorgaben.....	29
2.2 Bestandsaufnahme der Monitoringaktivitäten und Möglichkeiten zur Verbesserung der Datenlage .....	31
2.2.1 Chlorophyll a .....	31
2.2.2 Nährstoffe .....	34
2.2.3 Sauerstoff.....	37
2.2.4 Schädliche Algenblüten.....	40
2.2.5 Plankton .....	42
2.2.5.1 Pelagische Habitate in der Deutschen Bucht.....	42
2.2.5.2 iMonEP-Probennahmestrategie zur Bedienung der OSPAR-Bewertungsindikatoren..	45
2.2.5.3 Lassen sich Veränderungen im Zooplankton im 10jährigen Vergleich erkennen?.....	50
2.2.5.4 Wie aussagekräftig ist die Chl a-Konzentration als Biomassewert für das Phytoplankton?.....	54
2.2.5.5 Welchen Wert haben DNA-Analysen für das Planktonmonitoring? .....	55
2.2.5.6 Welchen Wert haben CPR-Daten für das Planktonmonitoring? .....	61
2.2.5.7 Zeitbedarf und Kosten für die Planktonbeprobung und Laborauswertung .....	62
2.2.6 Bewertung der Lage der Monitoringstationen für die Eutrophierungsbewertung .....	64
2.2.6.1 Bewertung der Eignung der Lage der BSH-Routinemonitoringstationen.....	64
2.2.6.2 Bewertung der Eignung der Lage der iMonEP-Projektstationen.....	65
A Anhang: Datenlage und Vergleichbarkeit der einzelnen COMP4-Bewertungsparameter aus unterschiedlichen Quellen .....	67
A.1 Chlorophyll a .....	67
A.1.1 Datenlage.....	67

A.1.2	Vergleichbarkeit der in-situ gemessenen Chl a-Daten mit Sondendaten.....	68
A.1.3	Vergleichbarkeit der in-situ gemessenen Chl a-Daten mit den Daten aus der Fernerkundung.....	71
A.1.4	Vergleichbarkeit der in-situ gemessenen Chl a-Konzentrationen mit den Daten aus den Modellberechnungen .....	75
A.1.5	Brauchbarkeit der Phytoplankton Colour Indexwerte (PCI) vom Continuous Plankton Recorder (CPR).....	77
A.2	Nährstoffe .....	79
A.2.1	Datenlage .....	79
A.2.2	Vergleichbarkeit der in-situ gemessenen Nährstoffe mit Daten aus automatischen Messsystemen .....	79
A.2.3	Vergleichbarkeit der in-situ gemessenen Nährstoffe mit den modellierten Nährstoffkonzentrationen .....	85
A.3	Plankton .....	88
A.3.1	Methodische Untersuchungen zur DNA-Methode und Aufwand .....	88
A.3.2	Daten des Continuous Plankton Recorder (CPR) .....	94
A.4	Bewertung der Lage Eignung der Monitoringstationen .....	97
A.4.1	Lage der iMonEP-Stationen im Vergleich zu den Vorgaben von OSPAR .....	97
A.4.2	Bewertung der Eignung der Lage der BSH-Routinemonitoringstationen.....	99
3	Quellenverzeichnis .....	111

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Eutrophierungsbewertungsgebiete und Monitoringstationen	30
Abbildung 2:	Positionen mit verfügbaren in-situ Messungen für Chl a im Sommer 2021 .....	33
Abbildung 3:	Lage und Bezeichnung der MARNET-Messstationen .....	38
Abbildung 4:	Sauerstoffsättigung in Bodennähe an der MARNET-Station Nordseeboje 2 .....	39
Abbildung 5:	Bodennahe Sauerstoffsättigung am 11.09.2021 ERGOM-Modellberechnung (BSH) .....	39
Abbildung 6:	Chl a aus Fernerkundungsbildern und auf der Hereon-FerryBox-Route im April 2021 .....	41
Abbildung 7:	OSPAR-Bewertungsgebiete für die pelagischen Habitate und iMonEP-Stationen.....	43
Abbildung 8:	Ergebnisse der Clusteranalyse Zooplankton .....	45
Abbildung 9:	Phytoplanktonzusammensetzung der sieben iMonEP-Projektreisen .....	47
Abbildung 10:	Zooplanktonzusammensetzung der iMonEP-Projektreisen in 2021 bis 2023 .....	49
Abbildung 11:	Meroplankton Abundanz im zeitlichen Vergleich in den drei pelagischen Habitaten .....	52
Abbildung 12:	Copepoda Abundanz im zeitlichen Vergleich in den drei pelagischen Habitaten .....	53
Abbildung 13:	Chl a vs. Phytoplankton C in 2021, 2022 und 2023 .....	54
Abbildung 14:	Zusammensetzung Taxa DNA-Analyse vs. klassische Zählung (März 2021) .....	55
Abbildung 15:	Copepoda-Taxazahl DNA-Analyse vs. klassische Zählung .....	56
Abbildung 16:	Vorhandene CPR-Daten zwischen 2015 bis 2019.....	62
Abbildung A-17:	Vergleich der Chl a-Konzentration von der FerryBox und den Labormessung .....	69
Abbildung A-18:	Chl a-Konz. ATAIR-Sondenmessung vs. in-situ Labormessung	69
Abbildung A-19:	Chl a-Konz. ATAIR-Sondenmessung und in-situ Labormessung Juli 2021 .....	70
Abbildung A-20:	Chl a-Konz. Fluorometermessung (CTD-Sonde) vs. in-situ-Labormessung .....	71
Abbildung A-21:	Chl a-Konzentrationen aus der Fernerkundung vs. in-situ Labormessungen .....	72
Abbildung A-22:	Chl a-Konzentrationen Fernerkundung vs. in-situ-Labormessung .....	72
Abbildung A-23:	Monatliche mittlere Chl a-Konzentrationen aus der Fernerkundung .....	73
Abbildung A-24:	Chl a-Konzentrationen aus in-situ-Messungen vs. Modellberechnungen .....	75

Abbildung A-25:	Chl a-Konzentrationen aus in-situ-Messungen vs. Modellberechnungen .....	76
Abbildung A-26:	PCI-Index (Grünheit der Gaze) in 2015 und 2016.....	78
Abbildung A-27:	TNO <sub>x</sub> -Konzentrationen in-situ-Labormessungen vs. Durchflussmessgerät .....	80
Abbildung A-28:	TNO <sub>x</sub> -Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Durchflussmessgeräte .....	81
Abbildung A-29:	PO <sub>4</sub> -Konzentrationen in-situ-Labormessungen vs. Durchflussmessgeräte .....	82
Abbildung A-30:	PO <sub>4</sub> -Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Durchflussmessgeräte .....	83
Abbildung A-31:	SiO <sub>4</sub> -Konzentrationen in-situ-Labormessungen vs. Durchflussmessgeräte .....	84
Abbildung A-32:	SiO <sub>4</sub> -Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Durchflussmessgeräte .....	85
Abbildung A-33:	NH <sub>4</sub> -Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Modellwerte .....	86
Abbildung A-34:	NO <sub>3</sub> -N-Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Modellwerte .....	86
Abbildung A-35:	SiO <sub>4</sub> -Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Modellwerte .....	87
Abbildung A-36:	PO <sub>4</sub> -Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Modellwerte .....	87
Abbildung A-37:	Primervergleich Proben März (AT003) und Juli/August (AT006) 2021.....	90
Abbildung A-38:	Vergleich beiden Primer anhand der Anzahl detektierter Diatomeen-Taxa .....	91
Abbildung A-39:	Vorhandene CPR-Daten zwischen 2008 und 2011 .....	95
Abbildung A-40:	Copepoda Menge im COMP4-Gebiet „Eastern North Sea“ .....	96
Abbildung A-41:	Regionen der Nordsee basierend auf der Dichteschichtung....	98
Abbildung A-42:	In-situ Chl a-Messwerte seit 2015 bis Januar 2023 „Ems plume“ .....	100
Abbildung A-43:	In-situ Chl a-Messwerte seit 2015 bis Januar 2023 „Elbe plume“ .....	100
Abbildung A-44:	In-situ Chl a-Messwerte seit 2015 bis Januar 2023 „Outer coastal DEDK“ .....	101
Abbildung A-45:	In-situ Chl a-Messwerte seit 2015 bis Januar 2023 „German Bight central“ .....	102
Abbildung A-46:	In-situ Chl a-Messwerte seit 2015 bis Januar 2023 .....	103
Abbildung A-47:	In-situ DIN-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Ems plume“ .....	104
Abbildung A-48:	In-situ DIN-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Elbe plume“ .....	104

Abbildung A-49:	In-situ DIN-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „German Bight central“ .....	105
Abbildung A-50:	In-situ DIN-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Outer coastal DEDK“ .....	105
Abbildung A-51:	In-situ DIN-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Eastern North Sea“ .....	106
Abbildung A-52:	In-situ PO <sub>4</sub> -Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Ems plume“ .....	106
Abbildung A-53:	In-situ PO <sub>4</sub> -Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Elbe plume“ .....	107
Abbildung A-54:	In-situ PO <sub>4</sub> -Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „German Bight central“ .....	107
Abbildung A-55:	In-situ PO <sub>4</sub> -Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Outer coastal DEDK“ .....	108
Abbildung A-56:	In-situ PO <sub>4</sub> -Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Eastern North Sea“ .....	108
Abbildung A-57:	Bodensauerstoffkonzentrationen in der Deutschen Bucht seit 1902 .....	109
Abbildung A-58:	Bodensauerstoffkonzentrationen $\leq 75$ % in der Deutschen Bucht seit 1902 .....	110

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vorgegebene Bewertungsparameter und deren Beprobungshäufigkeiten .....	29
Tabelle 2:	Deutsche COMP4-Gebiete und Anzahl der zu beprobenden Rasterzellen .....	31
Tabelle 3:	Soll und Ist der deutschen Monitoringstationen für Chlorophyll a .....	32
Tabelle 4:	Soll und Ist der deutschen Monitoringstationen für Nährstoffe .....	36
Tabelle 5:	Zusammenfassung der Ergebnisse der Clusteranalysen für Phyto- und Zooplankton .....	44
Tabelle 6:	Zusammenfassung der OSPAR-Indikatoren und bisherige Erkenntnisse .....	50
Tabelle 7:	Anzahl der Taxa, die durch die unterschiedliche Analysen detektiert wurden. ....	56
Tabelle 8:	Phytoplanktische Neobiota in der DNA-Analyse und in der klassischen Zählung .....	58
Tabelle 10:	Toxische Phytoplankter detektiert durch DNA-Analyse und klassische Zählung .....	60

Tabelle 10:	Finanzieller und zeitlicher Aufwand der klassischen Zählung und der DNA-Analyse .....	63
Tabelle A-11:	Verfügbare Chl a-Daten .....	67
Tabelle A-12:	Chl a-Konz. aus der Fernerkundung und die in-situ Labormessungen in 2020.....	74
Tabelle A-13:	Vergleich der derzeitigen OSPAR-Bewertung und der Bewertung anhand der BSH-Berechnung aus den BSH-Fernerkundungsdaten in 2020 .....	74
Tabelle A-14:	Verfügbare Nährstoffdaten .....	79
Tabelle A-15:	Vergleich der Anzahl an detektierten Arten zwischen den Filter- und Siebproben, wenn alle 9 iMonEP-Stationen (März 2022) zusammengefasst wurden.....	92
Tabelle A-16:	Vergleich der Anzahl an detektierten Taxa zwischen den Filter- und Siebproben, wenn alle 9 iMonEP-Stationen (März 2022) einzeln betrachtet wurden .....	93
Tabelle A-17:	Dauer einer DNA-Analyse.....	93
Tabelle A-18:	Zooplanktonfunde in der klassischen Zählung vs. CPR-Daten..	95
Tabelle A-19:	Schichtungsverhältnisse der COMP4-Gebiete im Vergleich zu Modellberechnungen .....	98



## Abkürzungsverzeichnis

<b>ASV</b>	Amplicon Sequence Variants
<b>AWZ</b>	Ausschließliche Wirtschaftszone
<b>BSH</b>	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
<b>CTD</b>	Ozeanographische Messsonde für Leitfähigkeit, Temperatur und Dichte
<b>Chl a</b>	Chlorophyll a
<b>CPR</b>	Continuous Plankton Recorder
<b>COMP4-Gebiete</b>	OSPAR Eutrophierungsbewertungsgebiete
<b>DB</b>	Deutsche Bucht
<b>DIN</b>	Dissolved inorganic nitrogen
<b>Hereon</b>	Helmholtz Zentrum Hereon, Geesthacht
<b>ICES</b>	International Council for the Exploration of the Sea
<b>IOW</b>	Institut für Ostseeforschung, Warnemünde
<b>LfU</b>	Landesamt für Umwelt, Schleswig-Holstein
<b>MUDAB</b>	Meeresumweltdatenbank
<b>NLWKN</b>	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
<b>NS</b>	North Sea
<b>OSPAR</b>	Oslo-Paris Konvention (1992), Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantiks
<b>OTU</b>	Operational Taxonomic Unit
<b>PCI</b>	Plankton Colour Index
<b>PH1, PH2, PH3</b>	OSPAR Indikatoren Pelagische Habitate
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt, Dessau
<b>vTI</b>	von Thünen Institut, Bremerhaven

## Zusammenfassung

Das Ziel des iMonEP-Projekts ist die Erarbeitung von Vorschlägen für repräsentative und kostengünstige Monitoringstrategien für die Erhebung von Daten zur Bewertung der pelagischen Habitate (Deskriptor 1) und der Eutrophierung (Deskriptor 5) gemäß der in 2008 in Kraft getretenen Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) 2008/56/EG. Diese Bewertungen erfolgen für die Nordsee regional abgestimmt im Rahmen von OSPAR. Daher müssen die Vorgaben von OSPAR bzgl. der Bewertungsparameter, der räumlichen Bewertungseinheiten, der Beprobungsfrequenz und der Anzahl an Stationen berücksichtigt werden. Aufgrund der hohen natürlichen zeitlichen und räumlichen Variabilität im Pelagial inkl. der Planktongesellschaften ist eine ausschließliche in-situ Beprobung nicht möglich, da die erforderliche hohe Probennahmefrequenz unverhältnismäßig hohe Kosten verursachen würde. Deshalb muss das in-situ-Monitoring von innovativen Beprobungsmethoden flankiert werden. Dazu zählen Daten u. a. von dem Continuous Plankton Recorders (CPR), von FerryBoxen, von stationären Sonden, aus der Fernerkundung (Satelliten), aus Modellberechnungen sowie DNA-Analysen für die taxonomische Bestimmung der Planktonarten. Diese Daten können nur dann für das Monitoring gemeinsam genutzt werden, wenn sie vergleichbar und somit kombinierbar sind. In dem iMonEP-Projekt wurde daher, für die zu bewertenden Parameter, nach weiteren Datenquellen gesucht und die Vergleichbarkeit der Daten geprüft. Es wurde diskutiert, welchen Wert die einzelnen Datenquellen für das Monitoring und die Bewertung gemäß den Vorgaben von OSPAR haben. Außerdem wurden Vorschläge erarbeitet, wie die Datenlage für einzelne Parameter verbessert werden könnte.

Das iMonEP-Projekt befasst sich a) mit den Parametern für die Eutrophierungsbewertung (Deskriptor 5) und b) mit dem Monitoring der pelagischen Habitate (Deskriptor 1).

### ► Eutrophierung (Deskriptor 5)

Die Eutrophierungsbewertung (COMP4-Bewertung nach OSPAR) berücksichtigt neben den Chlorophyll a-, Nährstoff- und Sauerstoffkonzentrationen auch das MSRL-Kriterium (D5C3 laut EU-KOM 2017) „Schädliche Algenblüten“ anhand der Zellzahlen ausgewählter störender Phytoplanktonarten. Für die o. g. Eutrophierungsparameter wurde im iMonEP-Projekt recherchiert, welche Institutionen diese Daten erheben, ob sie verfügbar sind und ob sie den Vorgaben von OSPAR entsprechen. Mit Hilfe dieser Informationen wurden Datenlücken identifiziert und Möglichkeiten diskutiert, wie diese Lücken gefüllt werden können. Für Daten aus unterschiedlichen Quellen wurde ihre Vergleichbarkeit überprüft, denn nur vergleichbare Daten lassen sich kombinieren. Die räumliche Abdeckung der deutschen AWZ mit Monitoringdaten ist durch das BSH-Routinemonitoring sehr gut, aber die zeitliche Abdeckung ist, verglichen mit den Vorgaben von OSPAR, zu gering. Die Datenlage ist für die einzelnen Parameter unterschiedlich gut.

- 1. Chlorophyll:** OSPAR gibt für Chl a eine monatliche Beprobung im Bewertungszeitraum von März bis September vor. Die Datenlage gemäß den räumlichen und zeitlichen Vorgaben von OSPAR ist vergleichsweise gut, da Daten aus unterschiedlichen Quellen wie in-situ Labormessungen, Sonden, Fernerkundungsdaten und Modellberechnungen berücksichtigt werden können. Einen großen Wert haben insbesondere die zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Fernerkundungsdaten. Sie werden täglich erhoben, stehen jedoch nur an Tagen ohne Bewölkung zur Verfügung. Vergleiche zwischen den Chl a-Daten aus der Fernerkundung und den in-situ Labormessungen des BSH-Routinemonitorings ergaben gute Übereinstimmungen der Werte. Einschränkungen gab es in Küstennähe, wo die Übereinstimmungen der Messwerte abnahmen. Es muss

berücksichtigt werden, dass die Fernerkundungsdaten und in-situ Labormessungen zwar signifikant korrelieren, aber die Fernerkundungsdaten häufig niedriger als die Labormessungen sind. In Küstennähe nehmen die Küstenländer monatlich Proben für in-situ Labormessungen. Dabei ist insbesondere der Bereich bis zur 1 sm-Zone mit Stationen abgedeckt. Die Daten sind in der MUDAB verfügbar. Weitere Quellen für Chl a sind Sondenmessungen. Sie stammen von Sonden in automatischen Durchflusssystemen auf FerryBox-Routen und Forschungsschiffen und Sonden, die an der CTD angebracht sind. Auch diese Daten korrelieren signifikant mit den in-situ Labormesswerten, sodass sie für das Monitoring genutzt werden könnten. Voraussetzung hierfür ist jedoch die regelmäßige Qualitätssicherung. Alle diese Daten sind nicht in der MUDAB verfügbar. Die FerryBox-Daten sind eine sehr wertvolle Datenquelle, da sie zeitlich und räumlich hochaufgelöste Daten liefern. Allerdings muss gewährleistet sein, dass die Schiffsroute verlässlich betrieben wird. Während der Laufzeit des iMonEP-Projektes wurde die Hereon FerryBox-Route, die mehrmals wöchentlich durch das COMP4-Gebiet „Eastern North Sea“ führte, Anfang 2023 von der Reederei verlegt und läuft nun nicht mehr durch die deutsche AWZ. Die Daten des Fluorometers an der CTD ergeben zusätzlich Informationen über die Vertikalverteilung des Chl a in der Wassersäule. Da die in-situ Labormesswerte von Proben aus 5 m Wassertiefe stammen, ist diese Zusatzinformation sehr interessant und erleichtert in einigen Fällen die Interpretation der Daten. Neben den quantitativen Messwerten für Chl a gibt es noch den qualitativen PCI-Wert aus den CPR-Auswertungen, der über die Grünfärbung der Gaze ermittelt wird. Die PCI-Werte können als grober Näherungswert für die Phytoplankton-Biomasse angesehen werden. Um einen Eindruck vom jahreszeitlichen Verlauf der Chl a-Konzentration in den einzelnen COMP4-Gebieten in der deutschen AWZ zu erhalten, wurden exemplarisch für das Jahr 2020 die Chl a-Monatsmittelwerte aus der Fernerkundung berechnet. Erwartungsgemäß waren die Chl a-Konzentration in Küstennähe höher als in den küstenfernen Gebieten. Interessant war, dass der jahreszeitliche Verlauf der Chl a-Konzentrationen in allen COMP4-Gebieten vergleichbar war, mit jeweils den höchsten Chl a-Konzentrationen im März/April und den niedrigsten im Juni.

2. **Nährstoffe:** OSPAR gibt monatliche Beprobungen im Bewertungszeitraum von Dezember bis Februar vor. Die Datenlage gemäß den räumlichen und zeitlichen Vorgaben von OSPAR ist beim Nährstoffmonitoring in der deutschen AWZ daher nicht ausreichend, da das BSH-Routinemonitoring nur einmal in diesem Zeitraum im Januar bzw. Februar stattfindet. Die räumliche Abdeckung des BSH-Routinemonitorings ist mit 40 Stationen für in-situ-Labormessungen sehr gut. Weitere Nährstoffdaten gibt es aus in-situ Labormessungen von den Monitoringaktivitäten der Bundesländer, von automatischen Messsystemen und von Modellberechnungen. Vergleiche zwischen den in-situ Labormesswerten der Nährstoffe des BSH-Routinemonitorings mit probeweise eingesetzten automatischen Durchflusssystemen und einer Nitrat-Sonde erbrachten eine sehr gute Übereinstimmung der Werte, so dass diese Systeme auch für das Monitoring eingesetzt werden könnten. Wenn die automatischen Systeme parallel zu der in-situ Probennahme beim BSH-Routinemonitoring laufen, erhält man wichtige Informationen zur Nährstoffverteilung zwischen den Stationen und es ergibt sich für die gesamte deutsche AWZ ein flächendeckendes Bild der Verteilungen der einzelnen Nährstoffe. Zwischen den in-situ-Labormessungen und den Nährstoffkonzentrationen, die mit dem ERGOM-Modell errechnet wurden, bestehen aktuell noch keine guten direkten Übereinstimmungen. Hier sind noch weitere Modellanpassungen notwendig. Denkbar ist es auch andere Modellansätze zu verwenden, die beispielsweise die Anzahl der Tage berechnen, an denen die Zielwerte überschritten wurden.

Potentielle Möglichkeiten die Datenlage zu verbessern: In der 1sm-Zone erheben die Küstenbundesländer i. R. in der Wachstumsperiode (März bis September) Nährstoffdaten. Im Küstenmeer (bis 12 sm) hingegen liegen nur einzelne Monitoringstationen. Eine Ausweitung des LänderMonitorings in das Küstenmeer und die Beprobung der für die OSPAR-Bewertung relevanten Winterperiode (Dezember bis Februar) würde die Datenlage erheblich verbessern. Die Nährstoffdaten der Bundesländer sind in der MUDAB verfügbar. Bisher sind noch keine automatischen Messsysteme oder Sonden zur Messung von Nährstoffen in der AWZ installiert. Der Einsatz von automatischen Messsystemen auch auf anderen Monitoringreisen oder nicht schwankenden offshore Installationen wären denkbar. Die Installation von Sonden (aktuell nur Nitrat) könnte auch auf Messplattformen (MARNET-Bojen, geplante Monitoringboje (MoBo) und offshore Installationen eingesetzt werden. Dadurch ließe sich die zeitliche und räumliche Auflösung von Daten für Nitrat (Nitrat-Sonde, nasschemische Durchflussmessgeräte) und für Nitrit, Phosphat und Silikat (nasschemische Durchflussmessgeräte) deutlich verbessern. Bei all diesen Überlegungen ist jedoch zu bedenken, dass neben den hohen Investitionskosten für die Beschaffung der Sonden und Geräte auch Personal und Schiffszeiten für die Wartung und Kalibrierung der Geräte zur Verfügung stehen muss. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Sicherstellung der Stromversorgung und die Datenübertragung. Häufig ist insbesondere die Stromversorgung durch bereits vorhandene Messsysteme der limitierende Faktor für die Aufnahme weiterer Sonden und Geräte. Darüber hinaus müssen die Daten regelmäßig qualitätsgesichert werden.

3. **Sauerstoff:** OSPAR gibt vor, im Bewertungszeitraum von Juli bis Oktober, die Lage und die Dauer der von Sauerstoffmangel betroffenen bodennahen Fläche in der Deutschen AWZ zu bewerten. Daten gibt es aus dem BSH-Routinemonitoring, von Dauermessungen (MARNET-Messbojen) und aus Modellberechnungen. Sauerstoffmangelsituationen treten bodennah in der Nordsee unregelmäßig meist zwischen August und Oktober in Abhängigkeit von den Witterungs- bzw. Schichtungsverhältnissen auf. Da der Sauerstoffmangel sporadisch auftritt, ist es eher unwahrscheinlich, dass ein Sauerstoffmangelereignis mit langfristig geplanten Monitoringfahrten erfasst wird. Daher sind die ständigen Sauerstoff-Messungen (bodennah und Wasseroberfläche) an den vier Stationen des MARNET-Messnetzes (FINO3, Nordseebojen 2 und 3 und Deutsche Bucht) mit automatischen Messsystemen von sehr großem Wert. Diese Daten sind allerdings noch nicht in der MUDAB verfügbar. Die Positionen der Messstationen liegen in Gebieten, in denen die Wahrscheinlichkeit für Sauerstoffmangelereignisse hoch ist, wie die im Rahmen des iMonEP-Projektes durchgeführten Auswertungen der vom BSH gemessenen Sauerstoffkonzentrationen seit 1990ern ergaben. Die Auswertungen haben gezeigt, dass es im nordöstlichen Bereich der deutschen Bucht häufiger zu Sauerstoffsättigungen < 75 % kam, als im südwestlichen Bereich. Die genaue Lage der Sauerstoffmangelgebiete variiert von Jahr zu Jahr.
- Potentielle Möglichkeiten die Datenlage zu verbessern: OSPAR fordert neben der Dauer der Sauerstoffmangelsituation auch die Größe und die Lage des betroffenen Gebietes zu bewerten. Da die MARNET-Messsysteme Punktmessungen sind, lässt sich die beeinträchtigte Fläche daraus nicht ableiten. Man könnte die Daten der Messbojen mit den ERGOM-Modellberechnungen für Sauerstoff kombinieren, denn die Modellberechnungen ergeben tägliche und flächendeckende Werte zur Sauerstoffsättigung am Boden der gesamten Nordsee. Auf diese Weise wären Aussagen über Größe, Intensität und Dauer der von Sauerstoffmangel betroffenen Fläche möglich. Dabei ist zu beachten, dass die gemessenen Sauerstoffkonzentrationen niedriger sind, als die mit dem Modell berechneten

Konzentrationen (Brüning et al. 2021), aber die vom Sauerstoffmangel betroffene Fläche wird mit den Modellberechnungen gut abgebildet.

Die Anzahl von in-situ Sauerstoffmessungen ließe sich dadurch verbessern, dass die Sauerstoffmessungen mit der CTD-Sonde, die auf sehr vielen Forschungsreisen in der Deutschen Bucht gemacht werden, in die MUDAB gelangen.

4. **„schädliche Algenblüten“:** Gemäß MSRL und OSPAR müssen die Anzahl, die Dauer und die Ausdehnung von schädlichen Algenblüten bewertet werden. Da sie sporadisch auftreten ist es unwahrscheinlich, dass sie mit einem zeitlich grob aufgelösten Monitoring erfasst werden. Daten gibt es keine, da das Phytoplankton in der AWZ nicht beprobt wird.

Potentielle Möglichkeiten die Datenlage zu verbessern: Es konnte gezeigt werden, dass Phytoplanktonblüten durch die hohen Chl a-Konzentrationen auf den Fernerkundungsbildern erkennbar sind. Anhand dieser Bilder kann die Phytoplanktonart, die für die Blüte verantwortlich ist, nicht bestimmt werden. Da nur die Algenblüten von schädlichen Algen bewertet werden müssen, ist die Kenntnis der blütenbildenden Art notwendig. Es müssen daher aus der Algenblüte Wasserproben zur Artbestimmung entnommen werden. Das könnte z. B. durch Forschungsschiffe geschehen, die in der Nähe arbeiten. Allerdings sind die Voraussetzungen hierfür, dass das Schiff über das entsprechende Equipment und geschultes Personal verfügt. Es müssten also im Voraus Absprachen getroffen werden. Das LfU z. B. hat solche Absprachen in der Ostsee mit der Wasserschutzpolizei in Bezug auf toxische Algenblüten. Auf den FerryBox-Routen können automatisch Wasserproben genommen werden (Yoana Voynova, Hereon, pers. comm.), sodass aus detektierten Blüten zeitgleich auch Proben erhältlich wären. Auch hier müsste jedoch geschultes Personal an Bord sein, dass die automatisch genommenen Wasserproben fixiert und kühl stellt.

Um Synergien bei der Probennahme für das Monitoring in der Nordsee herzustellen, ist ein regelmäßiger Austausch aller Monitoring betreibenden Institutionen über die erhobenen Parameter und die entsprechenden Zeitpunkte wichtig. Grundvoraussetzung ist, dass alle Werte qualitätsgesichert sind und dass die Probennahme verlässlich durchgeführt wird.

► Monitoring der pelagischen Habitate, „Biodiversität - pelagische Habitate“ (Deskriptor 1)

Bei OSPAR wurden für die Bewertung des Zustands der pelagischen Habitate in der Nordsee drei Indikatoren vorgeschlagen: PH1, der auf den „Veränderungen in Zoo- und Phytoplanktongemeinschaften“ basiert, PH2, der die „Veränderungen in der Phytoplanktonbiomasse und Zooplanktonabundanz“ bewertet und PH3, der die „Planktondiversität“ berücksichtigt. Die Indikatoren basieren auf dem Artenspektrum der Phyto- und Zooplanktongemeinschaften. Das pelagische Monitoring muss daher die zeitliche und räumliche Variabilität der Planktonpopulationen quantitativ erfassen. Dafür ist eine regelmäßige Beprobung und Analyse der Phyto- und Zooplanktongesellschaften nach klassischer Methodik (Netzzug / Wasserprobe und mikroskopische Auswertung) an ausgewählten Stationen in der AWZ der deutschen Nordsee erforderlich. Bisherige Test (UBA-Vorhaben FKZ 3719 25 2030) ergaben, dass die Indikatoren noch weiterentwickelt werden müssen. Da die pelagischen Bewertungsindikatoren noch in der Entwicklung sind, wird bisher kein entsprechendes Routinemonitoring für das Plankton in der AWZ der Nordsee durchgeführt.

Während der Projektlaufzeit von 2021 bis 2023 wurden acht Phytoplankton- und sieben Zooplanktonbeprobungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten durchgeführt. Die Probennahme für die klassischen Planktonzählungen fand parallel zum BSH-Routinemonitoring für Nährstoffe an 17 der 40 BSH-Stationen statt. Die Lage der Stationen wurde so ausgewählt, dass sie zum einen auf einer Position des BSH-Routinemonitorings lag und zum anderen die drei von OSPAR



vorgeschlagenen pelagischen Bewertungsgebiete („variable salinity“, „coastal“ und „shelf“) abgedeckt waren. Die parallele Beprobung zum chemischen BSH-Routinemonitoring hat den Vorteil, dass die für die Bewertung notwendigen Begleitparameter (u. a. Salzgehalt, Chl a- und Nährstoffkonzentrationen) zur gleichen Zeit erhoben werden. Außerdem ist so kein weiterer eigener Schiffseinsatz erforderlich. Die Zooplanktonbeprobung fand mit einem WP2-Netz mit einer Maschenweite von 150 µm und einer Netzöffnung von 0,25 m<sup>2</sup> statt. Pro Station wurde ein Hol durchgeführt und der Fang mit 4 %igem gepufferten Formaldehyd konserviert. Die Phytoplanktonbeprobung erfolgte mit einer Pütz (Oberflächenprobe) und Wasser aus den Niskin-Schöpfern aus den Tiefen 2,5 m, 5 m, 7,5 m und 10 m. Jeweils 1 Liter aus jeder Tiefenstufe wurde gemischt und aus der Mischprobe wurden jeweils zwei Phytoplanktonproben für die Zählung entnommen und mit saurer Lugol-Lösung konserviert. Zusätzlich zu den klassischen Zählungen wurden an acht Stationen Phyto- und Zooplanktonproben für DNA-Analysen zur Artenbestimmung genommen. Dafür wurde für das Zooplankton ein zweiter Netzzug durchgeführt. Für das Phytoplankton wurden die DNA-Proben aus der Mischprobe entnommen. Die DNA-Proben wurden in Ethanol konserviert und bis zur Analyse gekühlt. Die klassischen Zählanalysen wurden von der Firma AquaEcology, Oldenburg und die DNA-Analysen vor der Firma biome-id, Wilhelmshaven durchgeführt.

Anhand der Auswertung der iMonEP-Planktondaten können folgende Aussagen zusammengefasst werden

1. Die Lage der 17 iMonEP-Stationen ist geeignet, den Bestand vom Plankton in allen pelagischen Bewertungsgebieten zu erfassen. Typischerweise war das Frühjahrsplankton von Diatomeen dominiert, während im Sommer der Anteil der Dinoflagellaten zunimmt. Beim Zooplankton stellen die Copepoda mengenmäßig die dominanteste Gruppe im Holoplankton dar und im Frühjahr hat das Meroplankton an vielen Stationen einen großen Anteil.
2. Die von OSPAR vorgeschlagenen pelagischen Bewertungshabitate („variable salinity“, „coastal“ und „shelf“) erscheinen grundsätzlich sinnvoll, da sie sowohl die Verteilung der Phyto- als auch der Zooplanktongemeinschaften widerspiegeln. Zu bemerken ist allerdings, dass diese Verteilungen nicht statisch sind, d. h. an einigen Zeitpunkten können einzelne Stationen zu einer anderen Gemeinschaft gehören. Die Station NEFB, die von ihrer Lage zu dem Gebiet „shelf“ gehören würde, sollte in jedem Fall eher zu dem Gebiet „coastal“ gezählt werden.
3. Planktondaten aus der deutschen AWZ existieren auch von den BSH/IOW-Beprobungen aus den Jahren 2008 bis 2011. Sie sind in der MUDAB zu finden. Die Beprobungen fanden an 12 Stationen der 17 iMonEP-Stationen statt, sodass die Planktondaten über einen Zeitraum von 10 Jahren verglichen werden konnten. Für das Zooplankton wurde ein Vergleich angestellt und mit den Trends zu den Planktonentwicklungen, die in dem OSPAR-Papier BDC22/03/02Add5-E zusammengestellt sind, verglichen. Die Aussage, dass die Copepoda-Abundanz deutlich abgenommen hat, lässt sich anhand dieses 10-jährigen Vergleiches nicht bestätigen. Allerdings ist eine signifikante Zunahme der Meroplankter in den Märzproben in allen drei Habitaten erkennbar und bestätigt damit die Aussage des OSPAR-Papiers.
4. Für die OSPAR-Bewertung wird die Phytoplanktonbiomasse über den Chl a-Gehalt, der aus der Fernerkundung ermittelt wird, abgeschätzt. Aus den iMonEP-Phytoplanktondaten konnten als Maß für die Biomasse die Kohlenstoffwerte errechnet und mit den Chl a-Konzentrationen des BSH-Routinemonitorings korreliert werden. Es zeigten sich deutliche jahreszeitliche Unterschiede in den Abhängigkeiten beider Parameter, sodass gefolgert werden muss, dass die Chl a-Konzentration nur einen sehr vagen Wert für die Phytoplanktonbiomasse darstellt. Die Chl a-Konzentrationen in den Phytoplanktonzellen

variieren zwischen den einzelnen Arten und innerhalb einer Art sind sie abhängig vom physiologischen Zustand der Zellen.

5. DNA-Analysen im Planktonmonitoring sind hilfreich, um das Arteninventar, das durch die klassischen Zählungen ermittelt wird, zu vervollständigen. Dadurch werden die Aussagen über die Diversität der Artgemeinschaften deutlich verbessert. Meroplankter, die die klassische Zählung teilweise nur als Großgruppen angibt (z. B. Fischeier, Gastropoda), werden als einzelne Arten weiter differenziert. Für die toxischen Phytoplanktonarten konnte gezeigt werden, dass sie anhand der DNA-Analyse an sehr viel mehr Stationen vorkamen, als es durch die klassische Zählung den Anschein hatte. Im Vergleich der Artenlisten beider Analysenverfahren gab es Arten, die nur von der DNA-Analyse, Arten, die nur von der klassischen Zählung und Arten, die von beiden Methoden detektiert wurden. Keine Methode hat alle vorkommenden Arten erfasst.
6. Um die DNA-Analyse im Monitoring einsetzen zu können, muss die Methodik standardisiert werden, denn bei Verwendung unterschiedlicher Primer ergaben sich deutliche Unterschiede in den resultierenden Artenlisten. Nur mit standardisierten Verfahren lassen sich die Artenlisten unterschiedlicher Labore und Institutionen miteinander vergleichen. Die Kosten und der zeitliche Bedarf für die Probenaufarbeitung bis zur fertigen Taxaliste für die klassischen Zählungen und die DNA-Analyse wurden anhand der Angaben der beauftragten Firmen für die iMonEP-Planktonanalysen abgeschätzt. Für das Zooplankton waren die Kosten für die klassischen Zählungen höher, als für die DNA-Analysen und vergleichbar hoch für die Phytoplanktonauswertungen. Der zeitliche Bedarf ist für die klassischen Auswertungen geringer. Der große Nachteil der DNA-Methode ist, dass keine Aussagen zur Abundanz und Biomasse der einzelnen Arten gemacht werden können. Da diese Parameter für die OSPAR-Indikatoren notwendig sind, kann auf die klassische Zählung nicht verzichtet werden.
7. CPR-Daten sind hilfreich für langfristige Vergleiche des Zooplanktons, wobei die CPR-Daten aber nur in sich vergleichbar sind. Sie können deshalb nicht mit anderen Methoden kombiniert werden. Anhand der CPR-Daten konnte für die Copepoda eine deutliche Abnahme der Abundanzen ab Ende der 1970er bis heute (2019) gezeigt werden. CPR-Daten gibt es ab 2017 nur noch für das pelagische Habitat ‚shelf‘.

Die iMonEP-Beprobungen haben Phyto- und Zooplankton-Daten erbracht, die zur Bedienung der OSPAR-Indikatoren geeignet sind, da alle drei pelagischen Bewertungsgebiete mit Stationen abgedeckt sind und sowohl das Arteninventar als auch die Biomasse bestimmt wurden. Pro Jahr fanden zwei bis vier iMonEP-Beprobungen statt. Damit sind die zeitlichen Vorgaben von OSPAR für das Planktonmonitoring, die eine monatliche Planktonbeprobung vorgeben, nicht erfüllt. Eine zeitliche Ausweitung der Beprobung mit zusätzlichen Probennahmefahrten auf dem bestehenden iMonEP-Stationsraster mit 17 Stationen ist finanziell und personell nicht möglich. Die Beprobung parallel zum BSH-Routinemonitoring hat sich fachlich, personell und logistisch als sehr gut erwiesen und sollte zukünftig auch so fortgeführt werden. Auf diese Weise sind zeitgleich auch Daten von wichtigen Begleitparametern wie z. B. Chl a, Nährstoffe und ozeanographische Messgrößen verfügbar. Um die zeitlichen Vorgaben von OSPAR zu erfüllen, sind weitere Planktondaten notwendig. In Küstennähe stehen die Daten der Küstenbundesländer zur Verfügung, die in dem Bewertungsgebiet ‚variable salinity‘ an einigen Stationen monatlich Planktonproben nehmen. Diese Daten sind in der MUDAB vorhanden. In dem Bewertungsgebiet ‚coastal‘ nimmt das AWI monatlich um Helgoland herum Zoo- und Phytoplanktonproben. Diese Daten sind nicht in der MUDAB und es müssten daher Absprachen mit dem AWI erfolgen, ob und ggfs. wie diese Daten für die OSPAR-Bewertung genutzt werden könnten. Im Bewertungsgebiet ‚shelf‘ finden keine weiteren in-situ-Planktonbeprobungen statt.

Die Datenlücke ließe sich u. U. durch die CPR-Daten schließen, da die CPR-Route durch dieses Bewertungsgebiet führt. Punktuelle in-situ Probennahmen könnten während Wartungsfahrten z. B. von den MARNET-Nordseebojen, die in 2-monatigem Abstand durchgeführt werden, stattfinden. Voraussetzung dafür sind aber in die Planktonprobennahme eingearbeitete Mitarbeitende an Bord und ausreichend Schiffszeit, die häufig aufgrund des engen Schiffseinsatzplanes nicht zur Verfügung steht. Denkbar wäre es auch automatische Probensammler und/oder Kamerasysteme auf den Bojen und auf Plattformen zu installieren. Neben der reinen Probennahme an Bord muss personell jemand für die Organisation der Beprobung, Organisation der Artenanalysen sowie für die Interpretation und Abgabe der Daten vorgesehen werden.



## Summary

The aim of the iMonEP project is to develop proposals for representative and cost-effective monitoring strategies for the collection of data for the assessment of pelagic habitats (Descriptor 1) and eutrophication (Descriptor 5) in accordance with the Marine Strategy Framework Directive (MSFD) 2008/56/EC, which came into force in 2008. These assessments are regionally coordinated for the North Sea within the framework of OSPAR. Therefore, the OSPAR specifications regarding the assessment parameters, the spatial assessment units, the sampling frequency and the number of stations must be taken into account. Due to the high natural temporal and spatial variability in the pelagic, including the plankton communities, exclusive in-situ sampling is not possible, as the high sampling frequency required would result in disproportionately high costs. Therefore, in-situ monitoring must be flanked by innovative sampling methods. These include data from continuous plankton recorders (CPR), FerryBoxes, stationary sensors, remote sensing (satellites), modelling and DNA analyses for the taxonomic identification of plankton species. These data can only be used jointly for monitoring if they are comparable and can therefore be combined. In the iMonEP project, additional data sources were therefore sought for the parameters to be evaluated and the comparability of the data was checked. The value of the individual data sources for monitoring and assessment in accordance with OSPAR requirements was discussed. Proposals were also developed on how the data situation for individual parameters could be improved.

The iMonEP project deals with a) the parameters for the eutrophication assessment (Descriptor 5) and b) the monitoring of pelagic habitats (Descriptor 1).

### ► Eutrophication (Descriptor 5)

In addition to chlorophyll a, nutrient and oxygen concentrations, the eutrophication assessment (COMP4 assessment according to OSPAR) also takes into account the MSFD criterion (D5C3 according to EU COM 2017) "Harmful algal blooms" based on the cell counts of selected nuisance phytoplankton species. For the above-mentioned eutrophication parameters, the iMonEP project researched which institutions collect these data, whether they are available and whether they comply with OSPAR requirements. This information was used to identify data gaps and discuss ways in which these gaps could be filled. The comparability of data from different sources was checked, as only comparable data can be combined. The spatial coverage of the German EEZ with monitoring data is very good thanks to the BSH routine monitoring, but the temporal coverage is too low compared to the OSPAR specifications. The data situation varies for the individual parameters.

**1. Chlorophyll:** OSPAR specifies monthly sampling for Chl a in the assessment period from March to September. The data situation according to the spatial and temporal specifications of OSPAR is comparatively good, as data from various sources such as in-situ laboratory measurements, sensors, remote sensing data and modelling calculations can be taken into account. Remote sensing data with a high temporal and spatial resolution is particularly valuable. They are collected daily, but are only available on days without cloud cover. Comparisons between the Chl a data from the remote sensing and the in-situ laboratory measurements from the BSH routine monitoring revealed good overlaps between the values. There were limitations near the coast, where the agreement of the measured values decreased. It must be taken into account that although the remote sensing data and in-situ laboratory measurements correlate significantly, the remote sensing data are often lower than the laboratory measurements. Near the coast, the coastal countries take monthly samples for in-situ laboratory measurements. In particular, the area up to the 1 nm zone is covered by stations. The

data is available in the MUDAB. Other sources for Chl a are sonde measurements. They come from sensors in automatic flow-through systems on FerryBox routes and research vessels and sensors attached to the CTD. These data also correlate significantly with the in-situ laboratory measurements, so that they could be used for monitoring. However, this requires regular quality assurance. None of this data is available in the MUDAB. The FerryBox data is a very valuable data source, as it provides data with high temporal and spatial resolution. However, it must be ensured that the ship route is operated reliably. During the term of the iMonEP project, the Hereon FerryBox route, which passed through the COMP4 area "Eastern North Sea" several times a week, was relocated by the shipping company at the beginning of 2023 and no longer passes through the German EEZ. The data from the fluorometer on the CTD also provides information on the vertical distribution of Chl a in the water column. As the in-situ laboratory measurements are from samples taken at a water depth of 5 metres, this additional information is very interesting and in some cases makes it easier to interpret the data. In addition to the quantitative measured values for Chl a, there is also the qualitative PCI value from the CPR evaluations, which is determined via the green colouring of the gauze. The PCI values can be regarded as a rough approximation of the phytoplankton biomass. In order to gain an impression of the seasonal pattern of the Chl a concentration in the individual COMP4 areas in the German EEZ, the monthly mean Chl a values from remote sensing were calculated as an example for the year 2020. As expected, the Chl a concentrations were higher near the coast than in the areas away from the coast. It was interesting to note that the seasonal variation in Chl a concentrations was comparable in all COMP4 areas, with the highest Chl a concentrations in March/April and the lowest in June.

**2. Nutrients:** OSPAR specifies monthly sampling in the assessment period from December to February. The data situation according to the spatial and temporal requirements of OSPAR is therefore insufficient for nutrient monitoring in the German EEZ, as BSH routine monitoring only takes place once during this period in January and February. The spatial coverage of the BSH routine monitoring is very good with 40 stations for in-situ laboratory measurements. Further nutrient data is available from in-situ laboratory measurements from the monitoring activities of the federal states, from automatic measuring systems and from model calculations. Comparisons between the in-situ laboratory measurements of nutrients from BSH routine monitoring with automatic flow measurement systems used on a trial basis and a nitrate sonde showed very good agreement between the values, meaning that these systems could also be used for monitoring. If the automatic systems run in parallel to the in-situ sampling in BSH routine monitoring, important information on nutrient distribution between the stations is obtained and a comprehensive picture of the distribution of the individual nutrients is provided for the entire German EEZ. There is currently no good direct correlation between the in-situ Further model adjustments are necessary here. It is also conceivable to use other modelling approaches that, for example, calculate the number of days on which the target values were exceeded.

Potential opportunities to improve the data situation: In the 1 nm zone, the coastal federal states generally collect nutrient data during the growing season (March to September). In the territorial sea (up to 12 nm), however, there are only a few monitoring stations. Extending the federal state monitoring to the territorial sea and sampling the winter period relevant for the OSPAR assessment (December to February) would significantly improve the data situation. The nutrient data of the federal states are available in the MUDAB.

To date, no automatic measuring systems or sondes for measuring nutrients have been installed in the EEZ. The use of automatic measuring systems on other monitoring surveys or non-fluctuating offshore installations would also be conceivable. The installation of sondes (currently

only nitrate) could also be used on measuring platforms (MARNET buoys, planned monitoring buoy (MoBo)) and offshore installations. This would significantly improve the temporal and spatial resolution of data for nitrate (nitrate probe, wet-chemical flowmeters) and for nitrite, phosphate and silicate (wet-chemical flowmeters). In all these considerations, however, it must be noted that in addition to the high investment costs for the procurement of the sensors and equipment, personnel and ship time must also be available for the maintenance and calibration of the equipment. Another important point is securing the power supply and data transmission. In particular, the power supply from existing measuring systems is often the limiting factor for the inclusion of additional sondes and devices. In addition, the data must be regularly quality assured.

**3. Oxygen:** OSPAR specifies that the location and duration of the near-bottom area affected by oxygen deficiency in the German EEZ should be assessed during the assessment period from July to October. Data is available from BSH routine monitoring, from long-term measurements (MARNET measuring buoys) and from modelling calculations. Oxygen deficiency situations occur irregularly near the bottom in the North Sea, usually between August and October, depending on the weather and stratification conditions. As oxygen deficiency occurs sporadically, it is rather unlikely that an oxygen deficiency event will be detected with long-term planned monitoring cruises. Therefore, the continuous oxygen measurements (near the bottom and water surface) at the four stations of the MARNET monitoring network (FINO3, North Sea Buoys 2 and 3 and German Bight) with automatic measuring systems are of great value. However, these data are not yet available in the MUDAB. The positions of the measuring stations are located in areas where the probability of oxygen deficiency events is high, as the analyses of the oxygen concentrations measured by the BSH since the 1990s carried out as part of the iMonEP project have shown. The analyses have shown that oxygen saturations < 75 % occurred more frequently in the north-eastern area of the German Bight than in the south-western area. The exact location of the oxygen deficiency areas varies from year to year.

Potential opportunities to improve the data situation: In addition to the duration of the oxygen deficiency situation, OSPAR also requires the size and location of the affected area to be assessed. As the MARNET measuring systems are point measurements, the affected area cannot be derived from them. The data from the measuring buoys could be combined with the ERGOM model calculations for oxygen, as the model calculations provide daily and area-wide values for oxygen saturation at the bottom of the entire North Sea. In this way, it would be possible to make statements about the size, intensity and duration of the area affected by oxygen deficiency. It should be noted that the measured oxygen concentrations are lower than the concentrations calculated with the model (Brüning et al. 2021), but the area affected by oxygen deficiency is well represented by the model calculations.

The number of in-situ oxygen measurements could be improved by including the oxygen measurements from the CTD sonde, which are taken on many research cruises in the German Bight, in the MUDAB.

**4. "Harmful algal blooms":** According to the MSFD and OSPAR, the number, duration and extent of harmful algal blooms must be assessed. As they occur sporadically, it is unlikely that they will be recorded by monitoring with a coarse temporal resolution. There is no data available as phytoplankton is not sampled in the EEZ.

Potential opportunities to improve the data situation: It has been shown that phytoplankton blooms can be recognised by the high Chl a concentrations on the remote sensing images. But the phytoplankton species responsible for the bloom cannot be determined from these images. As only the algal blooms of harmful algae need to be assessed, it is necessary to know the species

causing the bloom. Water samples must therefore be taken from the algal bloom to determine the species. This could be done, for example, by research vessels working in the vicinity. However, the prerequisites for this are that the ship has the appropriate equipment and trained personnel. Arrangements would therefore have to be made in advance. The LfU, for example, has such agreements in the Baltic Sea with the water police in relation to toxic algal blooms. Water samples can be taken automatically on the FerryBox routes (Yoana Voynova, Hereon, pers. comm.), so that samples from detected blooms would also be available at the same time. Here too, however, trained personnel would have to be on board to fix and refrigerate the automatically taken water samples.

In order to create synergies in sampling for monitoring in the North Sea, it is important for all monitoring institutions to regularly exchange information on the parameters collected and the corresponding times. The basic prerequisite is that all values are quality-assured and that sampling is carried out reliably.

► Monitoring of pelagic habitats, "Biodiversity - pelagic habitats" (Descriptor 1)

OSPAR proposed three indicators to assess the status of pelagic habitats in the North Sea: PH1, which is based on "changes in zooplankton and phytoplankton communities", PH2, which assesses "changes in phytoplankton biomass and zooplankton abundance" and PH3, which considers "plankton diversity". The indicators are based on the species spectrum of the phytoplankton and zooplankton communities. Pelagic monitoring must therefore quantify the temporal and spatial variability of the plankton populations. This requires regular sampling and analysis of the phytoplankton and zooplankton communities at selected stations in the EEZ of the German North Sea using conventional methods (net sampling / water sampling and microscopic analysis). Previous tests (UBA project FKZ 3719 25 2030) have shown that the indicators still require further development. As the pelagic assessment indicators are still under development, no corresponding routine monitoring of plankton in the North Sea EEZ has been carried out to date.

During the project period from 2021 to 2023, eight phytoplankton and seven zooplankton samplings were carried out at different times of the year. Sampling for the conventional plankton counts took place in parallel with the BSH routine monitoring for nutrients at 17 of the 40 BSH stations. The location of the stations was selected so that, on the one hand, they were on a position of the BSH routine monitoring and, on the other hand, the three pelagic assessment areas proposed by OSPAR ('variable salinity', 'coastal' and 'shelf') were covered. The parallel sampling to the BSH chemical routine monitoring has the advantage that the accompanying parameters required for the assessment (including salinity, chlorine and nutrient concentrations) are collected at the same time. In addition, no further ship deployment is required. The zooplankton sampling was carried out using a WP2 net with a mesh size of 150 µm and a net opening of 0.25 m<sup>2</sup>. One haul was made per station and the catch was preserved with 4 % buffered formaldehyde.

The phytoplankton sampling was carried out with a bucket (surface sample) and water from the Niskin water sampler from depths of 2.5 m, 5 m, 7.5 m and 10 m. One litre from each depth level was mixed and two phytoplankton samples were taken from the mixed sample for counting and preserved with acidic Lugol's solution. In addition to the conventional counts, phytoplankton and zooplankton samples were taken at eight stations for DNA analyses for species identification. A second net haul was carried out for the zooplankton. For the phytoplankton, the DNA samples were taken from the mixed sample. The DNA samples were preserved in ethanol and refrigerated until they were analysed. The conventional counting analyses were carried out

by the company AquaEcology, Oldenburg and the DNA analyses by the company biome-id, Wilhelmshaven.

Based on the evaluation of the iMonEP plankton data, the following statements can be summarised

1. The location of the 17 iMonEP stations is suitable for recording the plankton population in all pelagic assessment areas. Typically, the spring plankton was dominated by diatoms, while in summer the proportion of dinoflagellates increases. In terms of zooplankton, copepods are the most dominant group in the holoplankton in terms of quantity, and meroplankton make up a large proportion at many stations in spring.
2. The pelagic assessment habitats proposed by OSPAR ('variable salinity', 'coastal' and 'shelf') appear to make sense in principle, as they reflect the distribution of both the phytoplankton and zooplankton communities. However, it should be noted that these distributions are not static, i.e. at some points in time, individual stations may belong to a different community. The NEFB station, which would belong to the 'shelf' area due to its location, should in any case be categorised as belonging to the pelagic habitat 'coastal'.
3. DNA analyses in plankton monitoring are helpful in completing the species inventory determined by the conventional counts. This significantly improves the information on the diversity of the species communities. Meroplankton, some of which are only determined in the conventional analyses as major groups (e.g. fish eggs, gastropods), are further differentiated to species level. For the toxic phytoplankton species, it was shown that they occurred at many more stations on the basis of the DNA analysis than appeared to be the case with the conventional method. When comparing the species lists of both analysis methods, there were species that were only detected by the DNA analysis, species that were only detected by the conventional method and species that were detected by both methods. No method recorded all the species present.
4. In order to be able to use DNA analysis in monitoring, the methodology must be standardised, as the use of different primers resulted in significant differences in the resulting species lists. Only with standardised procedures can the species lists of different laboratories and institutions be compared with each other. The costs and time required for sample processing up to the final taxa list for the conventional method and DNA analyses were estimated based on the information provided by the companies commissioned for the iMonEP plankton analyses. For the zooplankton, the costs for the conventional counts were higher than for the DNA analyses and comparably high for the phytoplankton analyses. The time required for the conventional analyses is less. The major disadvantage of the DNA method is that no statements can be made on the abundance and biomass of the individual species. As these parameters are necessary for the OSPAR indicators, conventional counts cannot be dispensed with.
5. CPR data are helpful for long-term comparisons of zooplankton, but the CPR data are only comparable within themselves. They can therefore not be combined with other methods. Based on the CPR data, a clear decrease in abundance could be shown for copepods from the end of the 1970s until today (2019). As of 2017, CPR data are only available for the pelagic habitat 'shelf'.

The iMonEP sampling has provided phytoplankton and zooplankton data suitable for use with the OSPAR indicators, as all three pelagic assessment areas are covered by stations and both the species inventory and biomass have been determined. Two to four iMonEP samples were taken per year. This means that the OSPAR time requirements for plankton monitoring, which stipulate monthly plankton sampling, are not met. An extension of the sampling period with additional sampling trips on the existing iMonEP station grid with 17 stations is not possible in



terms of funding and personnel. Sampling in parallel with BSH routine monitoring has proven to be very effective in terms of expertise, personnel and logistics and should be continued in future. In this way, data on important accompanying parameters such as Chl a, nutrients and oceanographic parameters are also available at the same time. Further plankton data is required to fulfil the OSPAR time requirements. Near the coast, data is available from the coastal federal states, which take monthly plankton samples at several stations in the 'variable salinity' assessment area. These data are available in the MUDAB. In the 'coastal' assessment area, the AWI takes monthly zoo- and phytoplankton samples around Heligoland. These data are not included in the MUDAB and it would therefore have to be agreed with the AWI whether and, if so, how these data could be used for the OSPAR assessment. No further in-situ plankton sampling takes place in the 'shelf' assessment area. The data gap could possibly be closed by the CPR data, as the CPR route passes through this assessment area. Selective in-situ sampling could take place during maintenance cruises, e.g. from the MARNET North Sea buoys, which are carried out every two months. However, this would require staff on board who are trained in plankton sampling and sufficient ship time, which is often not available due to the tight ship deployment schedule. It would also be conceivable to install automatic sample collectors and/or camera systems on the buoys and platforms. In addition to the pure sampling on board, personnel must be provided for the organisation of the sampling, organisation of the species analyses and for the interpretation and submission of the data.

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund

Im Rahmen der 2008 in Kraft getretenen Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) 2008/56/EG beginnt in 2024 der dritte Managementzyklus mit der Folgebewertung des Umweltzustands der Meeresgewässer, um festzustellen, ob der gute Umweltzustand erreicht bzw. erhalten werden konnte. Diese Bewertung erfolgt für die Nordsee regional abgestimmt im Rahmen von OSPAR mit der Erstellung des Quality Status Reports (QSR) bis 2023 und umfasst u.a. die Aspekte Eutrophierung und pelagische Habitate (OSPAR 2023). Die Bewertung der pelagischen Habitate im Rahmen des QSR soll Aussagen zum Artenspektrum der Phyto- und Zooplanktongemeinschaften liefern. Das dafür notwendige Monitoring muss die zeitliche und räumliche Variabilität der Planktonpopulationen und die speziellen Anforderungen der OSPAR-Indikatoren PH1 „Veränderungen in Zoo- und Phytoplanktongemeinschaften“, PH2 „Veränderungen in der Phytoplanktonbiomasse und Zooplanktonabundanz“ und PH3 „Planktondiversität“ und des MSRL-Eutrophierungskriteriums „Schädliche Algenblüten“ (D5C3 laut EU-KOM 2017) erfüllen können. Dafür ist eine regelmäßige Beprobung und Analyse der Phyto- und Zooplanktongesellschaften nach klassischer Methodik (Netzzug / Wasserprobe und mikroskopische Auswertung) an ausgewählten Stationen in der AWZ der deutschen Nordsee erforderlich. Die Kombination mit bereits etablierten aber auch neuen innovativen Monitoringansätzen wie der Auswertung von Proben des Continuous Plankton Recorders (CPR), von FerryBox- und Fernerkundungsdaten sowie der DNA-Analytik kann zusätzliche detaillierte Informationen liefern und zur Optimierung einer zukünftigen Monitoringstrategie beitragen.

Die Umsetzung des Deskriptors 1 „Biodiversität - pelagische Habitate“ der MSRL weist gegenwärtig in Deutschland noch erhebliche Lücken auf. Die Bewertung für den 2. Zyklus der MSRL erfolgte überwiegend deskriptiv und mit Hilfe eines vorläufigen Bewertungssystems. Für die Bewertung des Zustands pelagischer Habitate in der Nordsee wurden bei OSPAR drei Indikatoren vorgeschlagen. Bisher konnten nur zwei dieser Indikatoren in der deutschen Nordsee auf geringer Daten-Basis getestet werden, mit dem Ergebnis, dass die Indikatoren noch weiterentwickelt werden müssen (laufende Arbeiten im UBA-Vorhaben FKZ 3719 25 2030). Eine besondere Herausforderung dabei ist, dass die Indikatoren auf verschiedene Belastungen reagieren (überhöhte Nährstoffeinträge, Klimawandel, Neobiota etc.), die nicht trennbar sind und Managemententscheidungen erschweren. Da sich die Indikatoren für pelagische Habitate noch in Entwicklung befinden, wird bisher kein entsprechendes Routinemonitoring in der AWZ der Nordsee durchgeführt. Basierend auf den Charakteristika und erforderlichen Daten für die Indikatoren wurde eine adäquate und kostengünstige Monitoringstrategie zunächst durch das Vorhaben entwickelt und getestet. Darauf aufbauend soll dann zukünftig ein Routinemonitoring etabliert werden.

## 1.2 Projektbeschreibung und Aufbau dieses Berichtes

Das Ergebnis des Projekts ist ein Vorschlag für eine adäquate und kostengünstige Monitoringstrategie für die Erhebung von Daten zur Bewertung der pelagischen Habitate (Deskriptor 1) und der Eutrophierung (Deskriptor 5). Basis für die Bewertung der pelagischen Habitate sind quantitative Daten zu Zoo- und Phytoplanktongemeinschaften für Biomasse und Abundanzen möglichst auf Artniveau. Für den Deskriptor 5 „Eutrophierung“ muss neben den Nährstoff- und Sauerstoffkonzentrationen auch das MSRL-Kriterium „Schädliche Algenblüten“ (Zellzahlen ausgewählter störender Phytoplanktonarten) erfasst werden.

Aufgrund der hohen natürlichen zeitlichen und räumlichen Variabilität der Planktongesellschaften ist eine ausschließliche in-situ Beprobung nicht möglich, da die erforderliche hohe Probennahmefrequenz unverhältnismäßig hohe Kosten verursachen würde. Deshalb wurde das in-situ-Monitoring von innovativen Beprobungsmethoden flankiert. Speziell untersucht wurde die Kombination von in-situ Labormesswerten mit Daten des Continuous Plankton Recorders (CPR), von FerryBox- und Fernerkundungsdaten sowie von Modellergebnissen. Außerdem wurde untersucht wie DNA-Analysen für die Artbestimmung der Planktonproben genutzt werden können. Diese muss kostengünstig sein und trotzdem eine zuverlässige Erfassung des Artenspektrums des Phyto- und Zooplanktons ermöglichen.

Der Bericht setzt sich aus zwei Teilen zusammen:

- ▶ Vorschlag für Monitoringstrategien (Kapitel 2), die basierend auf den Vorgaben von OSPAR und anhand der vorhandenen Daten erarbeitet wurde. Außerdem wurde untersucht, ob die Lage der bestehenden BSH-Routinemonitoringstationen und der iMonEP-Projektstationen geeignet sind, repräsentative Werte für die jeweiligen Bewertungsgebiete zu ergeben.
- ▶ Darstellung der Vergleichbarkeit der verfügbaren Daten der einzelnen Bewertungsparameter sowie methodische Untersuchungen zur DNA-Analytik und CPR (Anhang A).



## 2 Vorschlag für die Monitoringstrategie

Dieses Probennahmekonzept beinhaltet Vorschläge für das Stationsnetz, den Untersuchungsumfang sowie welche Untersuchungsparameter durch welche Monitoringmethoden und in welcher Frequenz in der Nordsee erhoben werden sollten. Das Probennahmekonzept berücksichtigt 1) die Vorgaben von OSPAR für die COMP4-Bewertung und 2) die schon vorhandenen Monitoringaktivitäten durch den Bund und die Bundesländer. Es enthält auch eine erste Arbeitshypothese, welche Ergebnisse der einzelnen Monitoringansätze/-verfahren wie miteinander abgeglichen werden können und welche Monitoringansätze benötigt werden, um die OSPAR-Indikatoren und die nationalen Eutrophierungsindikatoren entsprechend bedienen zu können.

### 2.1 Vorgaben gemäß OSPAR und MSRL

#### 2.1.1 Untersuchungsparameter und deren räumliche und zeitliche Vorgaben

Die pelagischen Habitate werden im Rahmen der MSRL auf Basis der OSPAR „common indicator“ bezüglich der biologischen Vielfalt (Deskriptor 1) und bezüglich der Belastung durch Eutrophierung (Deskriptor 5) bewertet. Vorgaben für die zu bewertenden Parameter sind Chl a, Nährstoffe, Sauerstoff, Schädliche Algenblüten, Phytoplankton (Artspektrum und Biomasse) und Zooplankton (Artspektrum und Abundanz) (Tabelle 1).

Die zeitlichen Vorgaben variieren zwischen den Parametern. Die Beprobung in der Wachstumsperiode (März - September) soll für die Parameter Chl a und Schädliche Algenblüten erfolgen. Das Phyto- und Zooplankton soll alle 12 Monate pro Jahr, aber mindestens die 8 Monate der Wachstumsperiode abdecken. Für Sauerstoff umfasst der Bewertungszeitraum die Monate Juli bis Oktober, für die gelösten Nährstoffe den Winter (Dezember - Februar) und für die Gesamt-Nährstoffe das ganze Jahr (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Vorgegebene Bewertungsparameter und deren Beprobungshäufigkeiten**

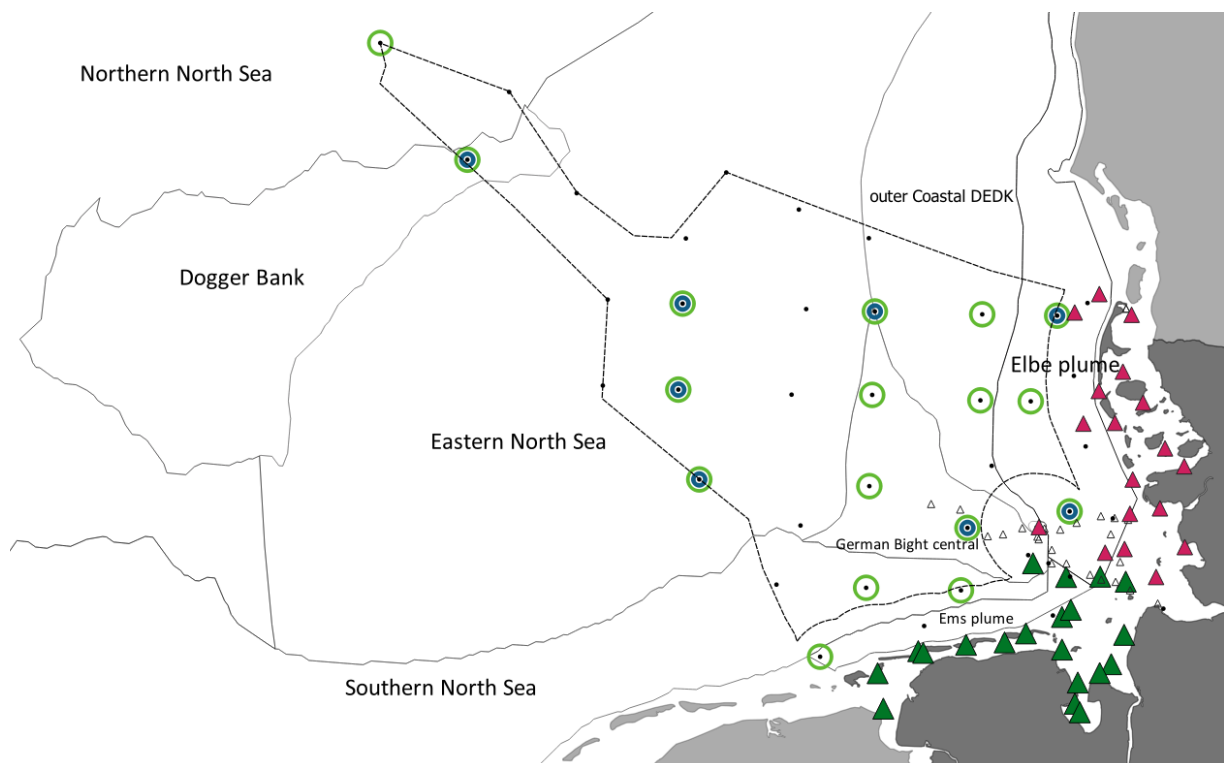
Wofür	Parameter	Zeitpunkt	Häufigkeit
Eutrophierung: OSPAR COMP4 und MSRL D5	gelöste Nährstoffe	Winterperiode: Dezember bis Februar	mindestens monatlich
	Gesamt-Nährstoffe	über das ganze Jahr (nationale Bewertung)	
	Chl a	Wachstumsperiode März bis September (Oktober)	mindestens monatlich
	Schädliche Algenblüten, Phytoplankton Indikator-Arten, OSPAR Indikatoren PH1 – PH3	Wachstumsperiode	
	Sauerstoffmangel	Juli bis Oktober	
Pelagische Habitate: OSPAR-Indikatoren PH1, PH2, PH3 und MSRL D1	Zooplankton: Artspektrum, Abundanz	mindestens Wachstumsperiode, u. U. gesamtes Jahr	mindestens monatlich

Wofür	Parameter	Zeitpunkt	Häufigkeit
	Phytoplankton: Artenspektrum, Biomasse	mindestens Wachstumsperiode, u. U. gesamtes Jahr	mindestens monatlich

Auch für die räumlichen Probennahmeskalen der einzelnen Parameter gibt es Vorgaben, denn die Nordsee kann nicht als Ganzes bewertet werden, weil sich einzelne Gebiete bezüglich ihrer Hydrodynamik deutlich unterscheiden. In dem EU-Projekt JMP EUNOSAT wurden basierend auf u.a. der Hydrodynamik vergleichbare Gebiete, die sogenannten Eutrophierungsbewertungsgebiete (COMP4-Gebiete), definiert (Abbildung 1). Diese Gebiete wurden von OSPAR und national auch als Bewertungsgebiete für die pelagischen Habitate verwendet (OSPAR 2023). Die Frage nach der notwendigen Anzahl an Stationen innerhalb der einzelnen COMP4-Gebiete hat Relevanz für die ‚Spatial confidence‘ im Rahmen des ‚Confidence ratings‘ des OSPAR COMPEAT-Tools (automatisches Berechnungstool). Für das ‚Confidence rating‘ werden die einzelnen COMP4-Gebiete in Abhängigkeit ihrer räumlichen Ausdehnung in Rasterzellen unterschiedlicher Größe weiter unterteilt, wobei Gebiete, die größer als 9.000 km<sup>2</sup> sind, in 60 km x 60 km Rasterzellen, Gebiete, die zwischen 1.700 km<sup>2</sup> und 9.000 km<sup>2</sup> liegen, in 30 km x 30 km Rasterzellen und Gebiete, die kleiner als 1.700 km<sup>2</sup> sind, in 10 km x 10 km Rasterzellen eingeteilt werden. Tabelle 2 listet die Größen der deutschen Bewertungsgebiete sowie die daraus resultierende Anzahl an zu beprobenden Rasterzellen auf.

Im dem folgenden Kapitel 2.2 werden die oben genannten Vorgaben den bereits bestehenden deutschen Monitoringaktivitäten für die einzelnen Parameter vergleichend gegenübergestellt.

**Abbildung 1: Eutrophierungsbewertungsgebiete und Monitoringstationen**



COMP4-Gebiete (schwarze Beschriftung); Positionen mit regelmäßigem Monitoring: schwarze Punkte = BSH-Routinemonitoring, rote Dreiecke = LfU (Schleswig-Holstein), grüne Dreiecke = NLWKN (Niedersachsen), weiße Dreiecke = AWI; iMonEP-Projektstationen: grüner Ring = Planktonstation, blauer Ring = DNA-Station; Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Tabelle 2: Deutsche COMP4-Gebiete und Anzahl der zu beprobenden Rasterzellen**

COMP4-Gebiet	Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ]	Rastergröße [km]	Deutscher Anteil [km <sup>2</sup> ] (prozentualer Anteil)	Anzahl notwendiger deutscher Beprobungsrasterzellen
Northern North Sea	264.253	60*60	1.465 (0,6 %)	höchstens 1
Dogger Bank	14.750		674 (0,04 %)	höchstens 1
Eastern North Sea	60.634		14.224 (23 %)	4
Southern North Sea	61.757		3.058 (4,9 %)	höchstens 1
Outer coastal DEDK	18.540		4.491 (24 %)	1
German Bight Central	4.554,2	30*30	4.554,2 (100 %)	5
Elbe plume	7.837		5029 (64 %)	5 bis 6
Ems plume	1.444,1	10*10	1.444,1 (100 %)	14

## 2.2 Bestandsaufnahme der Monitoringaktivitäten und Möglichkeiten zur Verbesserung der Datenlage

### 2.2.1 Chlorophyll a

Für Chl a gibt es

- Punktmessungen: Dazu zählen zum einen die in-situ-Beprobungen mit anschließenden Laborbestimmungen aus den Routinemonitoringprogrammen des Bundes (BSH) und der Bundesländer, die ein repräsentatives *ground-truthing* darstellen. Darüber hinaus gibt es häufig Fluorometer-Daten von der CTD-Sonde, die stationsgebunden ein Vertikalprofil der Wassersäule erfassen. Die räumliche Abdeckung der Deutschen Bucht durch die bestehenden deutschen Monitoringaktivitäten für in-situ Chl a-Labormessungen ist, verglichen mit den Vorgaben von OSPAR, mit Ausnahme des COMP4-Gebietes „Ems plume“, ausreichend (Tabelle 3). Für das COMP4-Gebiet „Ems plume“ werden 14 zu beprobende Rasterzellen vorgegeben. Das erscheint jedoch hinsichtlich der Größe des Gebietes und der Tatsache, dass die mittlere Chl a-Konzentration an den einzelnen Probennahmetagen ohnehin meist oberhalb der Zielwerte liegen, deutlich zu hoch (s. u. Kapitel A.4.2 und Abbildung A-42). Die zeitliche Abdeckung der Stationen mit Proben ist hingegen meist nicht ausreichend, da nur einzelne Monate in der 8-monatigen Bewertungsperiode beprobt werden (Tabelle 3). Einzige Ausnahme ist das COMP4-Gebiet „Elbe plume“ bei Kombination der Monitoringdaten der Bundesländer und des BSH.
- Transektmessungen (Unterwegsdaten): Dazu zählen Sondenmessungen (Fluorometer), die während der Fahrt erfolgen, z. B. auf den Hereon-FerryBox-Routen oder auf den BSH-Forschungsfahrten, wie der ATAIR (Abbildung 2). Diese Messungen erbringen zeitlich und räumlich (Transekt) hoch aufgelöste Chl a-Daten, sofern das Messsystem verlässlich funktioniert. Voraussetzung hierfür ist die regelmäßige Kalibrierung und Validierung der Fluorometer sowie die regelmäßige Wartung. Hierfür müssen die entsprechenden Ressourcen zur Verfügung stehen und Zuständigkeiten klar geregelt sein. Auch die Probennahme mit dem Planktonrekorder (CPR) und der daraus bestimmte PCI-Index

(Plankton Colour Index), der die Grünfärbung der Gaze bewertet, gehört in diese Kategorie. Der PCI gibt einen groben Überblick über die Grünfärbung des Wassers und gibt damit einen Anhaltspunkt für den Chl a-Gehalt (s. u. Kapitel A.1.5, Abbildung A-26).

- Flächenwerte: Dazu zählen die Fernerkundung und die Modellberechnungen. Fernerkundungsdaten erbringen räumlich und zeitlich (täglich) hoch aufgelöste Daten, sofern keine Bewölkung vorhanden ist. Sie stellen damit eine weitere sehr wichtige Datenquelle dar. Auch die Modelldaten erbringen zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Daten und könnten genutzt werden, sofern die Modelldaten realistische Werte darstellen. Die aus dem Ökosystem-Modell ERGOM berechneten Chl a-Konzentrationen unterschätzen die tatsächlich gemessenen Werte derzeit leider noch (s. u. Kapitel A.1.4, Abbildungen A-24 und A-25). Hier sind weitere Validierungen und Modellanpassungen notwendig, bevor eine Einbindung der Modelldaten in die Bewertung empfohlen werden kann.

**Tabelle 3: Soll und Ist der deutschen Monitoringstationen für Chlorophyll a**

COMP4-Gebiete	Anzahl notwendiger deutscher Beprobungsraster mit monatlicher Beprobung von März bis September	Anzahl bestehender Monitoringstationen	Beprobte Monate (Anzahl beprobter Monate)
Northern North Sea	höchstens 1	2 <sup>i</sup>	März bzw. November und Juli oder August (2 bis 3)
Dogger Bank	höchstens 1	1 <sup>i</sup>	“
Eastern North Sea	4	12 <sup>i</sup> + 1 <sup>iv</sup>	“
Southern North Sea	höchstens 1	3 <sup>i</sup> + 1 <sup>iv</sup>	“
Outer coastal DEDK	1	4 <sup>i</sup> + 1 <sup>iv</sup>	“
German Bight Central	5	5 <sup>i</sup> + 1 <sup>iv</sup> + 1 Helgoland <sup>ii</sup>	“ + März bis September <sup>ii</sup>
Elbe plume	5 bis 6	7 <sup>i</sup> + 5 <sup>ii</sup> + 1 <sup>iii</sup> + 1 <sup>iv</sup>	“ + März bis September <sup>ii</sup>
Ems plume	14	4 <sup>i</sup>	“

<sup>i</sup> BSH-Routinemonitoring

<sup>ii</sup> LfU, Schleswig-Holstein Monitoring

<sup>iii</sup> NLWKN, Niedersachsen Monitoring

<sup>iv</sup> BSH-Großaufnahme im Sommer

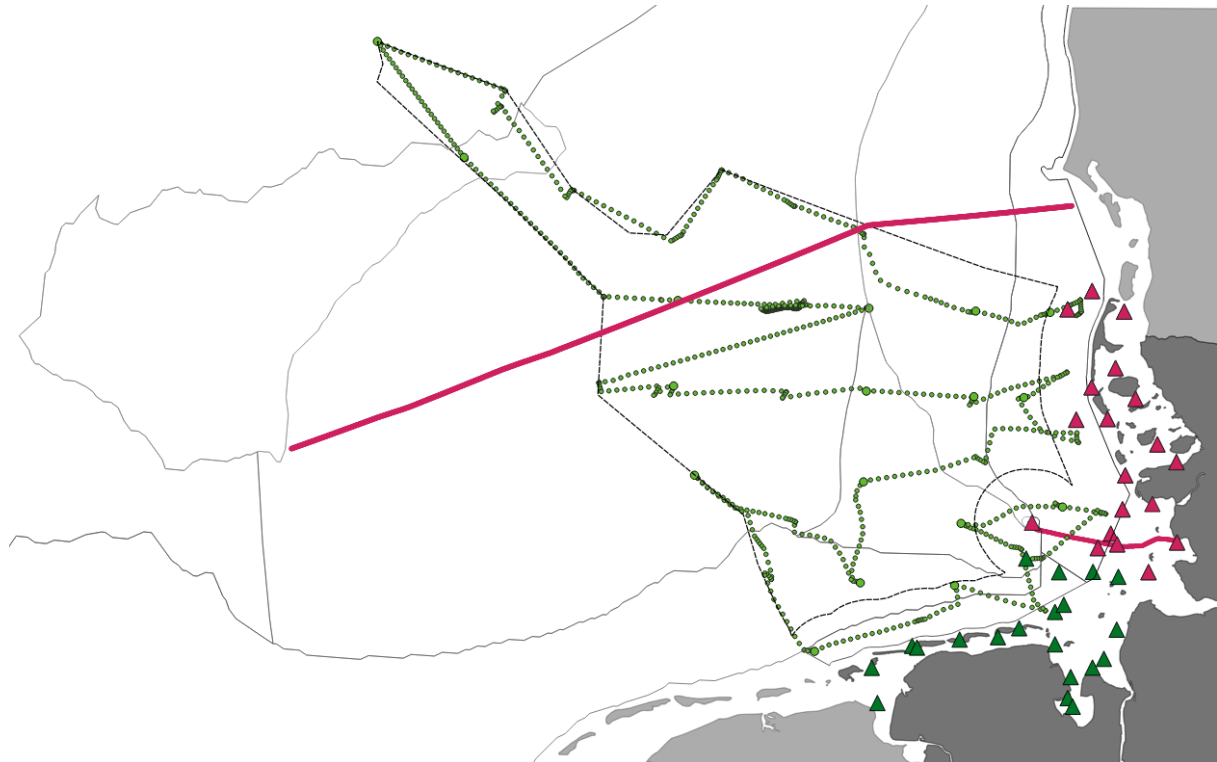
#### So könnte die Datenlage verbessert werden:

Die zeitlichen Lücken in den Chl a-Datenerhebungen könnten durch die Kombination der unterschiedlichen Erfassungsmethoden verringert werden. Im Kapitel A.1 sind die verschiedenen Methoden und die Vergleichbarkeit mit den in-situ-Labormessungen in den Abbildungen A-17 bis A-22 dargestellt. Auch die räumliche Abdeckung ließe sich durch die Einbeziehung dieser zusätzlichen Daten deutlich verbessern (Abbildung 2).

Die Daten der Fernerkundung und der unterschiedlichen in-situ-Messungen können auf unterschiedliche Weise miteinander verknüpft werden (s. u. Textbox Fazit Chlorophyll a).

Für die Bewertung wird der finale Chl a-Wert für die jeweiligen COMP4-Gebiete für die Wachstumsperiode (März bis September/Okttober) mit dem Zielwert verglichen.

**Abbildung 2: Positionen mit verfügbaren in-situ Messungen für Chl a im Sommer 2021**



COMP4-Gebiete = schwarze Grenzen; rote Linien = Hereon-FerryBox-Routen, gepunktete grüne Linie = Fluorometermessungen während der ATAIR-BSH-Monitoringfahrt, grüner Punkt = BSH Monitoringstationen, grüne Dreiecke = NLWKN Monitoringstationen (wobei nicht an allen Stationen Chl a gemessen wird), rote Dreiecke = LfU Monitoringstationen; Quelle: eigene Darstellung, BSH.

### Fazit und Empfehlungen Chlorophyll a

Die Datenlage für Chlorophyll a für die Nordsee ist ausreichend, da Daten aus Fernerkundungsbildern und in-situ-Bestimmungen aus Labor- und Sondenmessungen vorhanden sind und kombiniert werden können. Als Kombination für die unterschiedlichen Methoden sind folgende Möglichkeiten denkbar:

- ▶ Möglichkeit 1: Man berechnet für die einzelnen COMP4-Gebiete jeweils den mittleren monatlichen Chl a-Wert aus allen zur Verfügung stehenden in-situ-Messungen und den Fernerkundungsdaten separat. Anschließend wird der Mittelwert über die monatlichen Mittel der beiden Methoden gebildet.
- ▶ Möglichkeit 2: Fernerkundungsdaten wird es voraussichtlich von jedem Monat geben, während Daten von in-situ-Messungen nicht für jeden Monat verfügbar sind. In den Monaten, in denen sowohl Fernerkundungs- als auch in-situ-Messdaten zur Verfügung stehen, sollte ein Mittelwert zwischen Fernerkundungs- und dem in-situ-Wert ohne Wichtung, also 50:50, berechnet werden. Fehlen die in-situ Messwerte für einzelne Monate wird der monatliche Mittelwert aus der Fernerkundung genommen, oder die in-situ-Werte werden geringer gewichtet (OSPAR-Ansatz).

Bei Verwendung der Fernerkundungsdaten muss berücksichtigt werden, dass sie häufig niedriger als die in-situ Messungen sind und dass die Vergleichbarkeit der Stationen in Küstennähe abnimmt (Abbildung A-22). In Küstennähe stehen jedoch durch das Monitoring der Küstenbundesländer weitere in-situ-Daten zur Verfügung, so dass hier die in-situ-Datenlage deutlich besser ist als in der 12 sm Zone und der AWZ. Diese Daten sind in der MUDAB.

FerryBox-Daten sind grundsätzlich eine wertvolle Datenquelle für zeitlich und räumlich hochaufgelöste Daten. Um sie für das Monitoring nutzen zu können, müsste jedoch gewährleistet sein, dass die Daten regelmäßig qualitätsgesichert werden und die Route des Schiffes verlässlich betrieben wird.

Auch die Daten von den Fluorometermessungen an der CTD-Sonde oder von automatischen Messsystemen sind als Datenquellen geeignet, da sie neben den punktuellen Messungen Informationen zwischen den Stationen oder im Fall der CTD-Sonde auch vertikale Daten liefern. Bei diesen Daten ist unbedingt auf eine gute Qualitätssicherung zu achten, da die Daten in der Regel nicht direkt vergleichbar sind, sondern skaliert werden müssen.

Der PCI kann als grober Näherungswert für die Phytoplankton-Biomasse gesehen werden.

## 2.2.2 Nährstoffe

Für Nährstoffe gibt es

- ▶ Punktmessungen: Dazu zählen die in-situ-Beprobungen mit anschließenden Laborbestimmungen aus den Routinemonitoringprogrammen des Bundes (BSH) und der Bundesländer. Die räumliche Abdeckung der bestehenden deutschen Monitoringaktivitäten für in-situ Nährstoff-Labormessungen ist, verglichen mit den Vorgaben von OSPAR, mit Ausnahme des Gebietes „Ems plume“, ausreichend (Tabelle 4). Für das Gebiet „Ems plume“ werden von OSPAR 14 zu beprobende Rasterzellen vorgegeben, das erscheint wie für Chl a (s. o.) deutlich zu hoch. Die räumliche Variabilität einzelner Nährstoffe ist in den Abbildungen A-28, A-30 und A-32 dargestellt. Die zeitliche Auflösung der Nährstoffdaten hingegen ist nicht ausreichend, da in dem Monitoringprogramm des Bundes (BSH) maximal nur in zwei Monaten während der vorgegebenen 3-monatigen Bewertungsperiode Proben genommen werden und in den Monitoringprogrammen der Bundesländer der Zeitraum von März bis September beprobt wird, der aber nicht den OSPAR Vorgaben entspricht.
- ▶ Transektmessungen (Unterwegsdaten): Dazu zählen Sondenmessungen und automatische Messungen der Durchflussmessgeräte auf den Forschungsschiffen beim Einsatz in der Nordsee während (Abbildungen A-27 bis A-32) und zwischen den Monitoring-Ausfahrten. Die bisherigen Tests waren sehr erfolgreich, aber der Einsatz dieser Methoden ist noch nicht operationalisiert.
- ▶ Flächenwerte: Dazu zählen die Modellberechnungen, die zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Daten erbringen, sofern die Modelldaten realistische Werte darstellen. Die aus dem Ökosystem-Modell ERGOM berechneten Nährstoff-Konzentrationen unterschätzen die tatsächlich gemessenen Werte derzeit leider noch (s. u. Kapitel A.2.3, Abbildungen A-33 bis A-36). Hier sind weitere Validierungen und Modellanpassungen notwendig, bevor eine Einbindung der Modelldaten in die Bewertung empfohlen werden kann.

So könnte die Datenlage verbessert werden:

Anders als für Chl a werden aktuell keine Nährstoffmessungen auf den FerryBox-Routen (Hereon) durchgeführt und auch aus der Fernerkundung gibt es keine Daten. Automatische



Messsysteme werden probeweise eingesetzt. Es sind bisher jedoch noch keine automatischen Messsysteme oder Sonden zur Messung von Nährstoffen in der AWZ installiert und in das Routinemonitoring integriert. Das heißt, dass für Nährstoffe hauptsächlich die Daten aus dem schiffsgestützten Routinemonitoringprogramm vom BSH vorhanden sind, die mit den Monitoringdaten der Küstenländer kombiniert werden können, die insbesondere die 1 sm-Zone abdecken (Abbildungen 1 und 2). In dem sich daran anschließenden Bereich bis zur 12 sm Grenze liegen sehr wenig Monitoringstationen. Neben dieser räumlichen Lücke sollte darauf geachtet werden, dass das Monitoring der Nährstoffe zeitlich insbesondere die für die OSPAR-Bewertung relevante Winterperiode (Dezember bis Februar) abdeckt.

Die Anzahl der in-situ-Messwerte für Nährstoffe ließe sich beispielsweise durch den Einsatz von automatischen Messsystemen vergrößern. Voraussetzung hierfür ist allerdings die regelmäßige Wartung, Kalibrierung und Validierung dieser Geräte. Nitratsonden und nasschemisch automatische (bzw. halbautonome) Durchflussmessgeräte (im BSH: „PowerMon“ bzw. „BlueMon“ der Firma GO Systemelektronik GmbH) könnten während der BSH-Monitoringfahrten kontinuierliche Messungen vornehmen. Tests während der BSH-Monitoringreisen ergaben sehr gut vergleichbare Resultate mit den in-situ-Labormessungen (Abbildungen A-27 bis A-32). Diese Messsysteme könnten auch auf anderen Monitoringreisen oder auf Messplattformen installiert werden, wodurch sich die zeitliche und räumliche Auflösung von Daten für Nitrat (Nitrat-Sonde, nasschemische Durchflussmessgeräte) und für Nitrit, Phosphat und Silikat (nasschemische Durchflussmessgeräte) deutlich verbessern ließe. Die sensiblen nasschemischen Durchflussmessgeräte sind jedoch nicht für den Einsatz auf schwankenden Messbojen geeignet, sondern müssten auf einem stabilen Untergrund z. B. Plattformen installiert werden.

Bei all diesen Überlegungen ist jedoch zu beachten, dass neben den hohen Investitionskosten für die Beschaffung der Sonden und Geräte Personal und Schiffszeiten für die Wartung und Kalibrierung der Geräte zu berücksichtigen ist. Außerdem muss an den Bojen die Stromversorgung und die Datenübertragung sichergestellt sein. Häufig ist insbesondere die Stromversorgung durch bereits vorhandene Messsysteme der limitierende Faktor für die Aufnahme weiterer Sonden und Geräte. Darüber hinaus müssen die Daten regelmäßig qualitätsgesichert werden.

Eine weitere Datenquelle für Ammonium, Nitrat, Phosphat und Silikat könnten auch die Modellberechnungen sein, die tägliche Werte liefern. Um zu überprüfen, ob die Modellwerte realistisch sind, wurden die an den Monitoringstationen gemessenen in-situ-Labormesswerte mit den aus dem Modell berechneten Konzentrationen verglichen (Abbildungen A-33 bis A-36). Während sich für Phosphat kein Zusammenhang zwischen den Konzentrationen aus dem Modell und den in-situ Messungen ergibt, besteht insbesondere für Ammonium und Silikat ein deutlicher Zusammenhang. Die Modellberechnungen ergeben allerdings, verglichen mit den tatsächlich bestimmten in-situ Messwerten, sehr viel geringere Konzentrationen. Gründe dafür könnten die zugrunde gelegten Randbedingungen für die Modellrechnungen sein (z. B. Flusseinträge, Atlantik- bzw. Kanaleinträge) (Fabian Schwichtenberg, BSH, pers. comm.). Denkbar wäre es, die mit dem Modell bestimmten Nährstoffkonzentrationen über die in-situ Messungen zu „eichen“, so wie es auch bei der Kalibration von Sonden geschieht. Um die Modelldaten in die Bewertung mit einzubeziehen, sind nach derzeitigem Stand weitere Modellvalidierungen und -anpassungen notwendig.

**Tabelle 4: Soll und Ist der deutschen Monitoringstationen für Nährstoffe**

COMP4-Gebiete	Anzahl notwendiger deutscher Beprobungsraster	Anzahl bestehender Monitoringstationen	Beprobte Monate
Northern North Sea	höchstens 1	2 <sup>i</sup>	teils im Januar bzw. Februar und November
Dogger Bank	höchstens 1	1 <sup>i</sup>	“
Eastern North Sea	4	12 <sup>i</sup>	“
Southern North Sea	höchstens 1	3 <sup>i</sup>	“
Outer coastal DEDK	1	4 <sup>i</sup>	“
German Bight Central	5	5 <sup>i</sup> + 1 <sup>iii</sup>	“ <sup>i</sup> + März bis September <sup>iii</sup>
Elbe plume	5 bis 6	7 <sup>i</sup> + 5 <sup>ii</sup> + 1 <sup>iii</sup>	teils im Januar bzw. Februar und November <sup>i</sup> + März bis September <sup>ii und iii</sup>
Ems plume	14	4 <sup>i</sup> + 1 <sup>iii</sup>	teils im Januar bzw. Februar und November <sup>i</sup> + März bis September <sup>iii</sup>

<sup>i</sup> BSH-Monitoring

<sup>ii</sup> LfU, Schleswig-Holstein Monitoring

<sup>iii</sup> NLWKN, Niedersachsen Monitoring

### Fazit und Empfehlungen Nährstoffe

Die Datenlage für die Nährstoffmessungen während des Winters (Dezember bis Januar) ist unzureichend, weil in der Regel nur in einem der geforderten drei Monate Proben genommen werden. Die Stationsanzahl ist bis auf das COMP4-Gebiet „Ems plume“ ausreichend. Die Datenlage könnte wie folgt verbessert werden:

- Während der Forschungsreisen könnten neben der Nitrat-Sonde auch nasschemisch automatische (bzw. halbautonome) Durchflussmessgeräte für Nitrit, Phosphat und Silikat eingesetzt werden, um die räumliche Auflösung zu verbessern. Die Qualitätssicherung und die Datenabgabe dieser Daten sollte operationalisiert werden.
- Es sollte geprüft werden, ob beispielsweise in den Windparks, an den MARNET-Messstationen oder auf anderen Plattformen die Möglichkeit bestünde, automatische Messsysteme oder weitere Sonden zu installieren. Insbesondere in den COMP4-Gebieten „Outer coastal DEDK“ und „Eastern North Sea“, an denen Deutschland große Flächenanteile (23 % bzw. 24 %; Tabelle 2) hat, könnte die Datenlage durch den Einsatz von automatischen Messsystemen oder Sonden auf den MARNET-Messstationen „FINO3“ und „NSB2“ verbessert werden (Abbildung 3). Dabei sind jedoch die oben genannten Einschränkungen und Rahmenbedingungen zu beachten.
- In den küstennahen COMP4-Gebieten „Ems plume“, „Elbe Plume“ und „German Bight central“ erfolgt die Probennahme aktuell von März bis September. Hier sollten zusätzliche Daten (über



weitere Probennahmen oder automatisierte Verfahren) aus den Wintermonaten gewonnen werden.

- Die BSH-Routinemonitoringfahrt im Oktober/November liegt außerhalb des Bewertungszeitraums von OSPAR. Eine Verlegung der Fahrt in den Dezember sollte geprüft werden.
- Für die COMP4-Gebiete „Southern North Sea“ (4,9 %), „Northern North Sea“ (0,6 %) und „Dogger Bank“ (0,04 %) sind die deutschen Flächenanteile sehr gering, so dass sich die Frage stellt, ob es notwendig ist, dass Deutschland in diesen Gebieten die Nährstoffkonzentrationen bewerten muss.

### 2.2.3 Sauerstoff

Für Sauerstoff gibt es

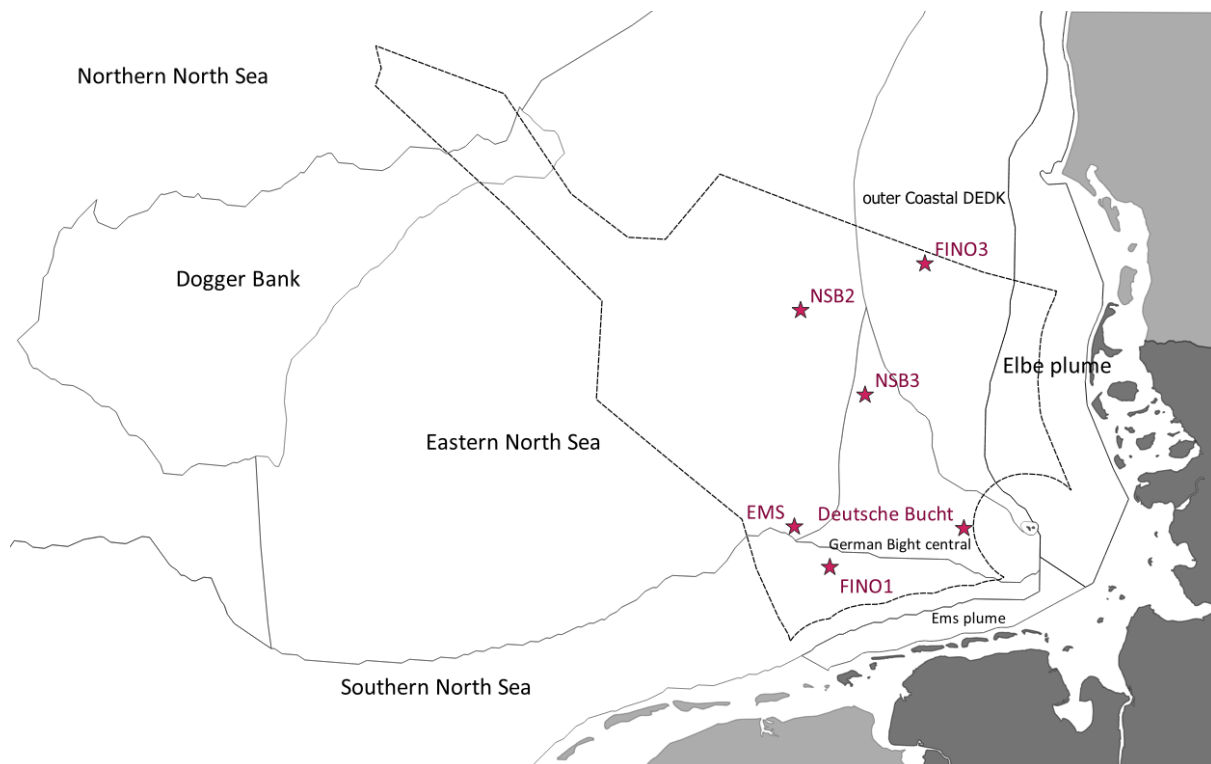
- Punktmessungen: Dazu zählen die in-situ-Beprobungen mit anschließenden Laborbestimmungen aus den Routinemonitoringprogrammen des Bundes (BSH) und der Bundesländer. Darüber hinaus gibt es häufig Sauerstoff-Daten von der CTD-Sonde, die stationsgebunden ein Vertikalprofil der Wassersäule erfassen. Zusätzlich gibt es noch Sondenmessungen auf den MARNET-Stationen, die kontinuierlich die Sauerstoffgehalte an der Wasseroberfläche und am Boden messen (Abbildungen 3 und 4). Die räumliche Abdeckung der bestehenden deutschen Monitoringaktivitäten für in-situ Sauerstoffmessungen ist, verglichen mit den Vorgaben von OSPAR (HASEC 23/6/3 Add. 1, OSPAR) mit Ausnahme des Gebietes „Ems plume“, ausreichend. Die räumliche Variabilität der Bodensauerstoffwerte zwischen 1991 bis 2022 (drei Messwerte von 1902/3 (Gehrke 1916)) ist in den Abbildungen A-57 und A-58 dargestellt. Die zeitliche Auflösung der Sauerstoffmessungen ist in den COMP4-Gebieten „Elbe plume“ und „Ems plume“ verglichen mit den Vorgaben von OSPAR nicht ausreichend, da in dem Monitoringprogramm des Bundes (BSH) maximal nur in zwei Monaten innerhalb des Bewertungszeitraums von Juli bis Oktober Proben genommen werden. In den anderen COMP4-Gebieten wäre durch die kontinuierlichen Messungen der MARNET-Stationen eine ausreichende Datenmenge verfügbar, aber da diese Daten wegen bisher fehlender kontinuierlicher Qualitätssicherung noch nicht in die MUDAB abgegeben werden, stehen sie für die Bewertung nicht zur Verfügung.
- Transektmessungen (Unterwegsdaten) gibt es bisher für die relevanten Bodensauerstoffmessungen noch nicht.
- Flächenwerte: Dazu zählen die Modellberechnungen, die zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Daten erbringen, sofern die Modelldaten realistische Werte darstellen. Die aus dem Ökosystem-Modell ERGOM berechneten Sauerstoff-Konzentrationen überschätzen die tatsächlich gemessenen Werte derzeit leider noch (Abbildung 5), aber sie geben einen guten Eindruck über die Größe und Lage der durch Sauerstoffdefizit beeinträchtigten Fläche. Für die Nutzung der absoluten Sauerstoffwerte aus dem Modell sind noch weitere Validierungen und Modellanpassungen notwendig.

Zu bewerten sind die Größe und die Dauer der vom Sauerstoffmangel betroffenen bodennahen Fläche. Die genaue Lage eines sporadisch auftretenden Sauerstoffmangelgebietes ist nicht vorherzusagen, wenngleich im nordöstlichen Teil der Deutschen Bucht die Wahrscheinlichkeit dafür höher ist als in anderen Bereichen der Deutschen Bucht (Abbildungen A-57 und A-58). Sauerstoffmangelsituationen treten in der Nordsee unregelmäßig meist zwischen August und Oktober bodennah auf. Im Juli/August findet in der Regel eine BSH-Routinemonitoringfahrt statt, während der auch der bodennahe Sauerstoffgehalt an den BSH-Routinemonitoringstationen gemessen wird. Allerdings ist es eher unwahrscheinlich, dass es genau während der Monitoringfahrt zu einer Sauerstoffmangelsituation kommt.

So könnte die Datenlage verbessert werden:

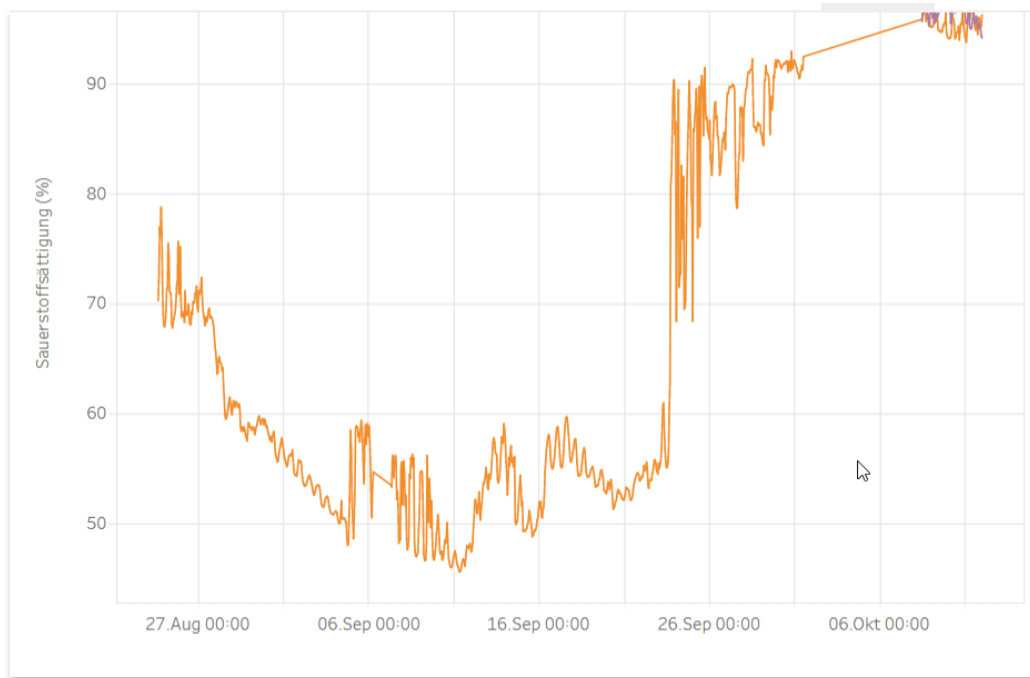
Eine ständige Überwachung der Sauerstoffkonzentrationen wird derzeit schon an vier Stationen des MARNET-Messnetzes (FINO3, Nordseebojen 2 und 3 und Deutsche Bucht) mit automatischen Messsystemen durchführt, sodass Sauerstoffmangelsituationen detektiert werden können (Abbildungen 3 und 4). Diese Messstationen liegen in Gebieten, in denen die Wahrscheinlichkeit für Sauerstoffmangelereignisse hoch ist (s. u. Kapitel A.4.2, Abbildungen A-57 und A-58). Die Daten der Messbojen könnten mit den Modellberechnungen für Sauerstoff kombiniert werden, sodass zusätzlich auch Aussagen über Größe, Intensität und Dauer der von Sauerstoffmangel betroffenen Fläche möglich wären. Die gemessenen Sauerstoffkonzentrationen sind allerdings in der Regel noch niedriger als die mit dem Modell berechneten Konzentrationen (Abbildungen 4 und 5), wie in Brüning et al. 2021 beschrieben. Dennoch, die vom Sauerstoffmangel betroffene Fläche wird mit den Modellberechnungen gut abgebildet.

**Abbildung 3: Lage und Bezeichnung der MARNET-Messstationen**



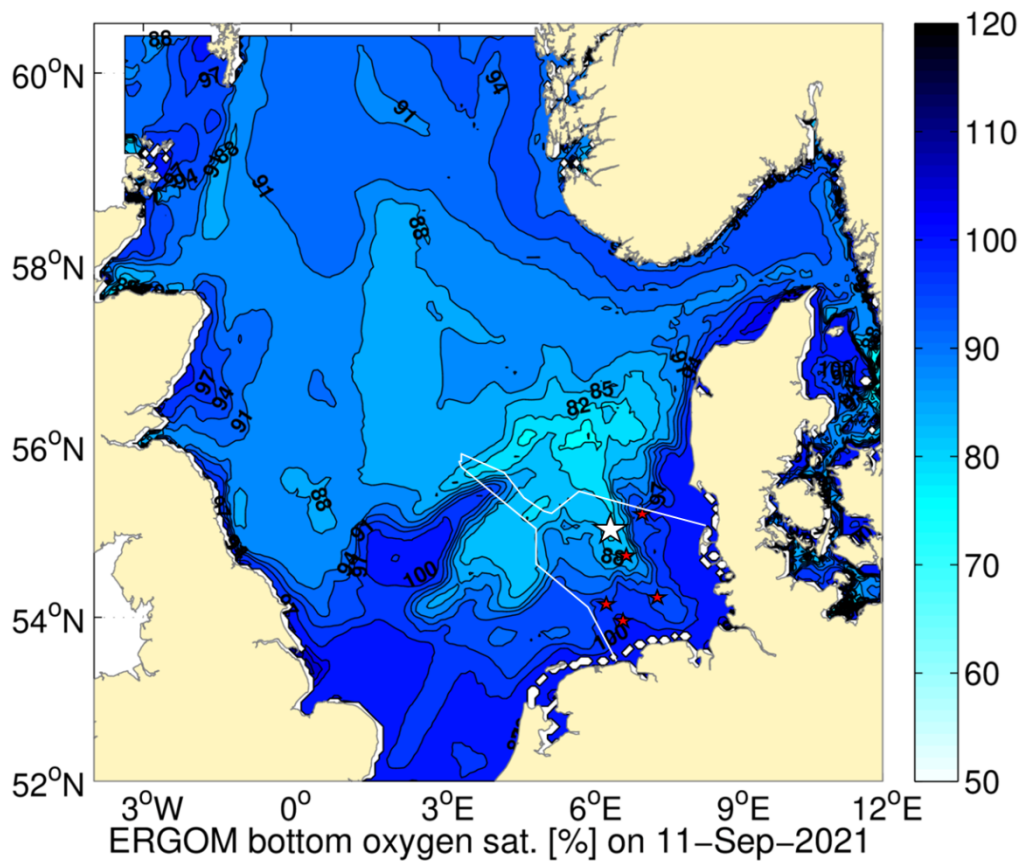
COMP4-Gebiete = schwarze Beschriftung; Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Abbildung 4: Sauerstoffsättigung in Bodennähe an der MARNET-Station Nordseeboje 2**



Zeitraum zwischen Ende August 2021 und Anfang Oktober 2021. Für die Lokalisation der Station siehe Abbildung 3. Quelle: BSH.

**Abbildung 5: Bodennahe Sauerstoffsättigung am 11.09.2021 ERGOM-Modellberechnung (BSH)**



Deutsche AWZ = weiße Linie, Sterne = MARNET-Messstationen, weißer Stern = Nordseeboje 2, für die anderen Namen siehe Abbildung 3. Quelle: Modellergebnisse BSH.

Um die Anzahl an in-situ-Messungen zu erhöhen, könnten auch die Daten der Sauerstoffsonde, die an der CTD-Sonde angebracht ist, mit eingebunden werden. Das könnten sowohl Daten der BSH-Routinefahrten, bei denen die CTD-Sonde eingesetzt wird, als auch Monitoringfahrten anderer Institutionen sein. Beispielsweise unternimmt das vTI (Bremerhaven) regelmäßige Monitoringfahrten im Rahmen der Fischereiforschung. Auf diesen Reisen werden auch Sauerstoffgehalte mit der CTD-Sonde bestimmt. Diese Daten gelangen aber noch nicht in die ICES-Datenbank, da die Sonden bisher nicht kalibriert werden (Hermann Neumann, vTI, pers. comm.). Nach einer Datenrecherche (Ende Februar 2023) sind deutsche CTD-Sauerstoffmesswerte für die Nordsee weder in der MUDAB noch in der ICES-Datenbank zu finden. Dies liegt beispielsweise an der fehlenden Operationalisierung der Qualitätssicherung der Sondendaten.

#### Fazit und Empfehlungen Sauerstoff

Die Datenlage für die Sauerstoffmessungen in Bodennähe zwischen Juli und Oktober in der Nordsee ist unzureichend. Die Datenlage könnte wie folgt verbessert werden:

- ▶ Ausstattung weiterer MARNET-Messstationen mit Sauerstoffsensoren
- ▶ Die MARNET-Messdaten sollten einer Qualitätsprüfung unterzogen, geflaggt und an die MUDAB / ICES-Datenbank geliefert werden.
- ▶ Die punktuellen Messwerte der MARNET-Messstationen sollten mit den Ergebnissen der ERGOM-Modellberechnungen kombiniert werden. So kann aus den Punktmessungen auf die Größe und Lage der betroffenen Fläche geschlossen werden
- ▶ Die Anzahl der in-situ Messungen kann durch Einbeziehung aller Monitoring-Messdaten (z. B. CTD-Messungen mit Sauerstoffsensor) erhöht werden, wie z. B. die Daten der Routinemessreisen des vTI. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine Qualitätssicherung, sodass die Daten aus den unterschiedlichen Quellen vergleichbar sind.

#### 2.2.4 Schädliche Algenblüten

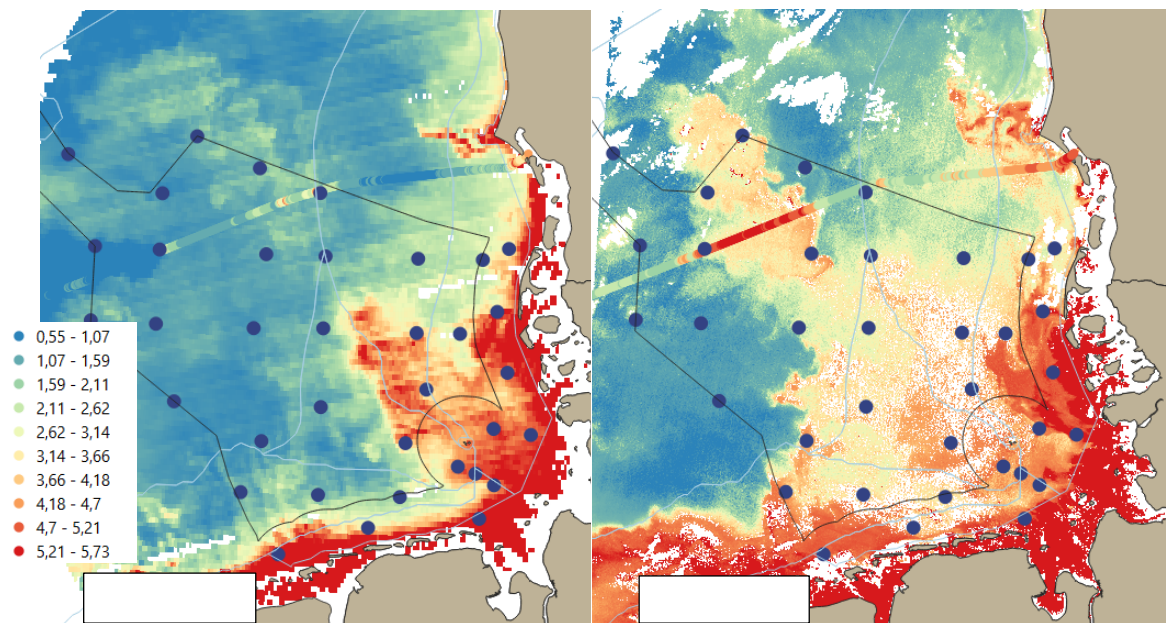
Derzeit wird das Plankton in der AWZ nicht beprobt, und es gibt daher weder Punkt-, Transekt- oder Flächendaten, wie für die oben genannten Parameter. Aus diesem Grund kann das Plankton nicht bewertet werden. Gemäß MSRL und COMP4 müssen die Anzahl, die Dauer und die Ausdehnung von schädlichen Algenblüten bewertet werden. Ähnlich wie Sauerstoffmangelgebiete treten Algenblüten sporadisch auf, sodass sie mit einem zeitlich grob aufgelösten Monitoring nur sehr unzureichend und eher zufällig erfasst werden.

##### So könnte die Datenlage verbessert werden:

Eine Möglichkeit Algenblüten zu erfassen ist die Fernerkundung. Abbildung 6 stellt zwei Fernerkundungsbilder einmal ohne (20.04.2021) und acht Tage später mit einer Algenblüte (28.02.2023) dar. Die Blüte ist auf dem Fernerkundungsbild deutlich zu erkennen. Ebenfalls in den beiden Abbildungen sind die Chl a-Daten der HEREON FerryBox dargestellt, auf denen die erhöhten Chl a-Konzentrationen während der Blüte erkennbar sind. Mit beiden Messmethoden lassen sich also Algenblüten erfassen, aber da jedoch nur schädliche Algenblüten bewertet werden müssen, ist es auch notwendig, die Phytoplanktonart (bzw. Gattung / funktionelle Gruppe etc.) zu bestimmen, die für die Blüte verantwortlich ist. Bisher ist dies mithilfe der Fernerkundung nur sehr begrenzt und auf übergeordneter Ebene möglich (z. B. Cyanobakterienblüten), sodass für die Artbestimmung Planktonproben aus einer Blüte genommen werden müssen. Für das Monitoring könnte man, wenn eine Planktonblüte anhand

hoher Chl a Konzentrationen z. B. in Fernerkundungsbildern detektiert wird, ein Forschungsschiff, das in der Nähe ist, bitten eine Probe mitzubringen. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass das Schiff über das entsprechende Equipment und geschultes Personal verfügt, das heißt, es müssten im Voraus Absprachen getroffen werden. Das LfU z. B. hat solche Absprachen in der Ostsee mit der Wasserschutzpolizei in Bezug auf toxische Algenblüten. Auf den FerryBox-Routen können automatisch Wasserproben genommen werden (Yoana Voynova, Hereon, pers. comm.), sodass aus detektierten Blüten zeitgleich auch Proben erhältlich wären. Auch hier müsste jedoch geschultes Personal an Bord sein, dass die automatisch genommenen Wasserproben fixiert und kühl stellt.

**Abbildung 6: Chl a aus Fernerkundungsbildern und auf der Hereon-FerryBox-Route im April 2021**



BSH-Fernerkundungsbilder der Firma Brockmann Consult für Chl a vom 20.04.2021 (links) und 28.04.2021 (rechts) und die FerryBox-Messungen vom Hereon-Institut auf der Magnolia Seaways von jeweils denselben Tagen; Legende: Chl a-Werte in  $\mu\text{g/L}$ . Quellen: Fernerkundungs-Bilder: der Firma Brockmann Consult (Hamburg-Bergedorf) und modifiziert von Brockmann Consult, Bergedorf.

### Fazit und Empfehlungen schädliche Algenblüten

Algenblüten lassen sich aus dem All auf den Fernerkundungsbildern detektieren. Ob sie schädlich sind oder nicht, kann durch die Bilder nicht beantwortet werden. Da sie sporadisch auftreten ist es nicht möglich, sie mit einem Routinemonitoring planbar zu erfassen. An Wasserproben für Phytoplankton-Artenanalyse könnte man kommen (Einschränkungen s.o.):

- ▶ durch eine automatische Probennahme auf einer FerryBox-Route,
- ▶ vom Hubschrauber aus oder
- ▶ Forschungsschiffe, die sich in der Nähe der Blüte befinden, bitten Proben zu nehmen.

Es laufen Fernerkundungs-Projekte (z. B. EnsAD) mit dem Ziel, Algengruppen aus den Fernerkundungsbildern zu identifizieren. Bisher liegen dazu aber noch keine Ergebnisse vor.



## 2.2.5 Plankton

Bisher findet in der deutschen AWZ kein Planktonmonitoring statt und daher befasste sich ein Arbeitspaket des iMonEP-Projektes mit der Datenerhebung vom Phyto- und Zooplankton an 17 Stationen in der AWZ. Die Projektdaten wurden im Hinblick auf ihre Brauchbarkeit für die OSPAR-Bewertungen der pelagischen Habitate analysiert. Sie wurden unter folgenden Fragestellungen ausgewertet:

- ▶ Lässt sich die räumliche Einteilung der pelagischen Habitate nach OSPAR in der Deutschen Bucht anhand der Planktondaten wiederfinden? (Kapitel 2.2.5.1)
- ▶ Ist die iMonEP-Probennahmestrategie geeignet, Daten für die OSPAR-Bewertungsindikatoren zu liefern? (Kapitel 2.2.5.2)
- ▶ Lassen sich Veränderungen im Zooplankton im 10jährigen Vergleich erkennen? (Kapitel 2.2.5.3)
- ▶ Wie aussagekräftig ist die Chl a-Konzentration als Biomassewert für das Phytoplankton? (Kapitel 2.2.5.4)
- ▶ Welchen Wert haben DNA-Analysen für das Planktonmonitoring? (Kapitel 2.2.5.5)
- ▶ Welchen Wert haben CPR-Daten für das Planktonmonitoring? (Kapitel 2.2.5.6)
- ▶ Zeitbedarf und Kosten für die Planktonbeprobung und Laborauswertung (Kapitel 2.2.5.7)

### 2.2.5.1 Pelagische Habitate in der Deutschen Bucht

OSPAR unterscheidet für die pelagischen Habitate zwischen

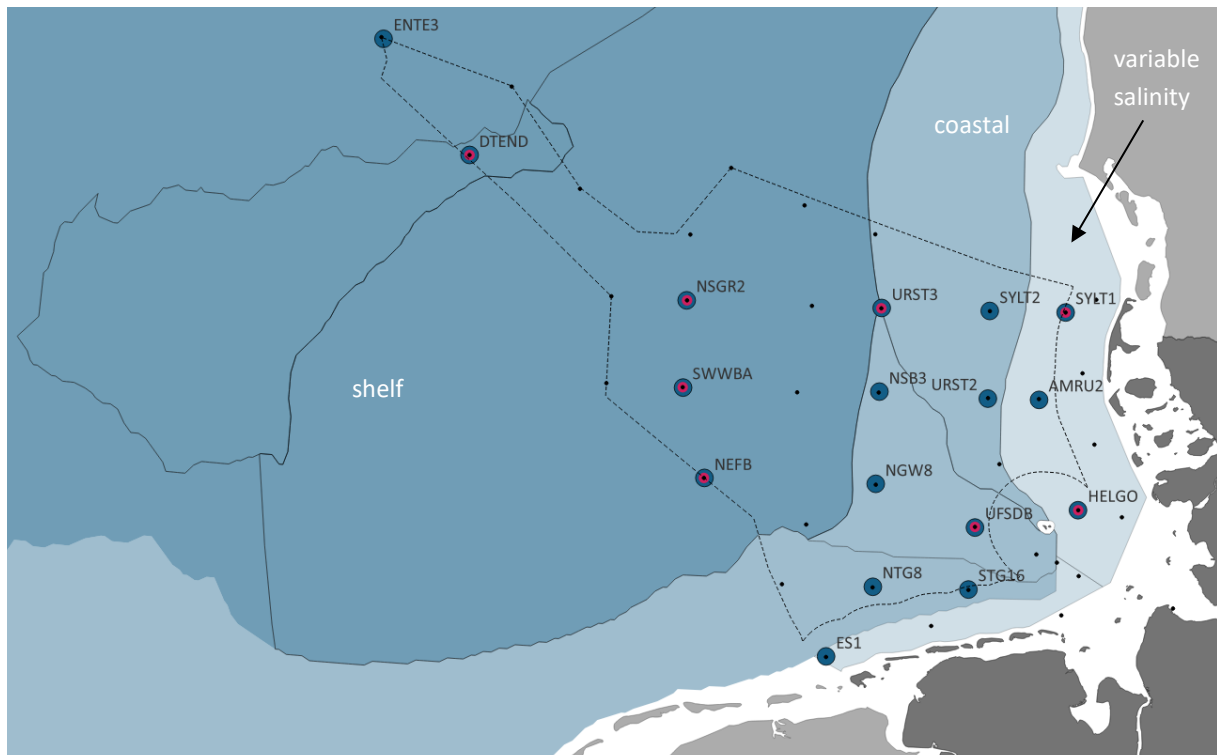
- ▶ Variable salinity: Das sind die COMP4-Gebiete „Ems plume“ und „Elbe plume“ mit den Stationen ES1 und AMRU2, HELGO und SYLT1 (Abbildungen 1 und 7).
- ▶ Coastal: Das sind die COMP4-Gebiete „Southern North Sea“, „German Bight central“ und „Outer coastal DEDK“ mit den Stationen NTG8, STG16, UFSDB, NGW8, NSB3, SYLT2, URST2 und URST3 (Abbildungen 1 und 7).
- ▶ Shelf: Das sind die COMP4-Gebiete „Eastern North Sea“, „Dogger Bank“ und „Northern North Sea“ mit den Stationen DTEND, ENTE3, NEFB, NSGR2 und SWWBA (Abbildungen 1 und 7).

Anhand der Zählraten des Phyto- und Zooplanktons wurde überprüft, ob sich die räumliche Einteilung für die pelagischen Habitate, die OSPAR vorgibt, wiederfindet. Mit Hilfe einer Clusteranalyse lassen sich die Stationen anhand ihrer Taxa-Zusammensetzungen vergleichen und nach Ähnlichkeit gruppieren. Die Clusteranalysen wurden für jede Reise separat durchgeführt und die resultierenden Gruppierungen wurden mit der OSPAR-Einteilung für die pelagischen Habitate verglichen (Tabelle 5).

Die Clusteranalysen sowohl für das Zoo- als auch das Phytoplankton spiegeln mit Ausnahme der Stationen NEFB und SWWBA weitgehend die Einteilung nach OSPAR wider, wenngleich bei einzelnen Reisen die Stationszuordnung anders sein kann (Tabelle 5 und Abbildung 8 exemplarisch für das Zooplankton). Die Stationen NEFB und SWWBA werden nach OSPAR zum pelagischen Habitat ‚shelf‘ gezählt, sollten aber, insbesondere Station NEFB, eher zu ‚coastal‘ eingestuft werden. Die Station NEFB ist auch bzgl. ihrer Schichtungsverhältnisse untypisch für das ihr zugewiesene COMP4-Gebiet (s. u. Kapitel A.4.1, Tabelle A-17). Grundsätzlich sind die 17

Stationen des iMonEP-Projektes geeignet positioniert, um die drei Bewertungsgebiete für pelagische Habitate mit mehreren Stationen abzudecken (Tabelle 5).

**Abbildung 7: OSPAR-Bewertungsgebiete für die pelagischen Habitate und iMonEP-Stationen**



Die drei pelagischen Bewertungsgebiete nach OSPAR (shelf, coastal und variable salinity) und die Stationen des BSH-Routinemonitoringprogramms (schwarze Punkte) und die iMonEP-Projektstationen (blauer Punkt = Zählproben, roter Punkt = DNA-Analyse); AWZ = schwarze gestrichelte Linie, COMP4-Gebiete = schwarze Linien. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

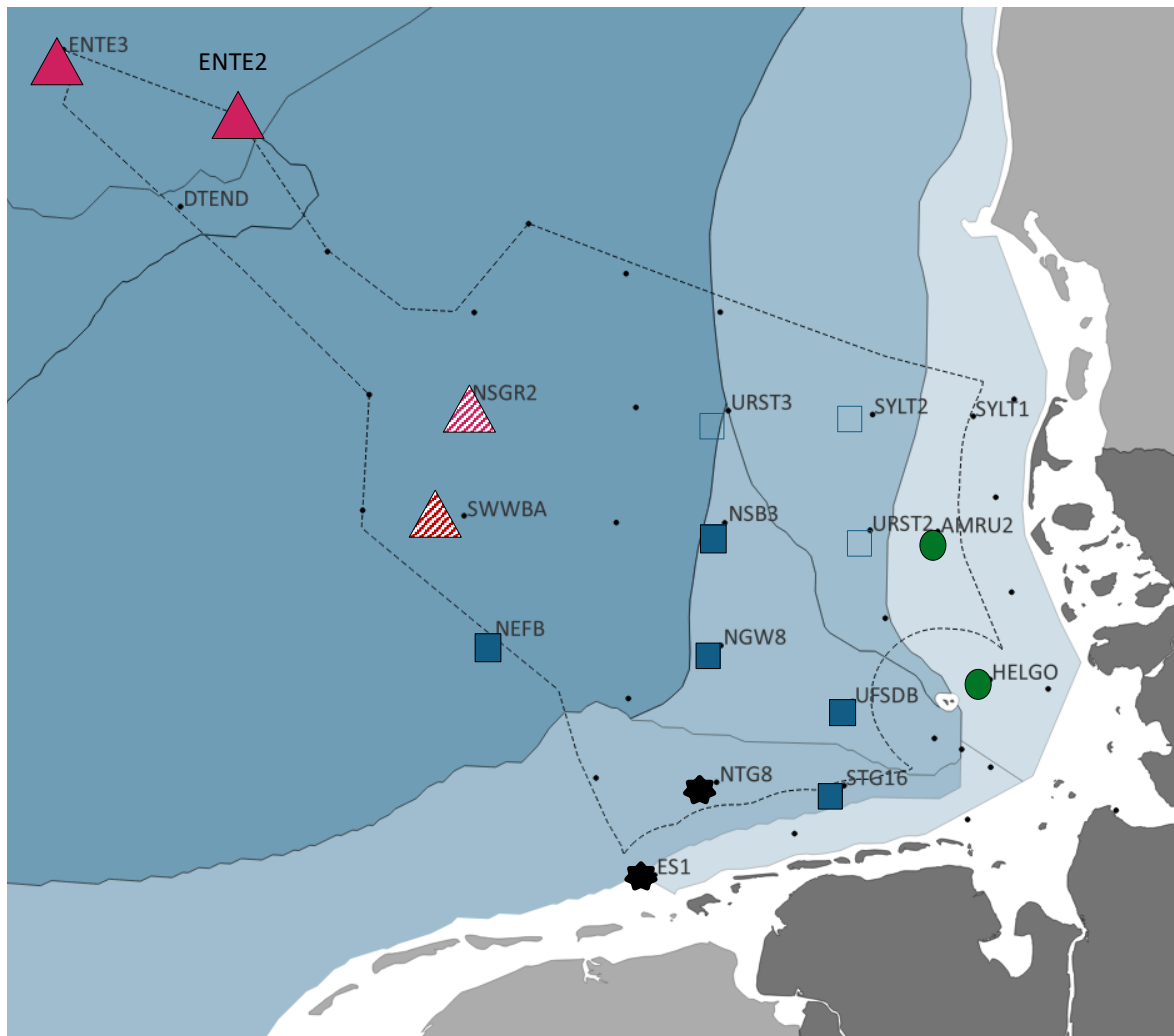


**Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse der Clusteranalysen für Phyto- und Zooplankton**

OSPAR																
										Mä 21	Jul 21	Apr 22	Aug 22	Nov 22	Jan 23	Mä 23
			-	○	★	◐	■	●	●	●	□	●	●	■	■	●
		AMRU2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	□	●	●	●	●
			●	■	○	●	●	■	□	●	■	●	■	●	●	●
	Ems plume	ES1	★	◐	◐	◐	◐	□	●	○	●	●	●	□	●	□
			□	●	◐	□	■	●	□	□	●	■	●	■	■	■
		URST2	□	●	●	◐	■	●	□	○	■	■	■	●	●	■
			□	■	○	□	◐	■	■	▲	■	■	■	■	■	●
		NSB3	■	■	○	□	◐	■	★	■	□	□	□	■	■	○
			■	●	◐	●	□	■	■	■	■	■	■	●	■	○
		NGW8	■	■	○	□	◐	○	★	■	□	■	■	▲	▲	□
			★	●	●	●	□	□	□	○	■	●	□	□	□	□
		STG16	■	●	●	◐	●	●	□	■	■	■	●	□	□	□
			■	■	▲	□	▲	○	★	■	■	■	■	▲	■	●
		SWWBA	▲	□	▲	□	▲	▲	■	■	▲	▲	□	■	▲	■
			▲	□	▲	■	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	■	▲	■
		DTEND	-	▲	▲	■	▲	▲	-	★	▲	▲	▲	▲	■	□
			▲	-	▲		▲		▲		▲		▲	▲	▲	
		ENTE3	▲	▲	-	■	-	▲	▲	▲	-	▲	▲	-	-	□

Zuordnung der Stationen zu den Clustern (Bray-Curtis-Similarity, Transformation 4. Wurzel, Complete Linkage) für das Phyto- und für das Zooplankton (2.Wurzeltransformation) für die einzelnen iMonEP-Reisen 2021 bis 2023. Bzgl. ihrer Artenzusammensetzung besonders ähnliche Stationen haben dasselbe Symbol und die gleiche Farbe und ähnliche Stationen haben dasselbe Symbol, d. h. Stationen mit dem Symbol Dreieck sind sich ähnlicher als die Stationen mit einem Kreis oder Rechteck. Für Phytoplankton ist der Biomassebezug [ $\mu\text{g C/L}$ ], für Zooplankton [Abundanz/ $\text{m}^3$ ]; - = Station wurde nicht beprobt.

**Abbildung 8: Ergebnisse der Clusteranalyse Zooplankton**



Zuordnung der Cluster für die Zooplanktondaten AT003 (März 2021). Auf dieser Reise wurde anstelle von Station DTEND die Station ENTE2 beprobt. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

#### 2.2.5.2 iMonEP-Probennahmestrategie zur Bedienung der OSPAR-Bewertungsindikatoren

OSPAR schlägt zur Bewertung der pelagischen Habitate drei Indikatoren vor

- ▶ PH1 Vergleich von ausgewählten Lebensform-Paaren, z. B. Diatomeen vs. Dinoflagellaten, gelatinöses Zooplankton vs. Fischlarve, bzw. -eier, Crustacea vs. gelatinöses Zooplankton, Holoplankton vs. Meroplankton.
- ▶ PH2 Veränderungen in der Copepoden-Abundanz und Phytoplankton-Biomasse (z. B. Chl a).
- ▶ PH3 Veränderung in der Planktondiversität, die anhand von Diversitätsindices bestimmt wird.

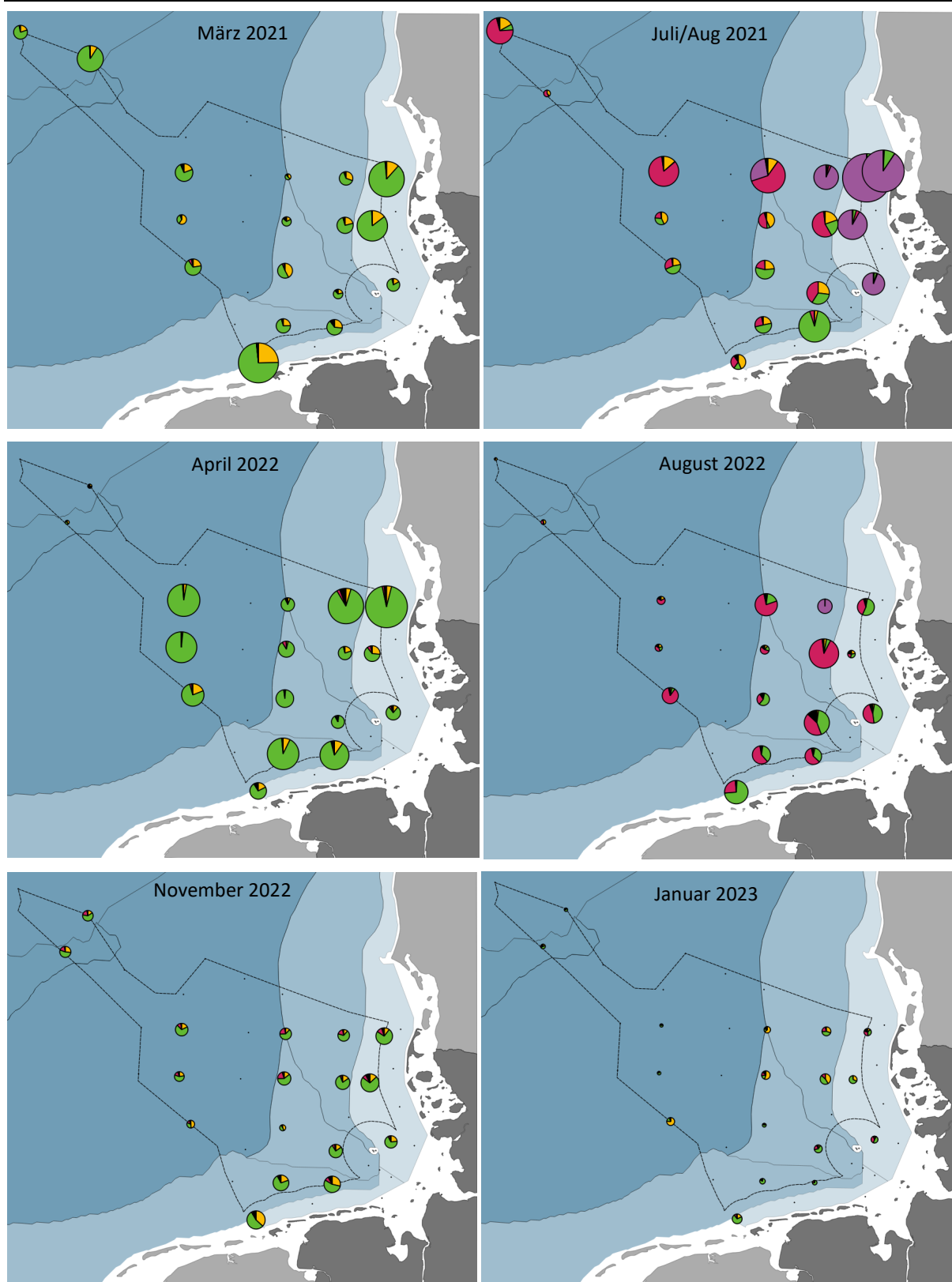
Die benötigten Eingangsdaten in den Bewertungsgebieten sind quantitative Angaben zum Arteninventar inkl. der Biomasse des Phyto- und Zooplanktons. Daher sind in-situ Beprobungen mit anschließenden Artenbestimmungen und -vermessungen notwendig. Das klassische Planktonmonitoring basiert auf Netzfängen (Zooplankton) bzw. Wasserproben (Phytoplankton), die unter dem Binokular bzw. dem Mikroskop bestimmt, ausgezählt und vermessen werden. OSPAR gibt monatliche Beprobungen als minimale Anforderung der Probennahmestrategie vor.

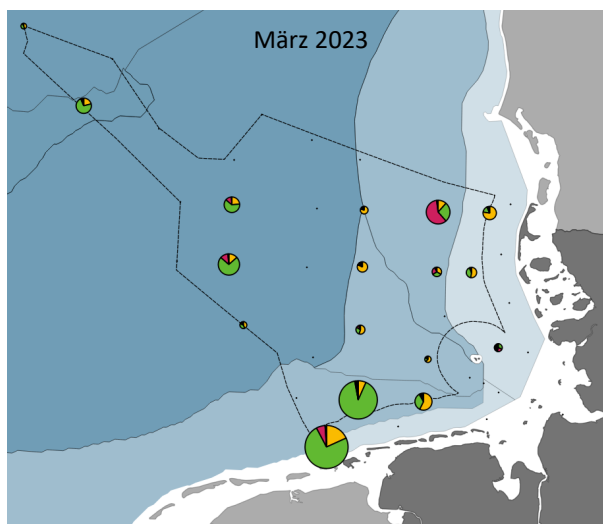
Die Beprobungen während des iMonEP-Projektes erbrachten für das Phyto- und Zooplankton detaillierte Bestandsaufnahmen in allen pelagischen Bewertungsgebieten, wobei auch die unterschiedlichen Jahreszeiten abgedeckt waren. Wie zu erwarten, ist das Frühjahrsplankton von Diatomeen dominiert und im Sommer nimmt der Anteil der Dinoflagellaten zu (Abbildung 9). Abbildung 10 stellt die Hauptgruppen des Zooplanktons der iMonEP-Projektreisen dar. Die Copepoda stellen mengenmäßig die dominanteste Gruppe im Holoplankton dar und im Frühjahr hat das Meroplankton an vielen Stationen einen großen Anteil.

So könnte die Datenlage verbessert werden:

Die erhobenen Phyto- und Zooplankton-Daten der iMonEP-Beprobungen sind zur Bedienung der OSPAR-Indikatoren geeignet, da alle Bewertungsgebiete mit Stationen abgedeckt waren und sowohl das Arteninventar als auch die Biomasse ermittelt wurden. Allerdings sind die zeitlichen Vorgaben von OSPAR mit nur zwei bis vier Probennahmefahrten pro Jahr nicht erfüllt (Tabelle 1). Eine zeitliche Ausweitung der Beprobung mit zusätzlichen Probennahmefahrten auf dem bestehenden iMonEP-Stationsraster mit 17 Stationen ist finanziell und personell nicht möglich. Zukünftig sollten für die Bedienung der OSPAR-Indikatoren auch weiterhin Proben während des BSH-Routinemonitorings an den 17 Stationen genommen werden, da auf diese Weise zeitgleich auch Daten von wichtigen Begleitparametern wie z. B. Chl a, Nährstoffe, ozeanographische Messgrößen verfügbar wären. Allerdings werden pro Jahr nur drei bis vier Ausfahrten durchgeführt, sodass weitere Daten von anderen Beprobungen einbezogen werden müssen. In Küstennähe stehen die Daten der Küstenbundesländer zur Verfügung, die an einigen Stationen monatlich Planktonproben in dem Bewertungsgebiet ‚variable salinity‘ nehmen (Abbildung 1). Diese Daten sind schon in der MUDAB vorhanden. In dem Bewertungsgebiet ‚coastal‘ nimmt das AWI monatlich um Helgoland herum Zoo- und Phytoplanktonproben, die u. U. für die Bewertung herangezogen werden könnten. Diese Daten sind nicht in der MUDAB und es müssten daher Absprachen mit dem AWI erfolgen, wie diese Daten für die OSPAR-Bewertung genutzt werden könnten. Schwierig ist die Datenlage in dem Gebiet ‚Sshelf‘, da keine weiteren in-situ-Planktonbeprobungen stattfinden. Die Lücke ließe sich durch die CPR-Daten schließen (s. u. Kapitel 2.2.5.6). Des Weiteren könnten in-situ Probennahmen z. B. während Wartungsfahrten der MARNET-Nordseebojen, die in 2-monatigem Abstand durchgeführt werden, stattfinden. Dazu ist aber die Mitfahrt von in die Probennahme eingearbeiteten Mitarbeitenden notwendig und außerdem wird zusätzliche Zeit benötigt, die häufig aufgrund des engen Schiffseinsatzplanes nicht zur Verfügung steht. Denkbar wären es auch automatische Probensammler und/oder Kamerasysteme auf den Bojen und auf Plattformen zu installieren.

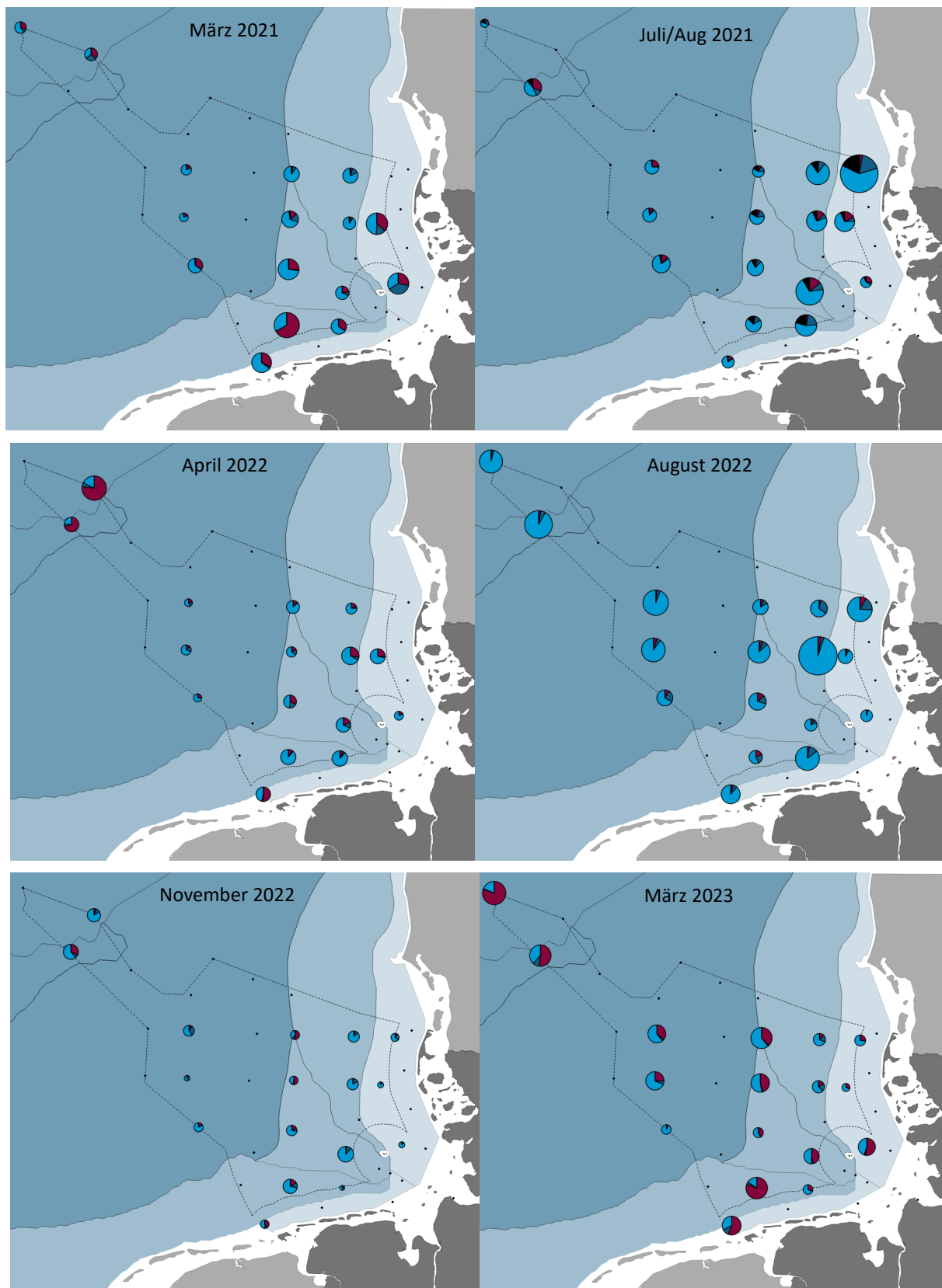
**Abbildung 9: Phytoplanktonzusammensetzung der sieben iMonEP-Projektreisen**





Phytoplanktonzusammensetzung bezogen auf Zellkohlenstoff [ $\mu\text{g C/L}$ ], grün = Diatomeen, blau = Dinoflagellata ohne *Noctiluca scintillans*, hellblau = *N. scintillans*, gelb = Flagellata, schwarz = restliche Phytoplanktongruppen; graue Hintergrundfarben = pelagische Habitate nach OSPAR; eigene Darstellung, BSH.

**Abbildung 10: Zooplanktonzusammensetzung der iMonEP-Projektreisen in 2021 bis 2023**



Zooplanktonzusammensetzung Abundanz [ $N/m^3$ ], hellblau = Copepoda, dunkelblau = restliches Holo plankton ohne Copepoda, rot = Meroplankton, schwarz = restliches Plankton inkl. Ichthyoplankton, graue Hintergrundfarben = pelagische Habitate nach OSPAR; eigene Darstellung, BSH.

### 2.2.5.3 Lassen sich Veränderungen im Zooplankton im 10jährigen Vergleich erkennen?

In dem OSPAR-Papier BDC22/03/02Add5-E werden die drei OSPAR-Indikatoren aufgelistet und die bisherigen Erkenntnisse für die drei pelagischen Habitate beschrieben (Tabelle 6). Die Aussagen zum Zooplankton werden den Ergebnissen der Untersuchungen vom IOW (2008 bis 2011) im Vergleich zu den etwa 10 Jahre späteren iMonEP-Auszählungen der Frühjahr-Sommer- und Herbstbeprobungen von 2021 bis 2023 gegenübergestellt (Abbildungen 11 und 12). Für den Vergleich wurden nur die iMonEP-Projektstationen ausgewählt, die auch vom IOW beprobt wurden. Das waren insgesamt 12 Stationen mit jeweils 4 Stationen in jedem der drei pelagischen Habitate. Die Meroplankter bzw. Copepoden Anzahlen wurden für jeden Zeitpunkt und innerhalb des Habitats gemittelt. Bei diesem Vergleich muss berücksichtigt werden, dass die Probennahme vom IOW mit einem WP2-Netz mit einer Maschenweite von 200 µm und die iMonEP-Beprobungen zwar mit einem identischen WP2-Netz aber einer geringeren Maschenweite (150 µm) durchgeführt wurde.

**Variable salinity:** In diesem pelagischen Habitat war im März 2021 und 2023 die Abundanz der Meroplankter deutlich höher als 2008 bis 2011 und zu den anderen Zeitpunkten in vergleichbarer Höhe (Abbildung 11). Die Anzahl an Copepoda war im März 2021 und 2023 teils höher als in 2008 bis 2011 und zu den anderen Zeitpunkten in vergleichbarer Höhe (Abbildung 12). Somit kann die Aussage in der Tabelle 6, dass die Copepoda abnehmen, mit den Datensätzen vom IOW und iMonEP-Projekt nicht gestützt werden.

**Coastal:** In diesem pelagischen Habitat war die Anzahl an Meroplanktern im März 2021 etwas höher und 2023 deutlich höher als in den Jahren 2008 bis 2011 und zu den anderen Zeitpunkten etwa in vergleichbarer Höhe (Abbildung 11). Damit kann die Aussage von OSPAR (BDC22/03/02Add5-E), dass das Meroplankton signifikant zugenommen hat (Tabelle 6), nur mit den Daten der iMonEP-Auszählungen aus dem März bestätigt, aber zu den anderen Zeiten nicht bestätigt werden. Die Abundanz der Copepoda ist in 2008 bis 2011 und 2021 bis 2023 etwa vergleichbar hoch, bzw. im März sogar etwas höher als in den IOW-Proben (Abbildung 12). Somit kann auch in diesem pelagischen Habitat die Aussage, dass die Copepoden-Abundanz abgenommen hat, nicht bestätigt werden.

**Shelf:** In diesem pelagischen Habitat war - wie auch in den anderen beiden pelagischen Habitaten - die Abundanz des Meroplanktons im März 2021 und 2023 höher als in den IOW-Untersuchungen und in den iMonEP-Sommer- und Herbstbeprobungen von 2021 bis 2022 etwa in vergleichbarer Höhe (Abbildung 11). Die Abundanz der Copepoda war von 2021 bis 2023 vergleichbar hoch zu den IOW-Auswertungen (Abbildung 12). Somit kann die Aussage, dass die Copepoda abnehmen mit den Untersuchungen vom IOW und vom iMonEP-Projekt nicht gestützt werden.

Zusammenfassend kann ausgesagt werden, dass in keinem der pelagischen Habitate die Copepoden Anzahl geringer geworden ist. Für das Meroplankton ist auffällig, dass insbesondere bei den Märzbeobachtungen die Anzahlen in den iMonEP-Proben deutlich über den IOW-Proben liegen.

**Tabelle 6: Zusammenfassung der OSPAR-Indikatoren und bisherige Erkenntnisse**

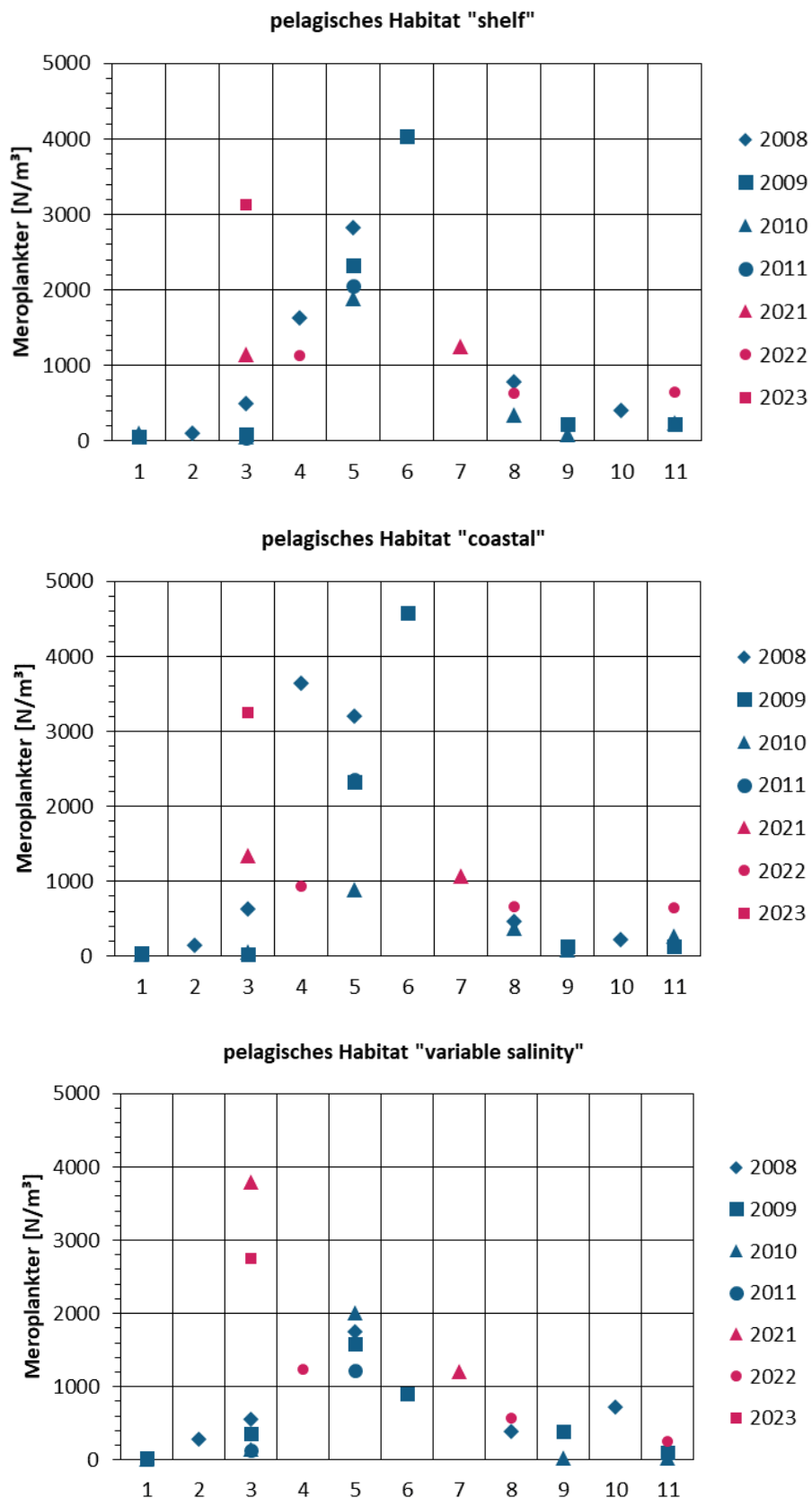
Pelagisches Habitat (COMP4-Bewertungsgebiet)	Variable salinity (Ems plume, Elbe plume)	Coastal (SNS, German Bight central, outer coastal DEDK)	Shelf (Eastern NS, Northern NS, Dogger Bank)
Indikator/ iMonEP-Stationen im pelagischen Habitat	ES1, AMRU2, HELGO, SYLT1		NEBF, SWWBA, NSGR2, ENTE3, DTEND



Pelagisches Habitat (COMP4-Bewertungsgebiet)	Variable salinity (Ems plume, Elbe plume)	Coastal (SNS, German Bight central, outer coastal DEDK)	Shelf (Eastern NS, Northern NS, Dogger Bank)
		NTG8, STG16, UFSDB, NGW8, NSB3, SYLT2, URST2, URST3	
PH1 Vergleich von ausgewählten Lebensform-Paaren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dinoflagellaten und Fischlarven nehmen zu</li> <li>- Holoplankton, große und kleine Copepoda nehmen ab (Erkenntnisse basieren allerdings nur auf wenigen Stationen/Werten, d.h. unsichere Aussagen)</li> <li>- Keine klaren Verbindungen zwischen anthr. Belastungen und Lebensform-Abundanzen erkennbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Signifikante Zunahme von Meroplankton und Fischlarven (wird mit Meeresspiegelanstieg, Temperaturerhöhung (unsicher), Salzgehaltszunahme (unsicher) in Verbindung gebracht).</li> <li>Gute Abdeckung mit Stationen, d.h. sichere Bewertung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diatomeen, Meroplankton nehmen signifikant zu (wird mit Temperaturerhöhung in Verbindung gebracht),</li> <li>- Fischlarven nehmen auch signifikant zu (wird mit Zunahme der Sichttiefe in Verbindung gebracht)</li> <li>- Dinoflagellaten, Holoplankton, und kleine Copepoda nehmen signifikant ab</li> <li>- keine Trends können für das gelatinöse Zooplankton abgeleitet werden</li> </ul>
PH2 Copepoden-Abundanz und Phytoplankton-Biomasse (z. B. Chl a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Signifikante Abnahme der Phytoplankton-Biomasse (nach Modellberechnungen liegt das an abnehmender PO<sub>4</sub>-Konzentration)</li> <li>- Signifikante Abnahme Zooplankton-Abundanz (wird mit Temperaturerhöhung in Verbindung gebracht) (Erkenntnisse basieren allerdings nur auf wenigen Stationen/Werten, d.h. unsichere Aussagen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Signifikante Abnahme der Phytoplankton Biomasse (wird mit zunehmendem Trend der N/P-Verhältnisse in Verbindung gebracht)</li> <li>- Signifikante Abnahme der Zooplankton Abundanz (wird mit Verflachung der mixed layer depth in Verbindung gebracht)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abnahme der Phytoplankton Biomasse (wird mit Zunahme der N/P-Verhältnisse in Verbindung gebracht)</li> <li>- Abnahme Zooplankton Abundanz (wird mit Verflachung der mixed layer depth in Verbindung gebracht)</li> </ul>
PH3 nur „candidate“ in der Nordsee			

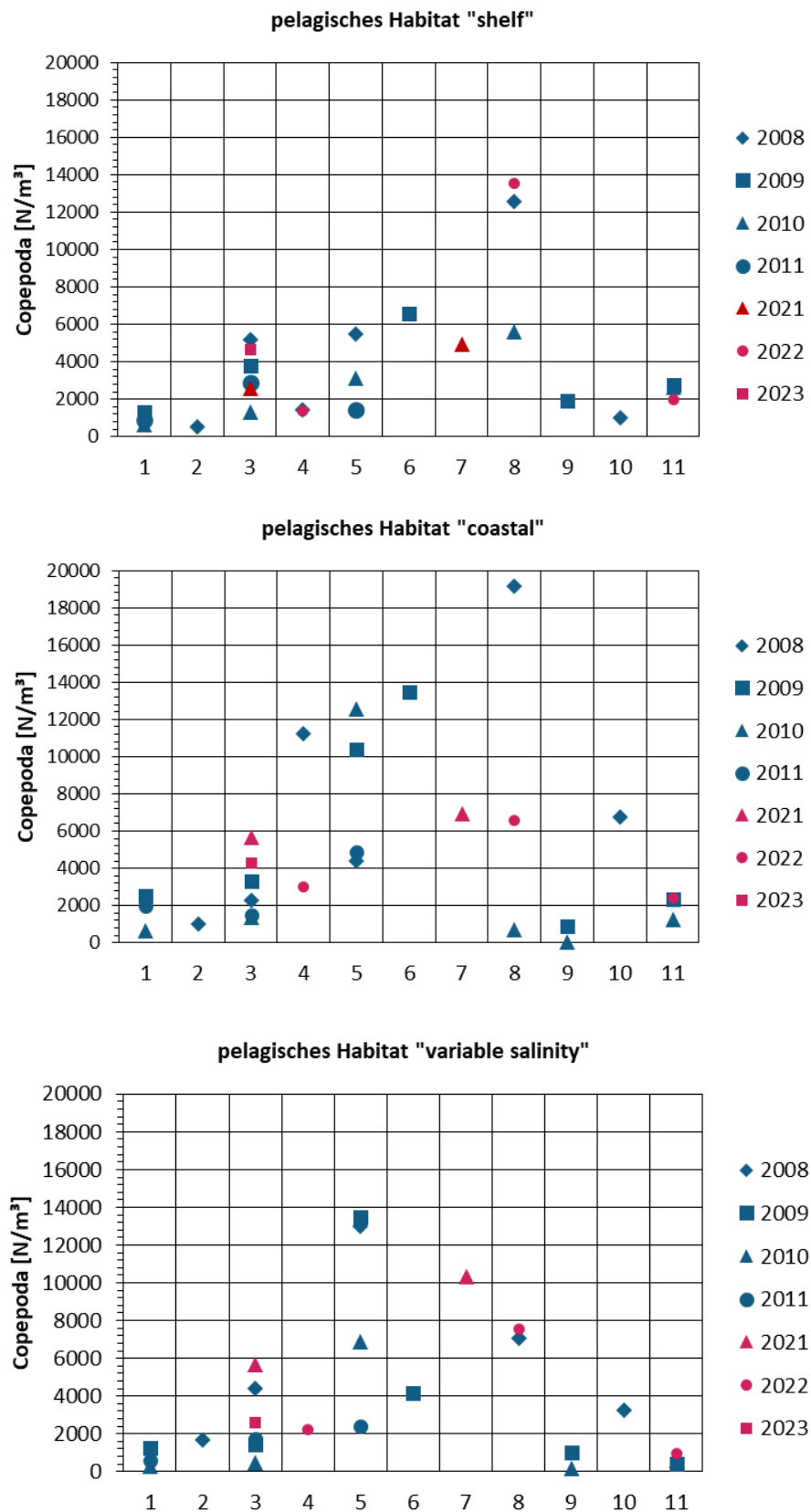
Zusammenfassung aus dem OSPAR-Papier BDC22/03/02Add5-E.

**Abbildung 11: Meroplankton Abundanz im zeitlichen Vergleich in den drei pelagischen Habitaten**



Vergleich der Meroplankton Abundanz der Untersuchungen vom IOW von 2008 bis 2011 und des iMonEP-Projektes in von 2021 bis 2023 in den drei pelagischen Habitaten nach OSPAR. Die Zahlen 1 bis 11 an der x-Achse geben den Monat der Probennahme an. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Abbildung 12: Copepoda Abundanz im zeitlichen Vergleich in den drei pelagischen Habitaten**

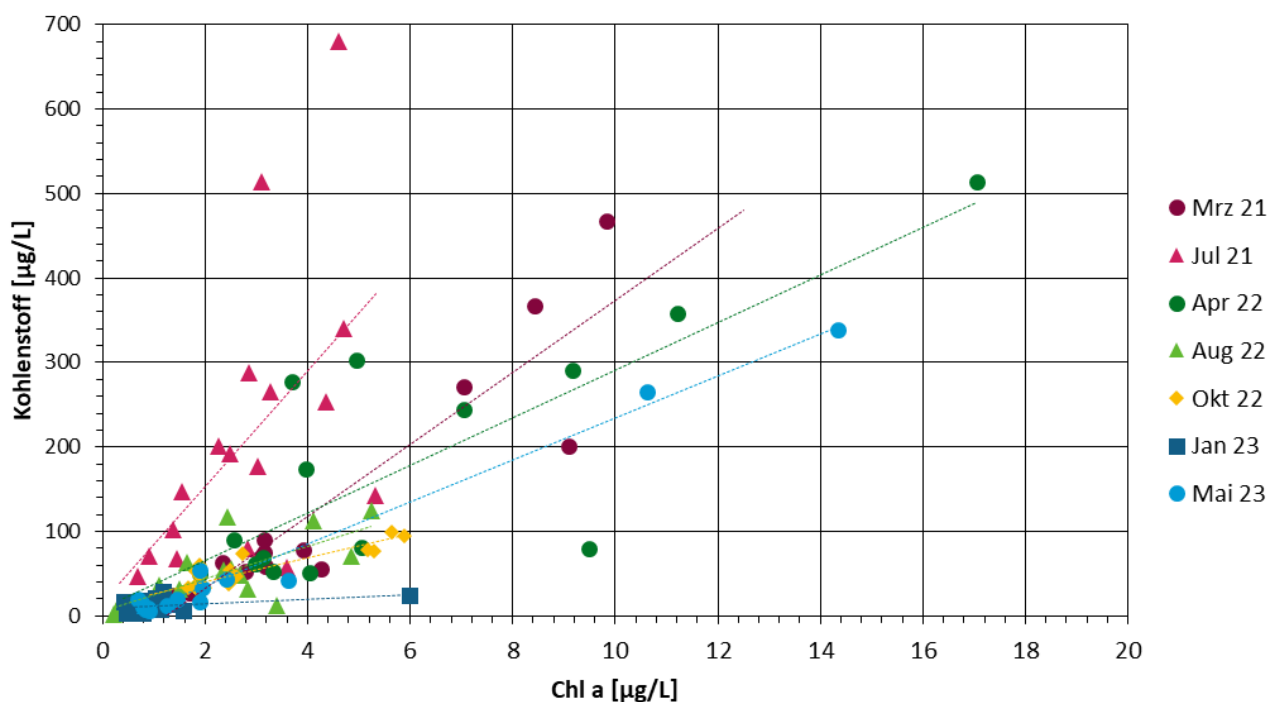


Vergleich der Copepoda Abundanz der Untersuchungen vom IOW von 2008 bis 2011 und des iMonEP-Projektes von 2021 bis 2023 in den drei pelagischen Habitaten nach OSPAR. Die Zahlen 1 bis 11 an der x-Achse geben den Monat der Probennahme an. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

#### 2.2.5.4 Wie aussagekräftig ist die Chl a-Konzentration als Biomassewert für das Phytoplankton?

Für sieben iMonEP-Ausfahrten der Beprobungen aus den Jahren 2021, 2022 und 2023 (Januar und April) wurden die jeweiligen Abhängigkeiten zwischen den im Labor gemessenen Chl a-Konzentrationen und der Phytoplanktonbiomasse, ausgedrückt als Kohlenstoff, dargestellt (Abbildung 13). Bei dieser Betrachtung wurden nur die auto- und mixotrophen Phytoplankter berücksichtigt. Die Steigungen der Regressionsgeraden variieren bei den sieben Reisen und liegen zwischen 2,7 im Januar 2023 (CE23002) und 68,8 im Juli 2021 (AT006\_3). Weiterhin ist erkennbar, dass einzelne Stationen während eines Zeitpunktes deutlich von der Regressionsgerade abweichen können. Wollschläger et al. (2015) geben für die Deutsche Bucht eine Steigung der Regressionsgeraden von 37,9, basierend auf sechs Beprobungen zwischen Mai 2010 und September 2011, an. Das ist etwa vergleichbar mit einem Wert von 29,9, wenn man die Regressionsgerade aus den Daten aller sieben iMonEP-Beprobungen gemeinsam berechnet. Die in Abbildung 13 dargestellten Daten sind also in Übereinstimmung mit den Literaturangaben. Berechnet man für jede Reise den mittleren Quotienten C / Chl a liegt dieser zwischen 14,6 im Januar 2023 und 69,9 im Sommer 2021. Reid et al. 1990 geben Quotienten C / Chl a zwischen 20 und 50 für vitale Diatomeen-, Microflagellaten- und Dinoflagellaten-Gemeinschaften, Quotienten zwischen 50 und 150 für Phytoplanktongemeinschaften in unterschiedlichem physiologischen Zustand und Werte > 150 für absterbende Blüten, an. Werte kleiner als 20 wurden im November 2022 (AT015), Januar 2023 und März 2023 (AT019) und Werte > 50 nur im Sommer 2021 bestimmt. Werte  $\geq 150$  kamen an zwei Stationen im Sommer 2021 der Stationen vor (Abbildung 13). Es wird deutlich, dass eine Hochrechnung von der Chl a-Konzentration auf die Phytoplanktonbiomasse nur einen sehr groben Richtwert ergeben kann, da der Chl a-Gehalt sowohl zwischen den Phytoplanktonarten variiert als auch vom physiologischen Zustand der Planktonzellen abhängig ist.

**Abbildung 13: Chl a vs. Phytoplankton C in 2021, 2022 und 2023**



Chlorophyll a vs. Phytoplanktonbiomasse (Kohlenstoff) für Winterbeprobung = Quadrat, Frühjahr = Kreis, Sommer = Dreieck und Herbst = Raute; 2023 = dunkelgrau (AT019); 1 = Quotient aus Kohlenstoff und Chl a  $\geq 150$ ; Quelle: eigene Darstellung, BSH.

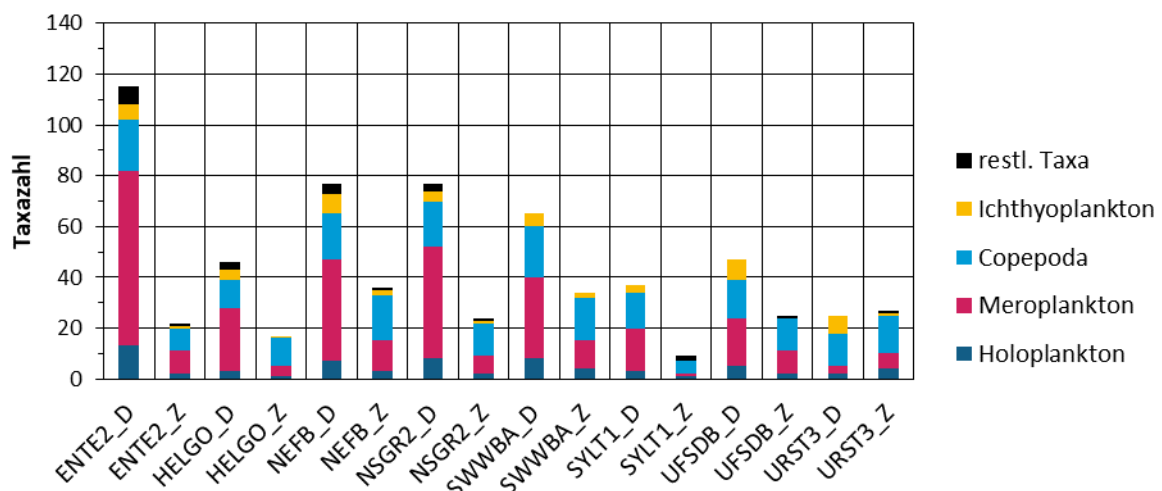
### 2.2.5.5 Welchen Wert haben DNA-Analysen für das Planktonmonitoring?

DNA-basierte Methoden zur zeitlichen und räumlichen Erfassung des Arteninventars haben sich in der letzten Zeit rasant entwickelt. Die Methode des Metabarcodings ist für die Artenanalyse sehr hilfreich. Die DNA von Mischproben wird mit Taxalisten, den sogenannten Gen-Datenbanken, abgeglichen und Arten- bzw. Taxalisten für eine Station erstellt. Für die genaue Methodenbeschreibung, siehe Kapitel A.3.1. Um den Wert von DNA-Analysen für das Planktonmonitoring bewerten zu können, wurden an 8 der 17 iMonEP-Stationen parallel zu den Proben für die klassischen Phyto- und Zooplankton-Zählungen, Proben für die DNA-Analyse genommen. Die Taxalisten beider Methoden für das Phyto- und Zooplankton wurden miteinander verglichen. Zusätzlich wurden für das Phytoplankton Vergleiche im Hinblick auf Neobiota und toxische Algen angestellt.

#### ► Beispiel Zooplankton (Daten März 2021):

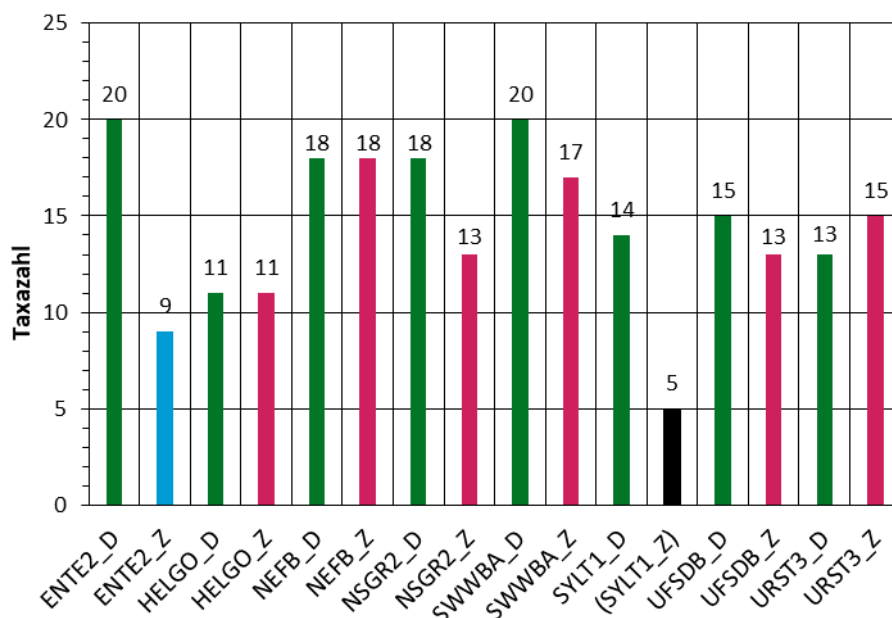
Mit Ausnahme der Station URST3 detektiert die DNA-Analytik deutlich mehr Taxa als die klassische Zählung (Abbildung 14). Die großen Unterschiede kommen durch die hohen Taxazahlen der Meroplankter zustande. In der klassischen Zählung werden bei den Meroplanktern meist nur die Hauptgruppen, wie Bivalvia, Gastropoda, Polychaeta, Fischeier angegeben, während mit der DNA-Analytik die einzelnen Arten differenziert werden und damit die Aussagen zur Diversität von Stationen deutlich verbessert werden, da ein weit größeres Artenspektrum erfasst wird. Ausnahme ist die Station URST3, bei der die klassische Zählung mehr Arten ergibt. Auffällig ist, dass mit der DNA-Analytik keine der beiden Appendicularia-Taxa (*Oikopleura (Vexillaria) dioica* und *Fritillaria borealis*) detektiert wurden, obwohl sie - teils in sehr hohen Abundanzen ( $> 1000$  Individuen/m<sup>3</sup>) - in den Zählproben bestimmt wurden. Ein Grund dafür könnte sein, dass sie nicht in den Referenzdatenbanken aufgeführt sind. Bei der bewertungsrelevanten Gruppe der Hexanauplii (Copepoda) bestehen - mit Ausnahme der Station ENTE2 - nur geringe Unterschiede in den ermittelten Taxazahlen zwischen beiden Analysemethoden (Abbildung 15). Nur an Station ENTE2 differenzierte die DNA-Analyse mehr als doppelt so viele Arten, verglichen mit der klassischen Zählung. Einige Taxa konnten in der klassischen Zählung nicht bis zur Art bestimmt werden, wie z. B. *Acartia* sp., die aber eindeutig in den DNA-Proben als *Acartia clausi* identifiziert wurde. So kann die DNA-Analytik entscheidend dabei helfen, die klassischen Zählungen zu verbessern.

**Abbildung 14: Zusammensetzung Taxa DNA-Analyse vs. klassische Zählung (März 2021)**



Vergleich der Taxazahlen der DNA-Analysen (jeweils 1. Säule) und der klassischen Zählungen (jeweils 2. Säule) an den einzelnen Stationen. Die Station SYLT1 hatte fragwürdige Zählwerte. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Abbildung 15: Copepoda-Taxazahl DNA-Analyse vs. klassische Zählung**



Vergleich der Taxazahlen der Hexanauplii (Copepoda) der DNA-Analysen (grün) und der klassischen Zählungen (rot). Die Zahlenwerte geben die bestimmten Taxazahlen an; die Station SYLT1 ist in Klammern, da sie fragwürdige Zählwerte hatte. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

► Beispiel Phytoplankton (Daten März und Juli 2021):

Auf den beiden ersten iMonEP-Fahrten 2021 wurden für die DNA-Analysen zwei verschiedene Primer verwendet, weil der 1. Primer ausschließlich nur die Gruppe der Diatomeen erfasst hatte. Für insgesamt 10 Stationen (jeweils 5 pro Reise) beider Fahrten waren die Probenaufschlüsse vom 1. Primer noch verfügbar, sodass diese Proben auch mit dem neuen 2. Primer analysiert und die Ergebnisse vergleichend gegenübergestellt werden konnten. Der 2. Primer (V4F und V4RB) erfasst neben den Diatomeen auch die wichtige Gruppe der Dinoflagellaten (vergl. Kapitel A.3.1). Der Vergleich der beiden Primer mit den klassischen Zähldaten ergab, dass an den Stationen insgesamt 96 Diatomeen-Arten nachgewiesen wurden, wovon durch Zählung 41 Arten, durch den 1. Primer 50 Arten und den 2. Primer 68 Arten bestimmt wurden (Tabelle 7). Der 2. Primer hat sich damit als geeigneter erwiesen, weil er deutlich mehr Phytoplankton-Gruppen, als der 1. Primer, der nur die Diatomeen detektiert hat, erfasst. Keine der drei Analysemethoden (Zählung, 1. und 2. Primer) erfasst alle Arten (Tabelle 7). Jede Methode weist einige Arten exklusiv nach. Die Übereinstimmungen zwischen den klassischen Zähldaten und dem 2. Primer sind höher, als zwischen der Zählung und dem 1. Primer.

**Tabelle 7: Anzahl der Taxa, die durch die unterschiedliche Analysen detektiert wurden.**

	Klassische Zählung	1. Primer	2. Primer
Mit allen Analysen nachgewiesen	15	15	15
Exklusiv gefunden	10	15	23
Nur durch Zählung und 1. Primer nachgewiesen	3	3	
Nur durch Zählung und 2. Primer nachgewiesen	13		13

	Klassische Zählung	1. Primer	2. Primer
Nur durch 1. und 2. Primer nachgewiesen		17	17
<b>Summe</b>	<b>41</b>	<b>50</b>	<b>68</b>

Zusammenfassend kann ausgesagt werden, dass die Anzahl der detektierten plausiblen Taxa durch die DNA-Analysen deutlich höher als durch die klassischen Zählungen ist. Das gilt sowohl für das Phyto- als auch das Zooplankton. Keine der beiden Analyseverfahren detektiert alle vorkommenden Arten. Es gibt Arten, die durch beide Verfahren detektiert werden, aber auch Arten, die entweder nur durch die Zählung oder nur durch die DNA-Analyse detektiert werden. Die Ergebnisse der DNA-Analysen sind sehr hilfreich, um schwer bestimmbare Taxa in der klassischen Zählung auf Artniveau angeben zu können. DNA-Analysen mit unterschiedlichen Primern aus demselben Probenaufschluss ergaben unterschiedliche Taxalisten, so dass es notwendig ist, ein standardisiertes Verfahren für die DNA-Analysen zu entwickeln, um Daten aus unterschiedlichen Untersuchungen vergleichen zu können (s. u. Kapitel A.3.1). Da Abundanz und Biomasse nicht durch die DNA-Analysen bestimmt werden können, kann auf die klassischen Zählungen nicht verzichtet werden.

► Beispiel phytoplanktische Neobiota (Daten 2021 und 2022):

Ob eine Phytoplanktonart als Neobiota eingestuft wird, wurde anhand der neobiotischen Mikrophytoplanktonlisten aus Lackschewitz et al. (2022) und Kraberg et al. (2019) bestimmt.

Verglichen wurden die Neobiota-Funde der DNA-Stationen mit denen der klassischen Zählungen der sechs iMonEP-Fahrten 2021 und 2022. Mit der klassischen Zählung wurden ausschließlich die Arten *Bellerochea horologicalis*, *Corethron criophillum*, *Karenia mikimotoi* und *Ondontella sinensis* und in der DNA-Analyse ausschließlich die Arten *Chaetoceros peruvianus*, *Fibrocaspa japonica*, *Heterosigma akashiwo*, und *Thalassiosira tenere* nachgewiesen (Tabelle 8). Beide Analyseverfahren detektierten die Arten *Coscinodiscus walesii*, *Mediopyxis hellsia*, *Rhizosolenia* bzw. *Neocalyptrella robusta*, *Ondontella longicruris* und *Prorocentrum triestinum*, *Thalassiosira punctigera* und *T. hendeyi*. Aber nicht an jeder Station detektieren beide Methoden die letztgenannten Arten. Bei hohen Abundanzen in den Zählproben ist die Übereinstimmung beider Verfahren meist gut z. B. *Coscinodiscus walesii* im April 2022 an den Stationen NSGR2 und SWWBA oder *Prorocentrum triestinum* im Juli/August 2022 an den Stationen HELGO, NEFB, SYLT1, UFSDB und URST3. Aus der Tabelle wird deutlich, dass durch die DNA-Analytik mehr Neobiota an den Stationen erfasst werden. Da jedoch einige Arten ausschließlich durch die Zählungen detektiert werden, sollten beide Verfahren kombiniert werden.



**Tabelle 8: Phytoplanktische Neobiota in der DNA-Analyse und in der klassischen Zählung**

Monat	Art	DTEND	EN-TE2	HELGO	NEFB	NSGR2	SWWBA	SYLT1	UFSDB	URST3
2021-3	<i>Chaetoceros peruvianus</i>					*				
	<i>Corethron criophilum</i>				800					
	<i>Corethron</i> sp.		*	*	***	**				
	<i>Mediopyxis helysia</i>			240						
	<i>Mediopyxis helysia</i>			*				**		
	<i>Odontella longicruris</i>							6.727		
	<i>Odontella longicruris</i>			*				*		
	<i>Thalassiosira punctigera</i>		***	***		****		****		
2021-7 / 8	<i>Alexandrium</i> sp.					600	80			
	<i>Coscinodiscus wailesii</i>			*						
	<i>Karenia mikimotoi</i>					88.200	80			110.853
	( <i>Karenia</i> sp. bzw. <i>K. brevis</i> )					**	*			***
	<i>Belleriochea horologicalis</i>			1.300						
	<i>Odontella longicruris</i>			1.800						
	<i>Odontella sinensis</i>			200						
	<i>Thalassiosira hendeyi</i>			**						
	<i>Thalassiosira punctigera</i>			**						
2022-4	<i>Corethron</i> sp.	*						*	*	
	<i>Coscinodiscus wailesii</i>					1.000	1.040			
	<i>Coscinodiscus wailesii</i>	**				****	****	*	*	**
	( <i>Karenia brevis</i> )	*				**	*			*

Monat	Art	DTEND	EN-TE2	HELGO	NEFB	NSGR2	SWWBA	SYLT1	UFSDB	URST3
2022-8	<i>Mediopyxis helysia</i>							13.683		
	<i>Odontella sinensis</i>				320					
	<i>Thalassiosira punctigera</i>	***		****	****	****	****	****	****	****
	<i>Fibrocapsa japonica</i>			***	***			**	***	**
	<i>Heterosigma akashiwo</i>			**				*		
	( <i>Karenia</i> sp. bzw. <i>K. brevis</i> )	*		**	**	***	**		**	*
	<i>Neocalyptrella robusta</i>								814	
	<i>Rhizosolenia robusta</i>		*						**	
	<i>Thalassiosira hendeyi</i>		*							
	<i>Thalassiosira punctigera</i>			*	*			**	*	
2022-11	<i>Prorocentrum triestinum</i>			8.140	7.326	407		814	19.536	2.442
	<i>Prorocentrum triestinum</i>			*	**			**	**	**
	<i>Chaetoceros peruvianus</i>	**	**							
	( <i>Corethron</i> sp.)	**	**				*			
	<i>Coscinodiscus walesii</i>	**	*			*				*
	<i>Fibrocapsa japonica</i>			**		*	**	***	*	*
	( <i>Karenia</i> sp. bzw. <i>K. brevis</i> )	*	*	*	**	*	*	*	**	**
	<i>Rhizosolenia robusta</i>	**	**		*	*				*
	<i>Thalassiosira hendeyi</i>				40				120	518
	<i>Thalassiosira hendeyi</i>			*	**			**		

Monat	Art	DTEND	EN-TE2	HELGO	NEFB	NSGR2	SWWBA	SYLT1	UFSDB	URST3
	<i>Thalassiosira punctigera</i>						320	160		
	<i>Thalassiosira punctigera</i>			**	*	**	**	***	**	***
	<i>Thalassiosira tenera</i>							*		

Detektierte neobiotischen Phytoplankter durch die DNA-Analyse (blau unterlegt) und in der klassischen Zählung (grau unterlegt); Zählraten = Abundanz in [N/L]; DNA-Analysen sind nicht quantitativ (\* geringe ASV (Amplicon Sequence Variants) bis \*\*\*\* sehr hohe ASV (vierstellig)); Klammerwerte markierten Arten, die nicht einer bekannten neobiotischen Art für die Nordsee übereinstimmen.

► Beispiel toxische Phytoplankter (Daten Sommer 2022):

Ob eine Phytoplanktonart als toxisch eingestuft wird, wurde anhand der Mikrophytoplanktonlisten von Kraberg et al. (2019) und AlgaeBase bestimmt.

Vergleicht man die während der Sommerreise 2022 gefundenen toxischen Taxa aus den DNA-Analysen mit den Zählungen bestehen große Unterschiede. Für die toxischen Algen ist die Übereinstimmung der Zählraten mit den Ergebnissen aus den DNA-Analysen sehr gering (Tabelle 9). *Alexandrium ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata*, *Gonyaulax spinifera* und *Pseudo-nitzschia pungens* wurden nur durch die DNA-Analysen detektiert, während *Dinophysis norvegica* nur in den Zählproben bestimmt wurde. *Prymnesium polylepis* wurde nur in den DNA-Analysen nachgewiesen, könnte aber mit *Prymnesium* sp. der Zählproben übereinstimmen, die zumindest an der Station NSGR2 in höheren Abundanzen in den Proben auftraten. Insgesamt wurden durch die DNA-Analyse an den Stationen deutlich mehr toxische Arten detektiert als durch die klassische Zählung. Anhand dieses Vergleiches kann abgeleitet werden, dass die DNA-Analytik wertvolle zusätzliche Informationen zum Vorkommen von toxischen Algen liefert.

**Tabelle 9: Toxische Phytoplankter detektiert durch DNA-Analyse und klassische Zählung**

Art	DTEND	HELGO	NEFB	NSGR2	SWWBA	SYLT1	UFSDB	URST3
<i>Alexandrium</i> sp.								
<i>Alexandrium andersonii</i>				*		*	*	*
<i>Alexandrium hiranoi</i>	*		*	***		**	*	**
<i>Alexandrium margalefii</i>			**	**	*		**	**
<i>Alexandrium ostenfeldii</i>						*	*	*
<i>Chrysochromulina leadbeateri</i>	*		*	*	**			*
<i>Chrysochromulina</i> sp.	***	***	***	**	**	***	**	***
<i>Dinophysis acuminata</i>							*	
<i>Dinophysis norvegica</i>		814				814		814
<i>Gonyaulax spinifera</i>		*	*					

Art	DTEND	HELGO	NEFB	NSGR2	SWWBA	SYLT1	UFSDB	URST3
Prymnesiophyceae XXX sp.	***	*	**	***	**	*		**
<b><i>Prymnesium polylepis</i></b>	*			**	**			*
<i>Prymnesium</i> sp.	**			*	**			*
<i>Prymnesium</i> sp.				8.565				
<b><i>Pseudo-nitzschia pungens</i></b>			*			*	*	
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> complex						814		

Detektierte toxische Phytoplankter mit der DNA-Analyse und klassischen Zählung: DNA-Analyse (\*) sind nicht quantitativ (\* geringe ASV (Amplicon Sequence Variants) bis \*\*\* sehr hohe ASV (dreistellig)); Zählungen = Abundanz in [N/L]; fett gedruckt sind die als toxisch bekannten Arten in der Nordsee.

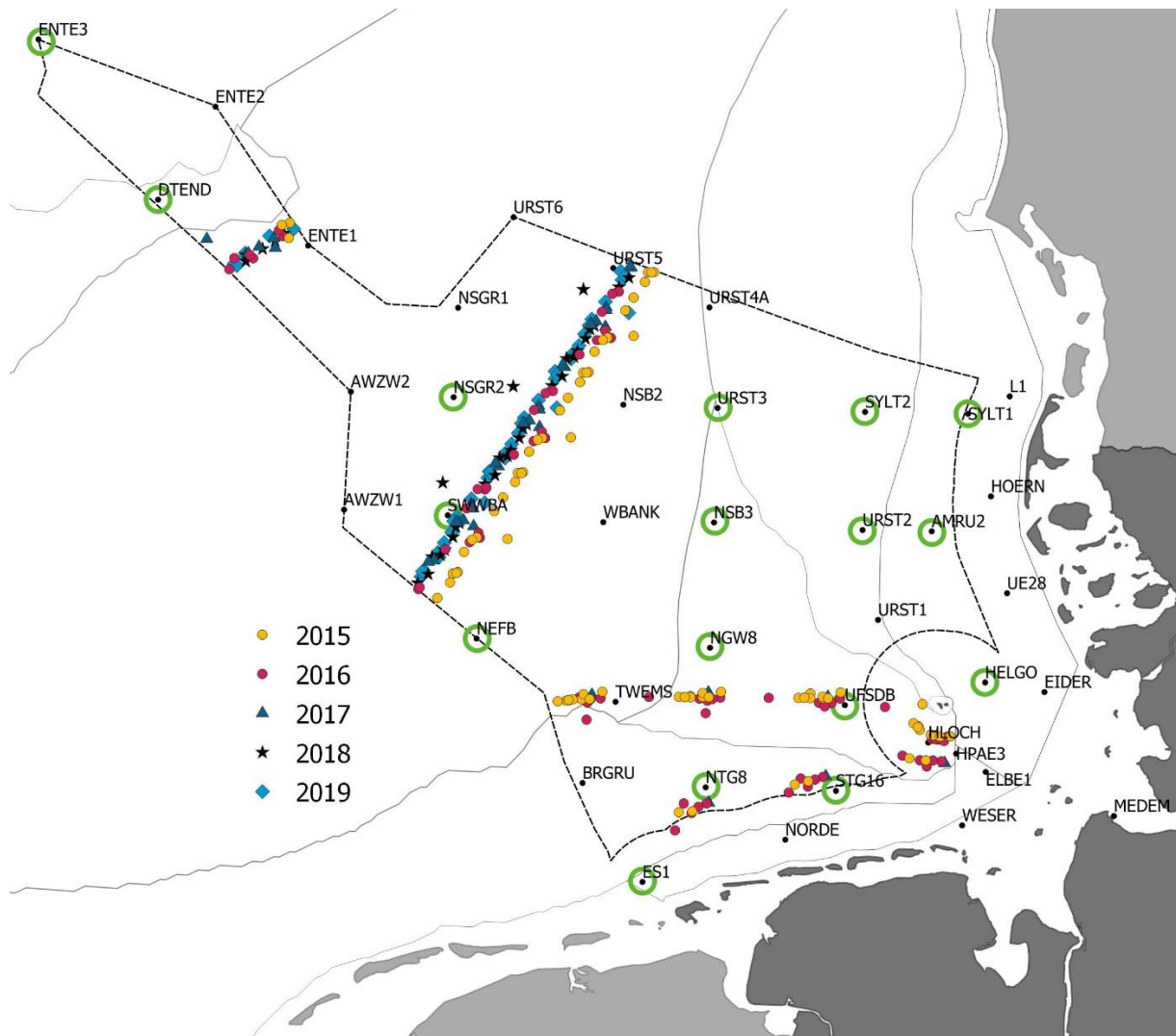
Zusammenfassend lässt sich aussagen, dass DNA-Analysen im Monitoring sehr hilfreich sind, weil sie helfen die Artenanalyse zu verbessern. Es werden mehr Taxa und Arten identifiziert als durch die klassische Zählung. Das wurde insbesondere bei dem Vergleich mit den toxischen Phytoplanktern deutlich. Auf die klassischen Zählungen kann man aber auf keinen Fall verzichten, weil es auch Arten gibt, die exklusiv nur durch die Zählung detektiert werden und außerdem aus der DNA-Analyse keine Abundanz und Biomassewerte abzuleiten sind. Letztere werden für die OSPAR-Indikatoren benötigt. Für die DNA-Analytik müssen standardisierte Verfahren etabliert werden, um die Daten miteinander vergleichen zu können.

#### 2.2.5.6 Welchen Wert haben CPR-Daten für das Planktonmonitoring?

- Planktondaten werden auch durch die Probennahme mit dem Continuous-Planktonrekorder (CPR) erhoben. Die CPR-Daten sind semi-quantitative Daten und reflektieren saisonale und inter-annuelle Muster (Richardson et al. 2006). Zurzeit basieren die OSPAR-Bewertungen zu einem großen Teil auf den CPR-Daten, da es Langzeitreihen von den 1950er bis heute sind, die standardisiert ausgewertet werden. Für die Deutsche Bucht gibt es zurzeit CPR-Daten von 1958 - 2019. Da die Untersuchungsroutine im Verzug ist, kann eine Datenlieferung erst mit fast zweijähriger Verzögerung erfolgen (Birgit Heyden, pers. comm.). Folgende Daten sind verfügbar: Grünheit der Gaze (PCI) und semiquantitative Daten für große Phytoplankter und Zooplankton. Verglichen mit klassischen Phyto- und Zooplankton-Untersuchungen haben sie viele Einschränkungen, weil sie z. B. das kleine Zooplankton wegen der relativ weiten Maschenweite (270 µm) und das große Zooplankton wegen der relativ kleinen Öffnung des CPRs (1,61 cm<sup>2</sup>) nicht erfassen. Die CPR-Daten können im langfristigen Vergleich Systemänderungen anzeigen, wobei sie aber nicht mit klassischen Planktonzählungen direkt verglichen werden sollten (Richardson et al. 2006). Diese Aussagen konnten bestätigt werden:
- In einem direkten Vergleich zwischen den CPR-Planktondaten und Daten von Zooplanktonzählproben der IOW/BSH-Messkampagnen von 2008 - 2011 (klassische Zählung) wurde eine etwa 10fach höhere Taxazahl durch die klassische Zählung ermittelt (s.u. Tabelle A-18,).
- Mit den CPR-Daten aus der deutschen AWZ im Bewertungsgebiet „shelf“ von 1958 bis 2019 konnte gezeigt werden, dass die Copepoden-Anzahl seit Ende der 1970er deutlich abgenommen hat (Abbildung A-40).

Für das Monitoring stellen die CPR-Daten eine wertvolle Datenquelle dar, wenn sie langfristig erhoben werden. Durch die standardisierte Auswertung sind die Daten über lange Zeiträume hinweg miteinander vergleichbar, so dass Systemveränderungen gezeigt werden können. In der deutschen AWZ existieren CPR-Daten zurzeit hauptsächlich aus dem COMP4-Gebiet „Eastern North Sea“, d. h. aus dem pelagischen Habitat „shelf“ (Abbildung 16). Da in diesem Gebiet kein anderes Planktonmonitoring stattfindet, sind die CPR-Daten die einzigen Planktondaten.

**Abbildung 16: Vorhandene CPR-Daten zwischen 2015 bis 2019**



Positionen der CPR-Stationen und BSH-Routinemonitoringstationen = schwarze Punkte zwischen 2015 und 2019 und iMonEP-Projektstationen (ab 2021) = grüner Ring. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

#### 2.2.5.7 Zeitbedarf und Kosten für die Planktonbeprobung und Laborauswertung

**Probennahme an Bord:** Der Aufwand an Schiffszeit für die Probennahme an Bord ist mit etwa 30 Minuten für das Zooplanktonnetz und etwa 20 Minuten für die Phytoplanktonproben aus dem Niskin-Schöpfer pro Station überschaubar. Die Planktonproben müssen an Bord konserviert werden. Das dauert für die Phyto- und Zooplankton-Zähl- und DNA-Proben ca. je 15 Minuten. Pro Station muss an Bord also mit 2 bis 3 Stunden Arbeitszeit gerechnet werden. Auf- und Abbau des Labors und des Netzes zu Beginn und am Ende der Reise sind bei der Arbeitszeit noch zusätzlich zu berücksichtigen. Da an Bord im Schichtbetrieb 24/7 gearbeitet wird, ist es notwendig, dass für die Probennahme 2 Personen an Bord sind, um die Arbeitszeitvorschriften

einhalten zu können. Weitere Kosten entstehen für die Probengefäße und die Konservierungsmittel.

**Analysen an Land:** Die Kosten pro Probe sind für die Analysen an Land für das Phytoplankton für die DNA-Analytik und klassischen Zählungen vergleichbar hoch, während für das Zooplankton, wegen des höheren Zeitaufwandes bei der Zählanalyse der Zooplanktonproben, die Kosten um knapp 60 % höher (155 €) als für die DNA-Analyse sind (Tabelle 10). Der Probendurchsatz ist für die klassischen Zählproben höher als für die DNA-Analytik (Tabelle 10). Neben dem Zeitbedarf für die Probenanalyse muss zusätzlich noch der zeitliche Aufwand für die Datenanalyse und die Übermittlung der Daten in die MUDAB berücksichtigt werden.

**Tabelle 10: Finanzieller und zeitlicher Aufwand der klassischen Zählung und der DNA-Analyse**

Analyse	Dauer der Analyse	Kosten pro Probe in 2023 (netto)
DNA Phytoplankton	Maximal 24 Proben in 22 Tagen, Artenlisten	215 €
Zählung Phytoplankton	Ca. 3 Proben pro Tag, Vermessung, Protokollierung, d. h. ca. 66 Proben in 22 Tagen	210 €
DNA Zooplankton	Maximal 24 Proben in 22 Tagen, Artenlisten	215 €
Zählung Zooplankton	Ca. 2 Proben pro Tag, Vermessung Protokollierung, d. h. ca. 44 Proben in 22 Tagen	370 €

Die Angaben basieren auf den Erfahrungen der Firmen, die für das iMonEP-Projekt die jeweiligen Analysen durchgeführt haben.

### Fazit Plankton

- Sowohl die Phyto- als auch das Zooplankton-Artengemeinschaften spiegeln die drei OSPAR Bewertungsgebiete wider.
- Die iMonEP-Planktonstationen liegen so, dass die drei OSPAR Bewertungsgebiete für pelagische Habitate mit Stationen abgedeckt sind.
- Mit zwei bis vier Planktonbeprobungen ist die zeitliche Abdeckung über das Jahr für die Berechnung der OSPAR-Indikatoren nicht ausreichend.
- Die Datenlage könnte durch Einbeziehung von Planktondaten der Küstenländer, dem AWI und dem CPR verbessert werden sowie durch Verwendung von automatischen Probensammlern oder Kameras.
- Auf klassische Zählungen wird man bislang nicht verzichten können, weil die OSPAR-Indikatoren Daten zu Abundanz und Biomasse benötigen, die aus der DNA-Analytik bisher nicht abgeleitet werden können.
- Der Zeitbedarf und die Kosten für die Probennahme und -analyse der klassischen Zählung und der DNA-Analyse unterscheiden sich. Der Probendurchsatz ist für die klassischen Zählungen beim Phyto- und Zooplankton höher. Die Kosten pro Probe sind für die Zooplanktonzählungen höher als für die DNA-Analyse und für Phytoplankton vergleichbar hoch.
- Der Zeitbedarf für die Datenanalyse und Datenweitergabe muss berücksichtigt werden.

## 2.2.6 Bewertung der Lage der Monitoringstationen für die Eutrophierungsbewertung

Für die fünf COMP4-Gebiete, an denen Deutschland einen großen Flächenanteil hat, wurde überprüft, 1) ob die Positionen der etwa 40 BSH-Routinemonitoringstationen geeignet sind, repräsentative Nährstoff- bzw. Chl a-Werte für die jeweiligen Gebiete zu erbringen und 2) ob sich die Eutrophierungsbewertung auf Grundlage der nur 17 iMonEP-Projektstationen verändern würden.

### 2.2.6.1 Bewertung der Eignung der Lage der BSH-Routinemonitoringstationen

Für fünf COMP4-Gebiete wurden ab 2015 die einzelnen Stationsmesswerte für Chlorophyll und die Nährstoffe DIN und PO<sub>4</sub> separat dargestellt und überprüft ob Stationen herausfallen. In der Regel schwankten die Werte der Stationen ungerichtet, d. h. mal hatte die eine und mal die andere Station die höchsten bzw. niedrigsten Werte (Kapitel A.4.2 und Abbildungen A-42 bis A-56). Ausnahmen waren die Stationen (Zuordnung der Stationsnamen siehe Abbildung 7):

- TWEMS im COMP4-Gebiet „Eastern North Sea“, die fast immer die höchsten Chl a und DIN-Konzentrationen aufwies, so dass sich die Frage stellte, ob diese Station nicht besser zu dem benachbarten COMP4-Gebiet „German Bight central“ gezählt werden sollte, in dem ebenfalls sehr hohe Konzentrationen auftreten. Nach Diskussionen (01.03.2024) mit den Kolleginnen und Kollegen, die bei der Abgrenzung der COMP4-Gebiete involviert waren (u.a. aus der Ozeanographie und der Modellierung) und den BSH Mitarbeitenden, die für die in-situ Nährstoff-Messungen verantwortlich sind, wurde beschlossen zum jetzigen Zeitpunkt die Grenzziehung der COMP4-Gebiete so zu belassen wie bisher. Das heißt die Station TWEMS wird zusammen mit den anderen bestehenden Stationen im Gebiet „Eastern North Sea“ bewertet. Grund dafür ist, dass das Gebiet um TWEMS hydrodynamisch hochvariabel ist, sodass die Station in Abhängigkeit von Strömungen und der Wetterlage sowohl von der Elbe- als auch von der Rheinabflussfahne oder vom nördlichen Nordseewasser beeinflusst wird. Folglich passt die Station in manchen Jahren besser in das Gebiet „German Bight central“ oder auch in „Southern North Sea“, in anderen aber nicht und ist im Wesentlichen durch die schwankenden Salzgehalte beeinflusst. Anhand von langfristigen Datensätzen vom BSH (seit 2005) beträgt die mittlere Tiefe dieser Station mehr als 36 m und der mittlere Salzgehalt sowohl am Boden als auch in der Oberflächenschicht 34,2 PSU, sodass es für die Station TWEMS, verglichen mit den Gebietscharakteristika nach OSPAR („Eastern North Sea“), vertretbar ist, sie in diesem Bewertungsgebiet zu belassen. Die Abgrenzung zwischen den Gebieten „Eastern North Sea“ und „German Bight central“ folgt dem Verlauf des Salzgehalts entlang der 34 PSU Isolinie. Für die Gebiete „German Bight central“ beträgt der mittlere Salzgehalt 33,41 PSU und die mittlere Tiefe 39 m und für „Southern North Sea“ 34,33 PSU und 32 m. Je nachdem welches der drei COMP4-Gebiete man betrachtet, würde die Zuordnung der Station TWEMS zu dem jeweiligen Gebiet zu einer Erhöhung bzw. einer Erniedrigung des Gebietsmittelwertes für Chl a, DIN oder PO<sub>4</sub> führen bezogen auf die weiteren BSH-Stationen im nationalen Gebietsanteil (nicht bezogen auf den Gesamtmittelwert des jeweiligen COMP4-Gebiets unter Berücksichtigung aller verfügbaren Daten pro Gebiet). Allerdings würde das nur in einzelnen Jahren (zwei von 18) zu einer veränderten Bewertung führen. Daher sprechen weder die hydrodynamischen Verhältnisse noch die resultierenden Bewertungsergebnisse dafür, den Grenzverlauf der COMP4-Gebiete zu verlegen, um die Station TWEMS dem Gebiet „German Bight central“ oder „Southern North Sea“ zuzuordnen. Zukünftig könnte diese Fragestellung zur angemessenen Berücksichtigung von Monitoringstationen in hochvariablen Gebieten im Rahmen von OSPAR erneut aufgegriffen werden, wenn eine mögliche Unterteilung des relativ großen



„Southern North Sea“ Gebiets und eine Abgrenzung des Einflussbereichs der Rheinfahne als eigenständiges Gebiet diskutiert wird.

- ▶ die küstennahen Stationen HLOCH und UFSDB im COMP4-Gebiet „German Bight central“ und URST1 und URST2 im COMP4-Gebiet „Outer coastal DEDK“, die meist die höchsten DIN-Konzentrationen aufweisen. In diesen beiden COMP4-Gebieten bestehen natürlicherweise Konzentrationsgradienten von der Küste zur offenen Nordsee hin, sodass die küstennäheren Stationen in der Regel höhere DIN-Konzentrationen als küstenferneren Stationen aufweisen. Daher können die Stationen HLOCH, UFSDB, URST1 und URST2 als typische Stationen für die beiden COMP4-Gebiete angesehen werden.

Zusammenfassend lässt sich also aussagen, dass mit nur einer Ausnahme der Station TWEMS alle anderen Stationen gut positioniert sind.

#### **2.2.6.2 Bewertung der Eignung der Lage der iMonEP-Projektstationen**

Die 17 iMonEP-Projektstationen wurden so ausgewählt, dass sie 1) auf Positionen des bestehenden BSH-Routinemonitorings liegen und 2) dass alle COMP4-Gebiete mit Stationen abgedeckt sind.

Obwohl die Deutsche Bucht hydrodynamisch sehr variabel ist (Abbildung A-41), entsprechen die Schichtungsverhältnisse der iMonEP-Stationen weitgehend den OSPAR Charakterisierungen für die COMP4-Gebiete, wie Modellberechnungen (Fabian Schwichtenberg, BSH) ergeben haben (Tabelle A-19). Ausnahmen sind die Stationen:

- ▶ DTEND, die im COMP4-Gebiet „Dogger Bank“ liegt und permanent gemischtes Wasser haben soll, aber an der nach den Modellrechnungen regelmäßig längerfristige Schichtungen auftreten.
- ▶ NEFB, die saisonal geschichtet sein soll. An der Station treten zwar saisonale Schichtungen auf, die jedoch immer wieder durchbrochen werden.
- ▶ URST3, die genau auf der Grenze zu dem COMP4-Gebiet „Outer coastal DEDK“ (früher „Coastal offshore“) liegt und anhand der modellierten Salinitätswerte  $> 34$  psu und der Ausbildung von Schichtungen eher zu dem COMP4-Gebiet „German Bight central“ gezählt werden sollte.

Zusammenfassend lässt sich aussagen, dass bei Fokussierung auf die 17 iMonEP-Projektstationen für die Eutrophierungsbewertung die Lage einiger Stationen verändert werden müsste:

- ▶ Stationen, die auf COMP4-Gebietsgrenzen liegen, wie z. B. URST3 werden keine gebietstypischen Werte ergeben.
- ▶ COMP4-Gebiete, die einen Konzentrationsgradienten aufweisen, sollten so beprobt werden, dass dieser Gradient von den Stationen abgedeckt ist, z. B. im COMP4-Gebiet „Elbe plume“ sind die iMonEP-Stationen jeweils die küstenfernen Stationen, mit niedrigeren Nährstoffkonzentrationen (Abbildungen A-48 und A-53), die bei Beschränkung auf diese Stationen das Bewertungsergebnis verändern würden
- ▶ Stationen, die natürlicherweise hochdynamisch sind, wie z. B. NEFB sind als Monitoringstationen nicht gut geeignet.

### Fazit Lage der Stationen

- ▶ Mit einer Ausnahme liegen die BSH-Routinemonitoringstationen so, dass sie für das jeweilige COMP4-Gebiet repräsentative Werte ergeben. Die Ausnahme ist die Station TWEMS, die auch zum dem Gebiet „German Bight central“ oder „Southern North Sea“ gezählt werden könnte.
- ▶ Die iMonEP-Stationen sind Teilmenge der BSH-Monitoringstationen und entsprechen somit den COMP4-Vorgaben für die Schichtungen. Ausnahme ist die Station NEFB im COMP4-Gebiet „Eastern North Sea“, die saisonal geschichtet sein sollte. An der Station treten zwar saisonale Schichtungen auf, die jedoch immer wieder durchbrochen werden.
- ▶ Sollte das BSH-Routinemonitoring von der Stationsanzahl her ausgedünnt werden, sollten in den küstennahen COMP4-Gebieten die küstennah gelegenen Stationen erhalten bleiben, da sich ansonsten die Bewertungsergebnisse verändern würden.
- ▶ Stationen sollten möglichst nicht auf Gebietsgrenzen liegen, wie die Station URST3, da bei der hohen natürlichen Variabilität der abiotischen Faktoren in der Deutschen Bucht die Zuordnung zu einem Gebiet schwierig ist.

## A Anhang: Datenlage und Vergleichbarkeit der einzelnen COMP4-Bewertungsparameter aus unterschiedlichen Quellen

Die Datenlage ist für die einzelnen Parameter sehr unterschiedlich. Sie wird daher im Folgenden für 1) Chlorophyll a, 2) Nährstoffe, 3) Sauerstoff, 4) schädliche Algenblüten und 5) Zoo- und Phytoplankton einzeln dargestellt. Da die Daten der einzelnen Parameter teilweise aus unterschiedlichen Quellen stammen, musste zunächst die Vergleichbarkeit der Daten überprüft werden. Für das Plankton wird diskutiert, wie die CPR-Daten für das Monitoring genutzt werden könnten und welche Methodik für die DNA-Analysen die besten Ergebnisse erbringt. Abschließend wird dargestellt, ob die Lage der BSH-Routinemonitoringstationen und die iMonEP-Projektstationen geeignet sind, die jeweiligen Bewertungsgebiete zu repräsentieren.

### A.1 Chlorophyll a

#### A.1.1 Datenlage

Die **Datenlage** für Chl a ist im Vergleich mit den anderen Parametern sehr gut. Die Daten unterscheiden sich bezüglich ihrer Bestimmungsmethoden und auch bezüglich der räumlichen und zeitlichen Auflösung (Tabelle A-11). Chl a-Daten aus den unterschiedlichen Quellen können nur dann gemeinsam genutzt werden, wenn sie vergleichbar sind. Daher wurde die Vergleichbarkeit der Daten überprüft.

**Tabelle A-11: Verfügbare Chl a-Daten**

	Wer	Wo	COMP4-Gebiet/ Küstengewässer	Wann
In-situ Labormessung (Routinemonitoring), Punktmessung	BSH	gesamte DB	alle	Wachstumsphase 2-3mal pro Jahr
In-situ Labormessung (Routinemonitoring), Punktmessung	Bundesländer	12-sm Küstengew.	Küstengewässer + „Elbe plume“, „Ems plume“ und „German Bight central“	Wachstumsphase monatlich bis 14-tägig
In-situ Fluorometer ATAIR (Routinemonitoring), Transekt	BSH	Gesamte DB	alle	während in-situ Probennahme + u.U. weitere BSH-Fahrten
In-situ CTD-Fluorometer (Routinemonitoring), Punktmessung	BSH	Gesamte DB	alle	während in-situ Probennahme + u.U. weitere BSH-Fahrten
In-situ FerryBox <sup>1)</sup> , Transekt	Hereon	1 Route	„Eastern NS“, ab 2023 nicht mehr in der deutschen AWZ	mehrmals im Monat über das ganze Jahr
In-situ FerryBox, Transekt	Hereon	1 Route	Küstengewässer + „Elbe plume“	von April-Oktober täglich, 2 Routen (Büsum-Helgoland-Büsum).

	Wer	Wo	COMP4-Gebiet/ Küstengewässer	Wann
In-situ Grünheit der Gaze (PCI) <sup>2)</sup> , Punktmessung	Aqua-Ecology Auswertung CPR	1 Route	ab 2018 nur „Eastern North Sea“	
In-situ Fernerkundung <sup>3)</sup> , Fläche	BSH Brockmann-Consult und EOMAP (Vergabe)	Gesamte DB	alle	täglich sofern keine Bewölkung vorhanden ist
Modelle, Fläche	BSH	Gesamte DB	alle	täglich

1) Daten bis Anfang 2023, danach wurde FerryBox-Route verlegt; 2) Messrouten können sich verändern; 3) wenn Finanzierung vorhanden ist.

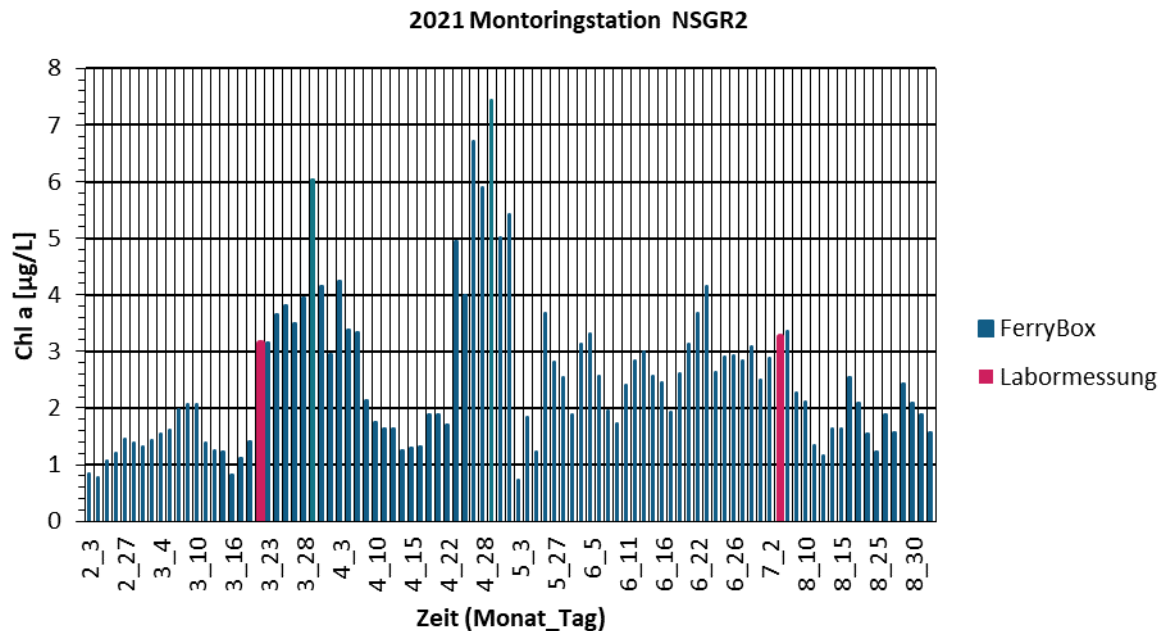
### A.1.2 Vergleichbarkeit der in-situ gemessenen Chl a-Daten mit Sondendaten

Sondendaten gibt es von 1) den FerryBox-Messungen des Hereon-Instituts, 2) von der Fluorometersonde, die auf der ATAIR verbaut ist und kontinuierlich auf den Monitoringfahrten misst und 3) einer Sonde, die an der CTD angebracht ist. Die Sondendaten wurden mit den in-situ-Labormesswerten verglichen.

#### 1) In-situ-Labormessung vs. FerryBox-Messung:

Die Hereon-FerryBox-Route der Magnolia-Seaways verlief bis Anfang 2023 (ab 2023 verläuft die Route nicht mehr durch die deutsche AWZ) fast genau über die BSH-Monitoringstation NSGR2 (Abbildungen 1 und 2). Daher konnten an dieser Station die Daten von beiden Messmethoden miteinander verglichen werden. Leider gab es genau zeitgleich keine Beprobungen: Im Frühjahr fand die Beprobung für die in-situ-Labormessung am 19.03.2021 statt. Verfügbare FerryBox-Daten gab es vom 18.03.2021, dann erst wieder ab dem 23.03.2021. Im Sommer fand die Beprobung für die in-situ Labormessung am 29.07.2021 statt und die FerryBox-Daten waren erst ab dem 07.08.2021 vorhanden. Es lässt sich aber dennoch sagen, dass die Ergebnisse beider Messungsmethoden in vergleichbarer Höhe lagen (Abbildung A-17).

**Abbildung A-17: Vergleich der Chl a-Konzentration von der FerryBox und den Labormessung**

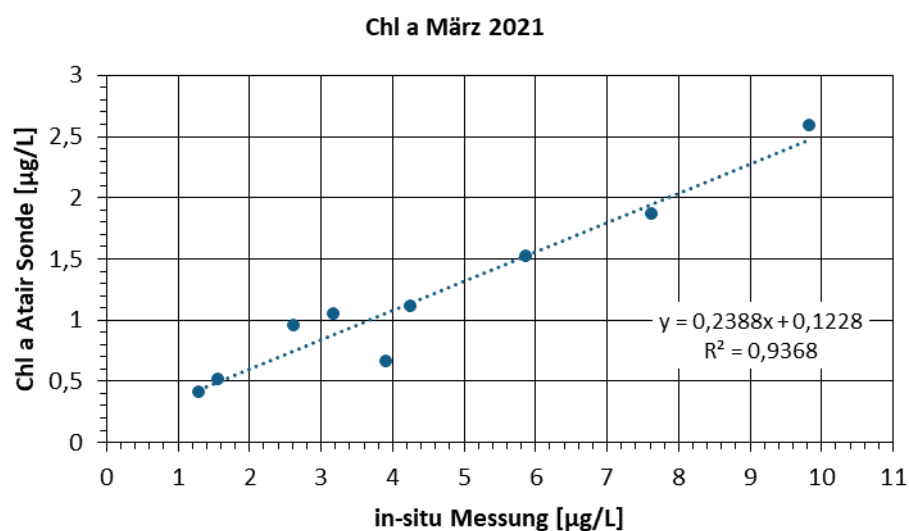


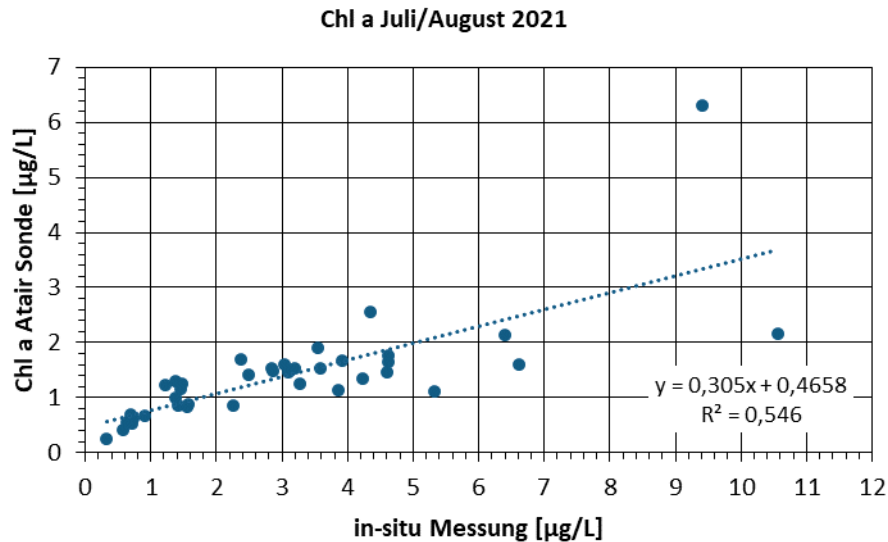
Vergleich in-situ Messung Chl a der FerryBox auf der Magnolia Seaways von Februar bis Anfang September 2021 an der BSH Monitoringstation NSGR2 (blaue Balken) und den in-situ-Labormesswerten der AT003 im März 2021 und der AT006 im Juli 2021 (rote Balken). Quelle: eigene Darstellung, BSH.

## 2) In-situ-Labormessung vs. Fluorometer auf dem Forschungsschiff ATAIR:

Die Ergebnisse beider Messmethoden korrelieren signifikant (Abbildung A-18). Allerdings sind die Werte unterschiedlich hoch, sodass eine Faktorisierung der Sondenmessung erfolgen muss, wenn man die Werte direkt miteinander vergleichen möchte. Die Abbildung A-19 stellt die Messwerte beider Methoden für die Fahrt im Juli/August 2021 gemeinsam dar.

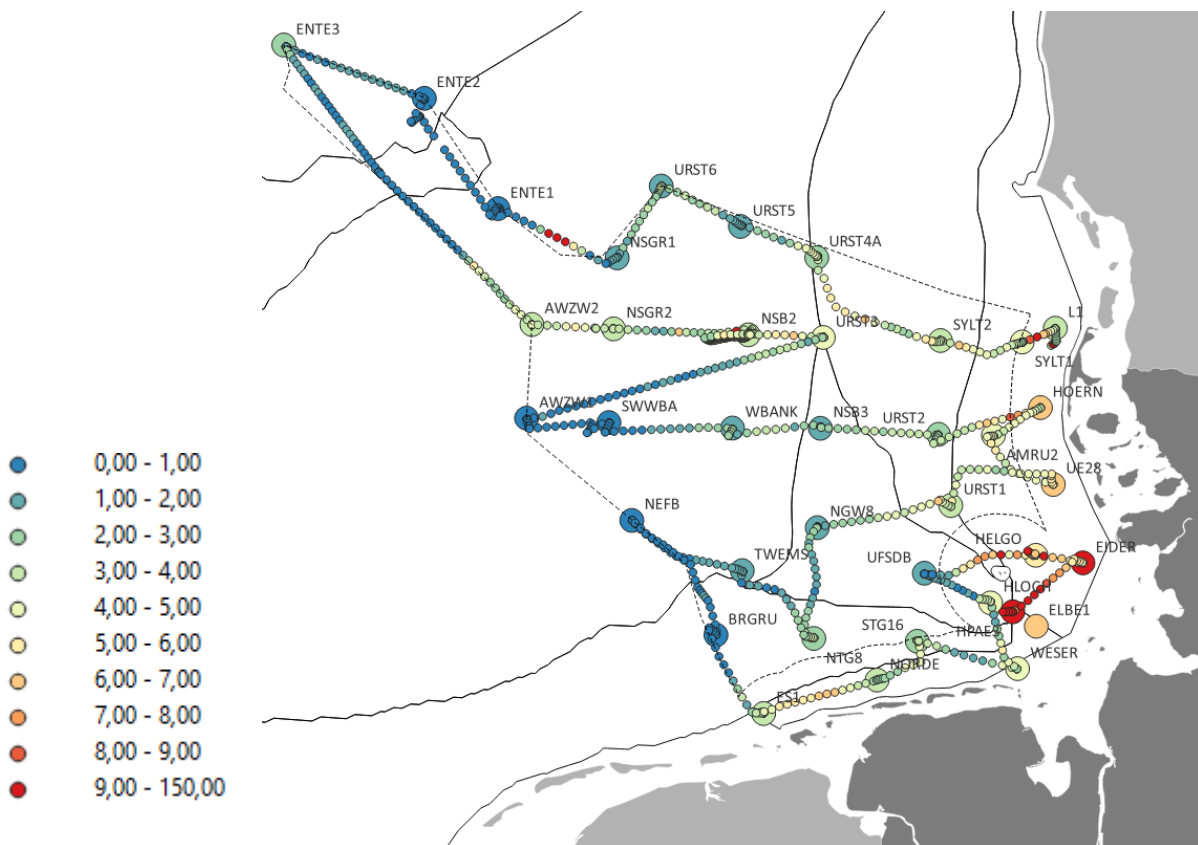
**Abbildung A-18: Chl a-Konz. ATAIR-Sondenmessung vs. in-situ Labormessung**





Vergleich der BSH in-situ-Labormessungen im März 2021 (oben) und im Juli/August 2021 (unten) mit den Messungen der Atairsonde jeweils während derselben Fahrt. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Abbildung A-19: Chl a-Konz. ATAIR-Sondenmessung und in-situ Labormessung Juli 2021**

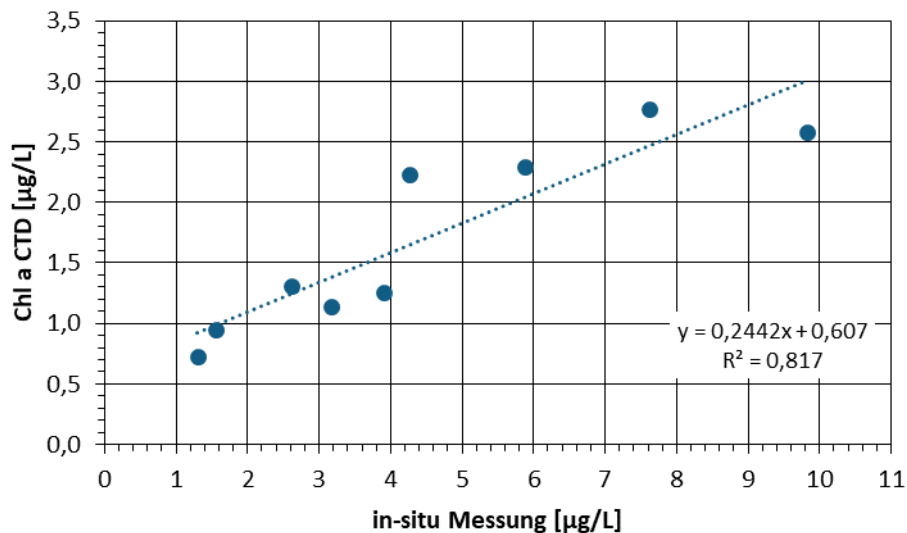


BSH in-situ-Chl a-Labormessungen (große Kreise) und ATAIR-Sondenwerte im Juli/August 2021 (kleine Kreise); Konzentrationen in  $\mu\text{g/L}$ . Quelle: eigene Darstellung, BSH.

- 3) In-situ-Labormessung vs. Fluorometer CTD-Sonde: Die Ergebnisse beider Messsysteme korrelieren signifikant (Abbildung A-20). Allerdings sind die Werte unterschiedlich hoch,

sodass eine Faktorisierung der Sondenmessung erfolgen muss, wenn man die Werte direkt miteinander vergleichen möchte.

**Abbildung A-20: Chl a-Konz. Fluorometermessung (CTD-Sonde) vs. in-situ-Labormessung**



Vergleich der BSH in-situ-Labormessungen im März 2021 (AT003) mit den Messungen der Fluorometersonde an der CTD-Sonde während derselben Fahrt. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

### A.1.3 Vergleichbarkeit der in-situ gemessenen Chl a-Daten mit den Daten aus der Fernerkundung

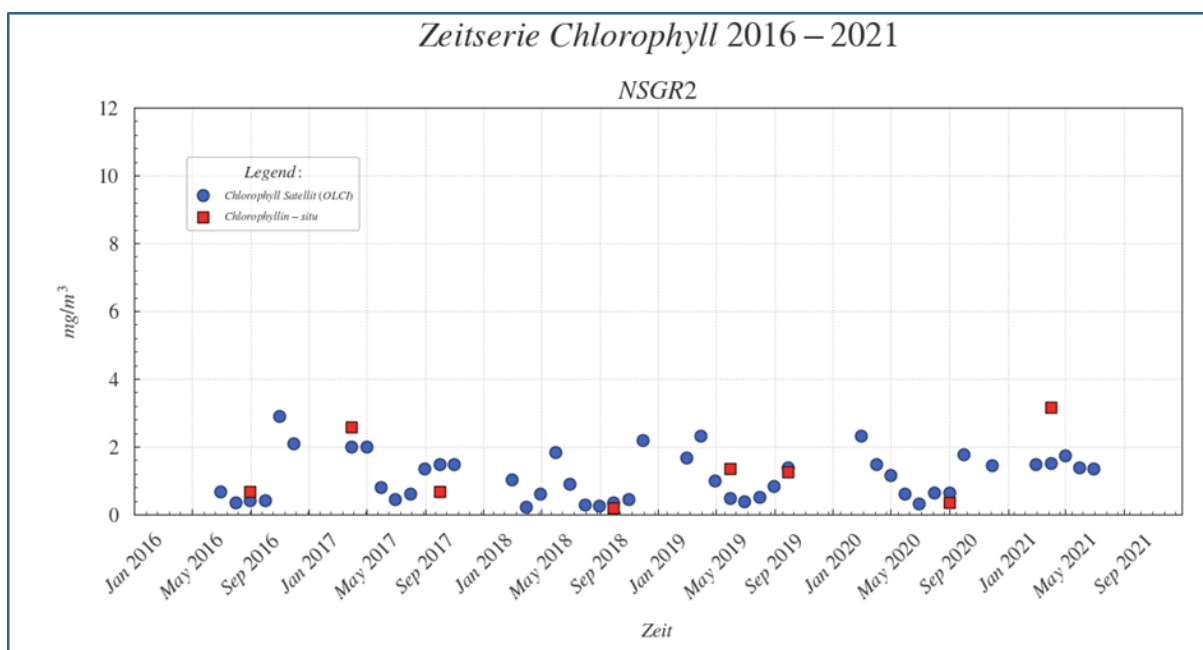
#### In-situ-Labormessung vs. Fernerkundung (Bockmann-Consult):

Die in-situ-Labormessungen von 2016 bis Frühjahr 2021 wurden mit den Chl a-Monatsmittelwerten aus der Fernerkundung an den jeweiligen BSH-Routinemonitoringstationen verglichen. Exemplarisch ist der Vergleich an der Station NSGR2 dargestellt (Abbildung A-21). Die Ergebnisse beider Messmethoden ergeben in der Regel vergleichbare Resultate.

In einem weiteren Ansatz zum Vergleich der beiden Messmethoden wurden die in-situ-Labormesswerte der Stationen der ATAIR Frühjahrsreise 2021 (16.03.2021 bis 22.03.2021) den zeitgleichen Chl a-Wochenmittelwerten aus der Fernerkundung in den entsprechenden Rasterzellen gegenübergestellt (Abbildung A-22). Die Ergebnisse sind signifikant korreliert; allerdings fallen die küstennahen Stationen EIDER und UE28 heraus. Die Regressionsgerade und der Korrelationskoeffizient wurden ohne diese beiden Stationen berechnet. Die Chl a-Messwerte sind in der Regel höher als die Werte aus der Fernerkundung.

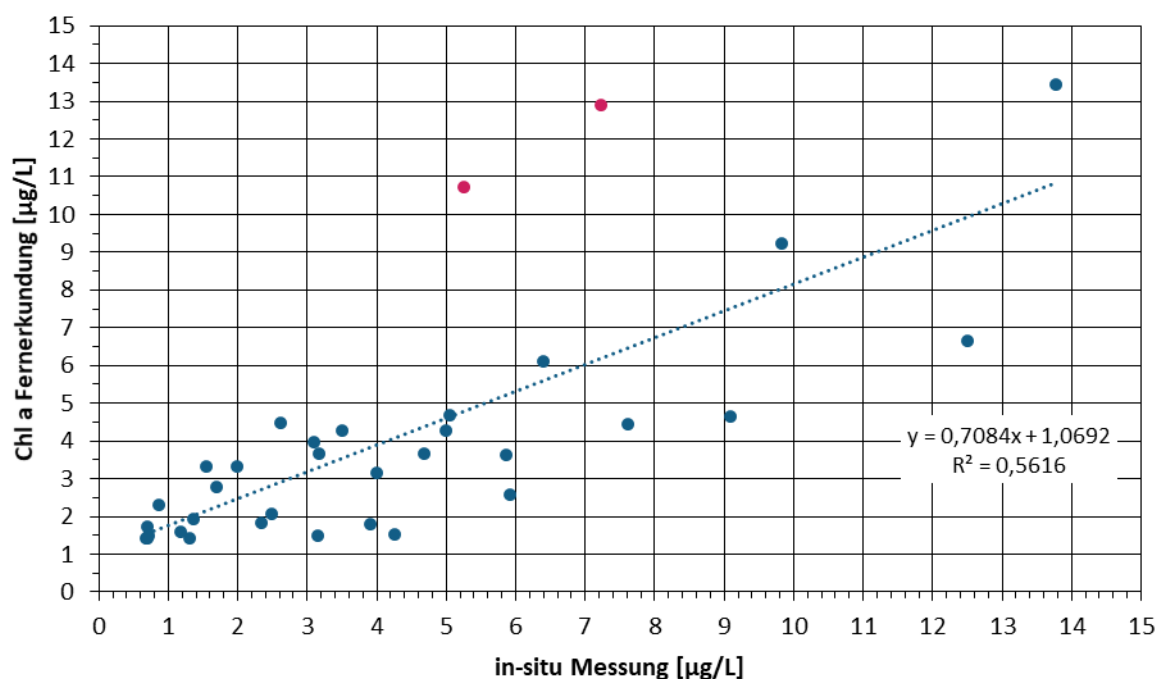


**Abbildung A-21: Chl a-Konzentrationen aus der Fernerkundung vs. in-situ Labormessungen**



Vergleich der BSH in-situ-Labormessungen für Chl a von 2016 bis 2021 (rote Quadrate) mit den monatlichen Chl a-Mittelwerten aus der Fernerkundung von Brockmann Consult an der Station NSGR2. Quelle: Kerstin Stelzer, Brockmann Consult, Bergedorf.

**Abbildung A-22: Chl a-Konzentrationen Fernerkundung vs. in-situ-Labormessung**



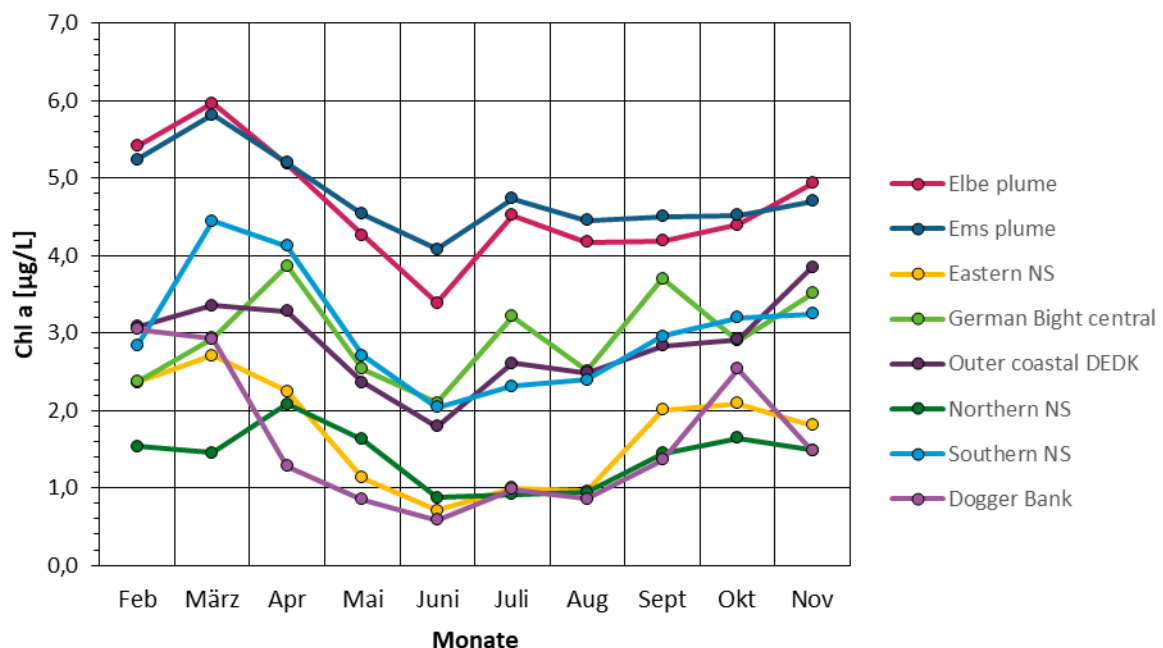
Vergleich der BSH in-situ-Labormessungen für Chl a auf der AT003-Reise im März 2021 mit den zeitgleichen Wochenmittelwerten ermittelt aus der Fernerkundung von der Firma Brockmann Consult. Rot = Stationen EIDER und UE28; Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**In-situ-Labormessung vs. Fernerkundung im Vergleich zu den OSPAR-Zielwerten:** Für die einzelnen COMP4-Gebiete wurden exemplarisch für das Jahr 2020 die Monatsmittelwerte und die Streuung der Chl a-Konzentrationen aus der Fernerkundung berechnet (Eefke van der Lee, BSH). Erwartungsgemäß unterschied sich die Höhe der Chl a-Konzentration zwischen den COMP4-Gebieten mit den höchsten Werten in küstennähe und niedrigeren Werten küstenfern. Der jahreszeitliche Verlauf der Kurven hingegen war in allen COMP4-Gebieten vergleichbar, mit jeweils den höchsten Chl a-Konzentrationen im März/April und den niedrigsten im Juni (Abbildung A-23).

Bei den monatlichen Mittelwerten der BSH-Berechnungen fällt die hohe Varianz mit Variationskoeffizienten zwischen 16 % und 63 % auf, was für eine sehr ungleiche Verteilung des Chl a in den einzelnen COMP4-Gebieten spricht (Tabelle A-12). Die COMP4-Gebiete „Elbe plume“ und „Ems plume“ wiesen die geringsten Streuungen der Chl a-Konzentrationen mit maximal 27 % auf. Die berechneten Werte aus der Fernerkundung sind, wie schon oben in der Abbildung A-22 dargestellt, häufig niedriger, als die Chl a-Konzentrationen der in-situ-Messungen. Die Unterschiede könnten auch damit zusammenhängen, dass die Chl a-Daten aus der Fernerkundung jeweils über die gesamte Fläche des COMP4-Gebiets gemittelt wurden und sich nicht nur auf die Deutsche AWZ beschränken.

Für den Vergleich mit den derzeitigen Bewertungen nach OSPAR wurden die Monatsmittelwerte der BSH-Berechnungen über den Bewertungszeitraum März bis September gemittelt. Die Bewertungen anhand der BSH-Berechnungen stimmen, abgesehen von dem COMP4-Gebiet „Eastern North Sea“, mit denen von OSPAR überein (Tabelle A-13). Die unterschiedliche Bewertung in dem COMP4-Gebiet „Eastern North Sea“ wird damit zusammenhängen, dass sich die BSH-Berechnungen nur auf das Jahr 2020 beschränken, während sich der OSPAR Bewertungszeitraum über sechs Jahre erstreckt.

**Abbildung A-23: Monatliche mittlere Chl a-Konzentrationen aus der Fernerkundung**



Monatliche mittlere Chlorophyll a-Konzentrationen [µg/L] in 2020 in den einzelnen COMP4-Gebieten. Für die Berechnung wurde für jedes Pixel aus den Chl a-Tagesmittelwerten ein Monatsmittelwert berechnet und anschließend für die einzelnen COMP4-Gebiete die Monatsmittelwerte berechnet. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Tabelle A-12: Chl a-Konz. aus der Fernerkundung und die in-situ Labormessungen in 2020**

COMP4-Gebiet	BSH in-situ-Messung (Monat; Anzahl Stationen)	Mittelwert März bis September Fernerkundung	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Outer coastal DEDK	1,26 (7/8; 1/2)	2,7	3,1 (2)	3,4 (26)	3,3 (42)	2,4 (45)	1,8 (63)	2,6 (43)	2,5 (38)	2,8 (36)	2,9 (16)	3,9 (0)
Dogger Bank	2,74 (8; 1)	1,3	3,1 (5)	2,9 (45)	1,3 (43)	0,8 (41)	0,6 (41)	1,0 (39)	0,9 (37)	1,4 (38)	2,5 (13)	1,5 (1)
Elbe plume	5,28 (8; 4)	4,5	5,4 (2)	6,0 (31)	5,2 (21)	4,3 (22)	3,4 (27)	4,5 (22)	4,2 (16)	4,2 (20)	4,4 (8)	4,9 (1)
Ems plume	5,06 (7; 1)	4,8	5,2 (0)	5,8 (28)	5,2 (24)	4,5 (22)	4,1 (22)	4,7 (23)	4,5 (16)	4,5 (16)	4,5 (8)	4,7 (1)
Eastern NS	0,86 (7/8; 2/7)	1,5	2,4 (4)	2,7 (37)	2,3 (55)	1,1 (49)	0,7 (58)	1,0 (34)	1,0 (51)	2,0 (42)	2,1 (9)	1,8 (1)
German Bight central	2,74 (8; 1)	3,0	2,4 (6)	2,9 (39)	3,9 (34)	2,5 (45)	2,1 (46)	3,2 (30)	2,5 (34)	3,7 (21)	2,9 (4)	3,5 (0)
Northern NS	0,32 (8; 2)	1,3	1,5 (9)	1,5 (46)	2,1 (58)	1,6 (59)	0,9 (40)	0,9 (33)	0,9 (50)	1,4 (46)	1,6 (27)	1,5 (4)
Southern NS	3,83 7/8; 1/1)	3,0	2,8 (6)	4,4 (19)	4,1 (25)	2,7 (40)	2,0 (32)	2,3 (31)	2,4 (33)	3,0 (30)	3,2 (8)	3,2 (6)

Monatliche mittlere Chlorophyll a-Konzentrationen [ $\mu\text{g/L}$ ] in 2020 in den Monaten Februar (2) bis November (11) in den einzelnen COMP4-Gebieten berechnet aus der Fernerkundung (FE) im Vergleich zu den OSPAR-Zielwerten und den in-situ Messwerten; Rot = Konzentration > Zielwert, Grün = Konzentration < Zielwert; Klammerwerte für die Monate geben den Variationskoeffizienten in Prozent an; für die Zielwerte siehe Tabelle A-13.

**Tabelle A-13: Vergleich der derzeitigen OSPAR-Bewertung und der Bewertung anhand der BSH-Berechnung aus den BSH-Fernerkundungsdaten in 2020**

COMP4-Gebiet	OSPAR Ziel-Werte Stand 6/2022	OSPAR derzeitige Bewertung	Mittelwerte BSH aus der Fernerkundung der Monate März – September 2020
Outer coastal DEDK	1,6	poor	2,7
Dogger Bank	1,77*	high	1,3
Elbe plume	3,7	poor	4,5
Ems plume	3,7	moderate	4,8
Eastern North Sea	1,2	good	1,5
German Bight central	1,9	moderate	3,0
Northern North Sea	1,1		1,3

COMP4-Gebiet	OSPAR Ziel-Werte Stand 6/2022	OSPAR derzeitige Bewertung	Mittelwerte BSH aus der Fernerkundung der Monate März – September 2020
Southern North Sea	2,25*	good	3,0

OSPAR-Zielwerte in den COMP4-Gebieten (\* = die Zielwerte sind noch nicht international abgestimmt); rot = Konzentration > Zielwert, grün = Konzentration < Zielwert und derzeitige OSPAR-Bewertung.

#### A.1.4 Vergleichbarkeit der in-situ gemessenen Chl a-Konzentrationen mit den Daten aus den Modellberechnungen

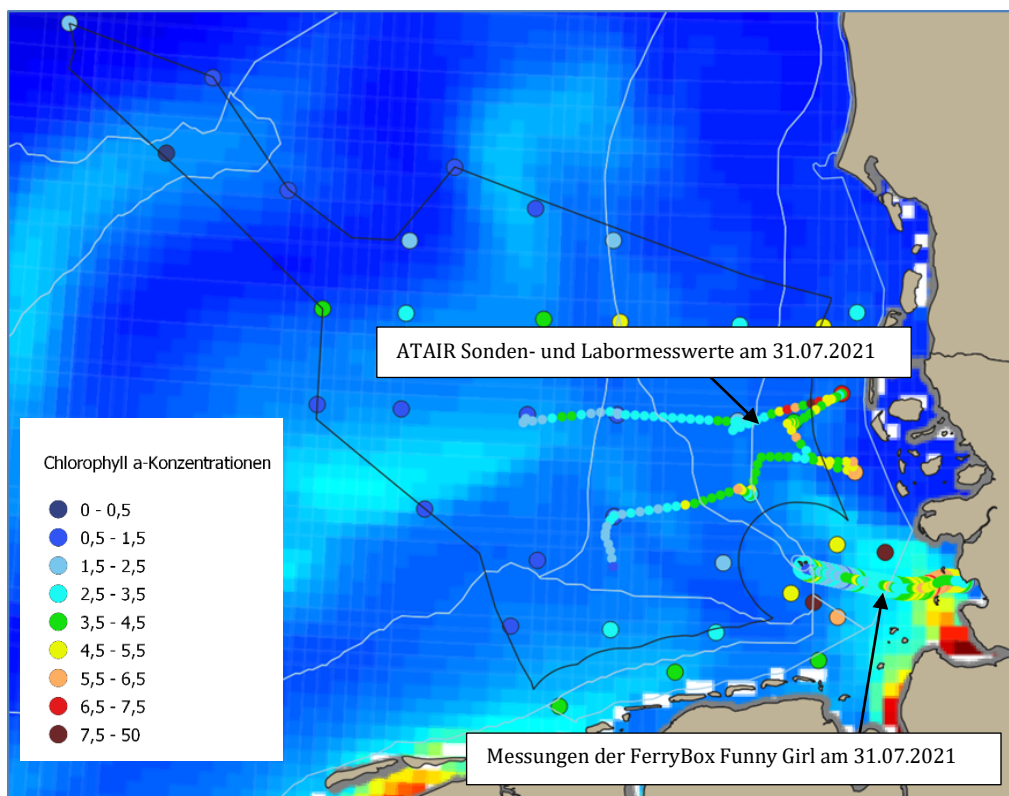
##### In-situ-Chl a-Messung vs. Modellwerte:

Exemplarisch wurden für die 2. iMonEP-Reise im Sommer 2021 die Bilder der Chl a-Modellberechnungen vom 31.07.2021 (Abbildung A-24) und 02.08.2021 (Abbildungen A-25a, b) jeweils zusammen mit

- 1) den zeitlich passenden in-situ-Labormessungen,
- 2) den Fluorometermessungen der Sonde auf dem Forschungsschiff ATAIR sowie
- 3) den FerryBox Fluorometermessungen auf der Funny Girl dargestellt.

Die mit dem Modell berechneten Chl a-Konzentrationen unterschätzen die tatsächlich bestimmten Chl a-Werte.

**Abbildung A-24: Chl a-Konzentrationen aus in-situ-Messungen vs. Modellberechnungen**



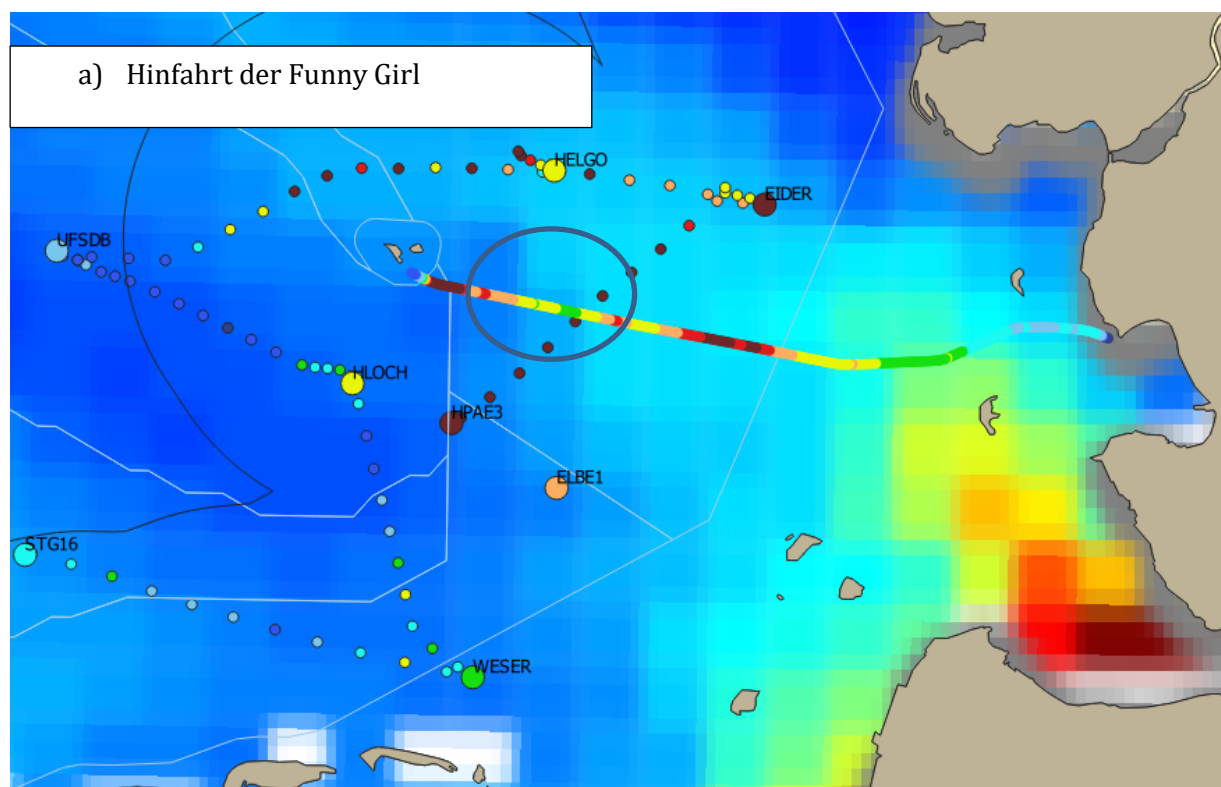
Vergleich der Chl a-Konzentrationen aus in-situ-Messungen mit den aus dem Modell berechneten Chl a-Werten am 31.07.2021; Konzentrationen in [µg/L]. Quelle: modifizierte Modelldaten, BSH.

Im hydrodynamisch hoch variablen Küstenbereich muss für den Vergleich zwischen den unterschiedlichen Messmethoden auch der Zeitpunkt der Messung berücksichtigt werden, wie die Abbildungen A-25a und b zeigen, da zwischen den auf der Hin- und auf der Rückfahrt gemessenen in-situ-FerryBox-Daten der Funny Girl vom 02.08.2021 deutliche Unterschiede bestehen. Die Modellberechnungen stammen aus der Mittagszeit, die Daten von der Hinfahrt der Funny Girl nach Helgoland umfassen den Zeitraum von etwa 07:30 bis 09:40 Uhr (UTC) und für die Rückfahrt zwischen 15.30 bis 18.00 Uhr (UTC). Die Route der ATAIR begann am 02.08.2021 an der Station WESER 02:08 Uhr (UTC) und endete um 18:46 Uhr (UTC) an der Station ELBE1. Daher muss für den Vergleich zwischen den Daten der ATAIR und der FerryBox die Rückfahrt der Funny Girl betrachtet werden, denn die Daten an dem Kreuzungspunkt beider Routen stammen vom Nachmittag. Die ATAIR passierte den Punkt um 14:39 Uhr (UTC) und die Funny Girl um 15:50 Uhr (UTC). Die Messwerte der FerryBox, der in-situ-Labormesswerte und der Sondenmessung der ATAIR stimmen sehr gut überein (Abbildung A-25b).

Die Modellwerte müssen eher mit der Hinfahrt der Funny Girl verglichen werden und mit den Stationen UFSDB und HELGO, die zwischen 08:04 Uhr (UTC) und 11:16 (UTC) beprobt wurden. Im Bereich der Elbefahne stimmen die Modelldaten relativ gut mit den Daten der FerryBox überein, allerdings bildet das Modell die hohen Chl a-Werte, die die FerryBox im weiteren Verlauf der Route nach Helgoland gemessen hatte, nicht ab. Eine gute Übereinstimmung zwischen den Modellwerten und den in-situ-Labormessungen ergibt sich an der küstenfernen Station UFSDB.

Blauw et al. (2012) beschreiben in einer ausführlichen Studie die Notwendigkeit für das Monitoring Wasser- bzw. Planktonproben zu vergleichbaren Zeitpunkten in der Tideperiode zu nehmen.

**Abbildung A-25: Chl a-Konzentrationen aus in-situ-Messungen vs. Modellberechnungen**



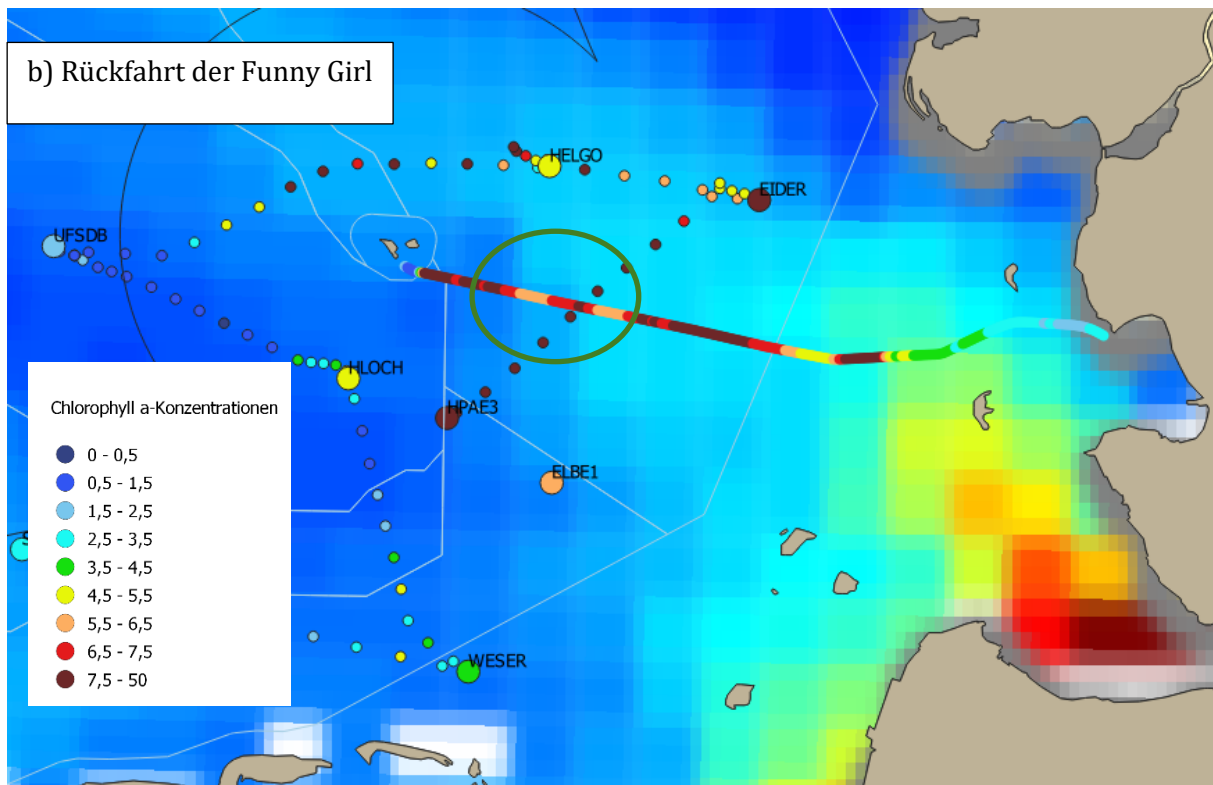


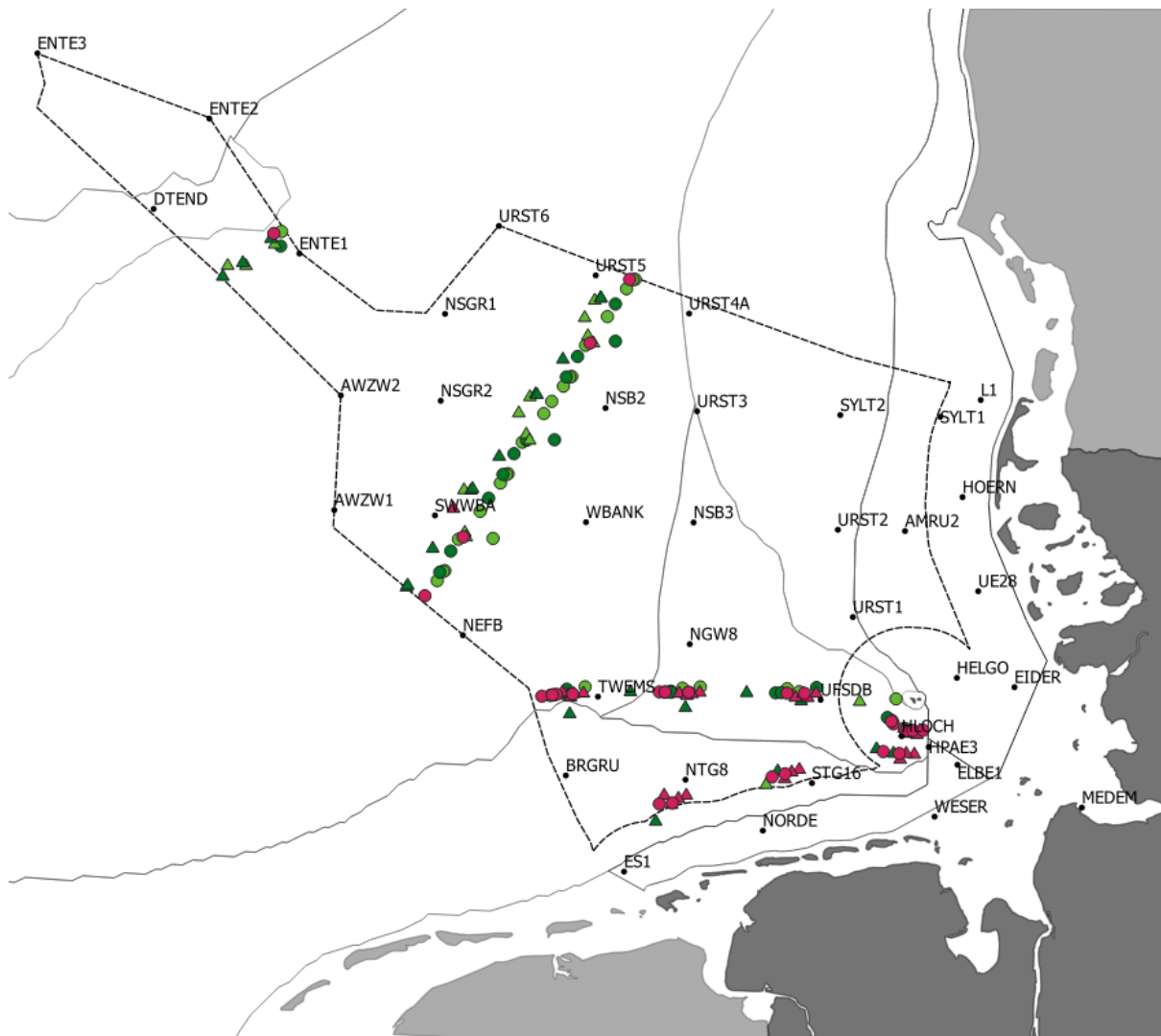
Abbildung A-25a (oben) b (unten): Vergleich der Chl a-Konzentrationen aus in-situ-Messungen am Morgen (obere Abbildung) und nachmittags (untere Abbildung) von der Sonde ATAIR = kleine Punkte, Labor-Messwerte = große Punkte und FerryBox Funny Girl = Transekt und den aus dem Modell berechneten Chl a-Werten am 02.08.2021 = Hintergrund; Konzentrationen in  $\mu\text{g/L}$ . Quelle: modifizierte Modelldaten, BSH.

### A.1.5 Brauchbarkeit der Phytoplankton Colour Indexwerte (PCI) vom Continuous Plankton Recorder (CPR)

#### Phytoplankton Colour Index (PCI-Wert) vom CPR in der Wachstumsperiode

Der PCI kann als grober Näherungswert für die Phytoplankton-Biomasse bzw. das Chlorophyll gesehen werden. Die Färbung der Gaze wird in einer 4-stufigen Skala klassifiziert: 0 für keine Färbung, 1 für sehr schwach Grün, 2 für schwach Grün und 6,5 für Grün (Richardson et al. 2006). Der PCI ist in den COMP4-Gebieten „Southern North Sea“ und „German Bight central“ deutlich höher als im Gebiet „Eastern North Sea“ (Abbildung A-26). Im flächenmäßig sehr großen COMP4-Gebiet „Eastern North Sea“ lassen sich Bereiche mit vorwiegend hohen (südliche Stationen um die BSH-Station TWEMS) und hauptsächlich niedrigen PCI-Werten (Stationen im mittleren Bereich und im Entenschnabel) unterscheiden (Abbildung A-26). Die hohen PCI-Werte an der Station TWEMS lassen sich auch anhand der in-situ gemessenen Chl a-Konzentrationen wiederfinden und es stellte sich die Frage, ob diese Station eher zu dem Gebiet „German Bight central“ gezählt werden sollte (s.o. Kapitel 2.2.6.1 und Abbildungen A-45 und A-46). Ab 2017 werden keine CPR-Daten mehr im südlichen Teil der Deutschen Bucht erhoben und die CPR-Route läuft hauptsächlich durch das COMP4-Gebiet „Eastern North Sea“ (Abbildung 16).

**Abbildung A-26: PCI-Index (Grünheit der Gaze) in 2015 und 2016**



PCI in den Monaten März bis Oktober; 2015 = Punkte und 2016 = Dreiecke; Hellgrün = PCI 1, Dunkelgrün = PCI 2; Rot = PCI 6,5. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

#### Fazit Chlorophyll – Datenlage und Vergleichbarkeit der Daten aus unterschiedlichen Quellen

- ▶ Gute Vergleichbarkeit der ermittelten Chl a-Konzentrationen der unterschiedlichen Messmethoden (in-situ Labormessung, Sonden (CTD, FerryBox) und Fernerkundung).
- ▶ Keine gute Übereinstimmung der Chl a-Konzentrationen aus den Modellberechnungen und den Messungen mit den unterschiedlichen Methoden.
- ▶ In hydrodynamisch variablen Gebieten muss auch die Tageszeit bei der Chl a-Messung berücksichtigt werden.
- ▶ Der PCI gibt einen groben aber plausiblen Überblick über hohe bzw. geringe Chlorophyll-Konzentrationen.

Die Bewertung für den Parameter Chl a sollte wegen der guten räumlichen und zeitlichen Auflösung in der offenen Nordsee mit den Daten aus der Fernerkundung erfolgen, wobei die Fernerkundungsdaten mit den Daten aus den in-situ Messungen validiert werden sollten.



In Küstennähe, wo die Fernerkundungsdaten fehlerhaft sein können, sollten die in-situ Messungen (BSH, LfU, NLWKN) mit herangezogen werden.

## A.2 Nährstoffe

### A.2.1 Datenlage

Die **Datenlage** ist im Vergleich zu Chl a sehr viel schlechter, weil es für Nährstoffe deutlich weniger verfügbare Datenquellen gibt (Tabelle A-14). Zurzeit finden im BSH Tests mit Nährstoffsonden für Nitrat und Messungen mit automatischen nasschemischen Durchflussmessgeräten statt, die zu den in-situ-Labormessungen vergleichbare Ergebnisse liefern (Abbildungen A-27 bis A-32).

**Tabelle A-14: Verfügbare Nährstoffdaten**

Daten	Wer	Wo	COMP4-Gebiet, Küstengewässer	Wann
In-situ Labormessung, (Routinemonitoring), Punktmessung	BSH	Gesamte Deutsche Bucht	alle	Winter 1- bis 2-mal zwischen November-Februar
In-situ Labormessung, (Routinemonitoring), Punktmessung	Bundesländer	12-sm Küstengewässer.	Küstengewässer + „Elbe plume“, „Ems plume“ und „German Bight central“	hauptsächlich Wachstumsperiode
weitere in-situ Messungen auf Seereisen, wenn zusätzlich installiert: Nitrat-Sonde und Durchflussmessgeräte (Nitrat + Nitrit, Phosphat, Silikat). Transekt, noch nicht operationell	BSH	Gesamte Deutsche Bucht	alle	während in-situ Probennahme + u.U. weitere BSH-Fahrten
Modelle, Fläche	BSH	Gesamte Deutsche Bucht	alle	täglich: Nitrat ( $NO_3^-$ ), Phosphat ( $PO_4^{3-}$ ), Ammonium ( $NH_4^+$ ), Silikat ( $SiO_4$ )

### A.2.2 Vergleichbarkeit der in-situ gemessenen Nährstoffe mit Daten aus automatischen Messsystemen

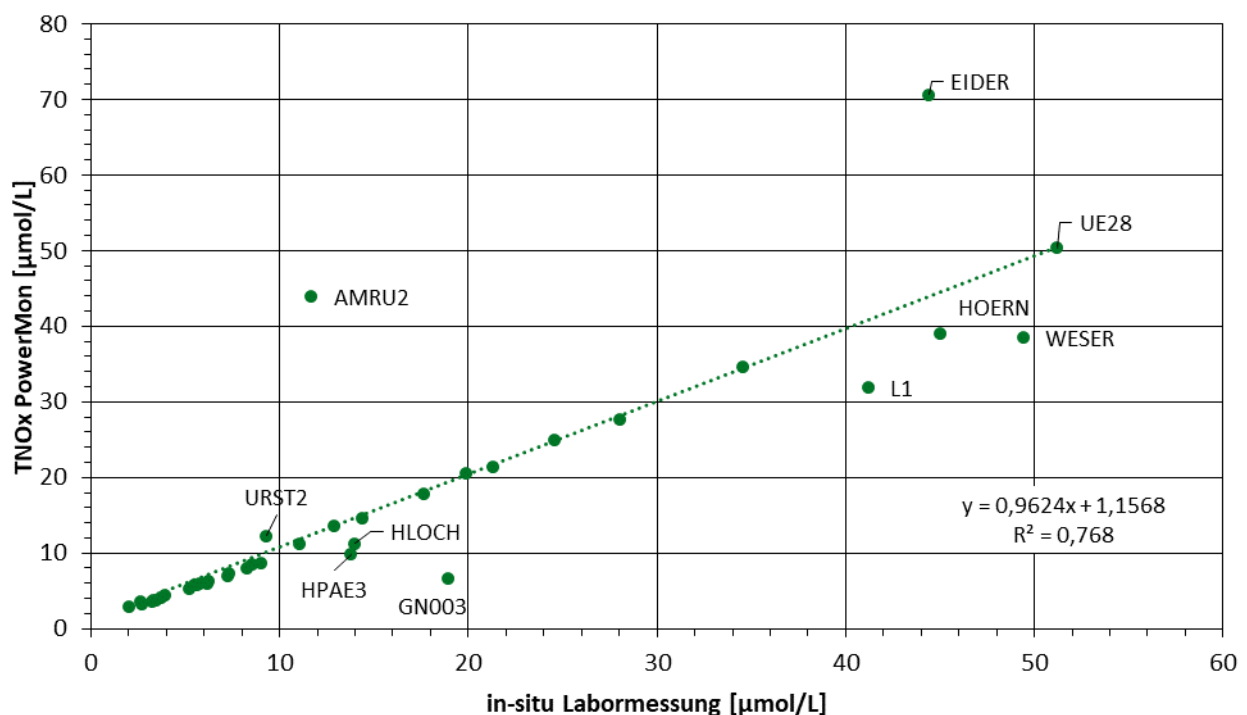
Das BSH hat teilweise schon seit 2013 automatische Messsysteme wie nasschemische halbautonome Durchflussmessgeräte (im BSH: „Durchflussmessgerät“ bzw. „BlueMon“, „PowerMon“ der Firma GO Systemelektronik GmbH) und aktuell probeweise eine Nitratsonde während (einiger) BSH-Monitoringfahrten im Einsatz. Da bisher keine routinemäßige

Qualitätssicherung der Daten erfolgen kann, fließen diese Daten aktuell nicht in die MUDAB und stehen damit der MSRL-Bewertung nicht zur Verfügung. Die Nutzung dieser Daten würde die Anzahl der in-situ-Messwerte für Nährstoffe jedoch deutlich vergrößern. Daher wurde die Vergleichbarkeit der in-situ Labormessungen mit den automatischen Messsystemen geprüft.

Für drei Jahre (2018 bis 2020) wurden die Messdaten der Durchflussmessgeräte für Phosphat ( $\text{PO}_4$ ), Silikat ( $\text{SiO}_4$ ) und  $\text{TNO}_x$  (Nitrat plus Nitrit) den in-situ Labormesswerten gegenübergestellt. Für Phosphat und  $\text{TNO}_x$  ergeben sich sehr gute Übereinstimmungen zwischen beiden Messverfahren, d. h. die Steigungen der Regressionsgeraden lagen jeweils fast bei 1, sodass sich die Messwerte der Durchflussmessgeräte 1:1 übertragen lassen. Für die Beprobung im Januar 2018 sind die Ergebnisse exemplarisch für  $\text{TNO}_x$  (Abbildung A-27 und A-28) und Phosphat (Abbildung A-29 und A-30) dargestellt. Für Silikat ergeben sich ebenfalls signifikante Korrelationen zwischen den in-situ Labormesswerten und den mit dem Durchflussmessgerät automatisch erhobenen Silikat-Werten ( $R^2$  liegt zwischen 0,90 und 0,98), wobei allerdings die Steigungen der Regressionsgeraden variieren und zwischen 0,62 (Januar 2020) und 0,95 liegen, so dass sich nicht auf allen Reisen die Daten 1:1 übertragen lassen. Daher sind für Silikat noch weitere Tests und Anpassungen notwendig, um die Daten der halbautonomen Durchflussmessgeräte für das Monitoring einsetzen zu können. Für die Beprobung im Januar 2019 sind die Ergebnisse exemplarisch für Silikat (Abbildung A-31 und A-32) dargestellt.

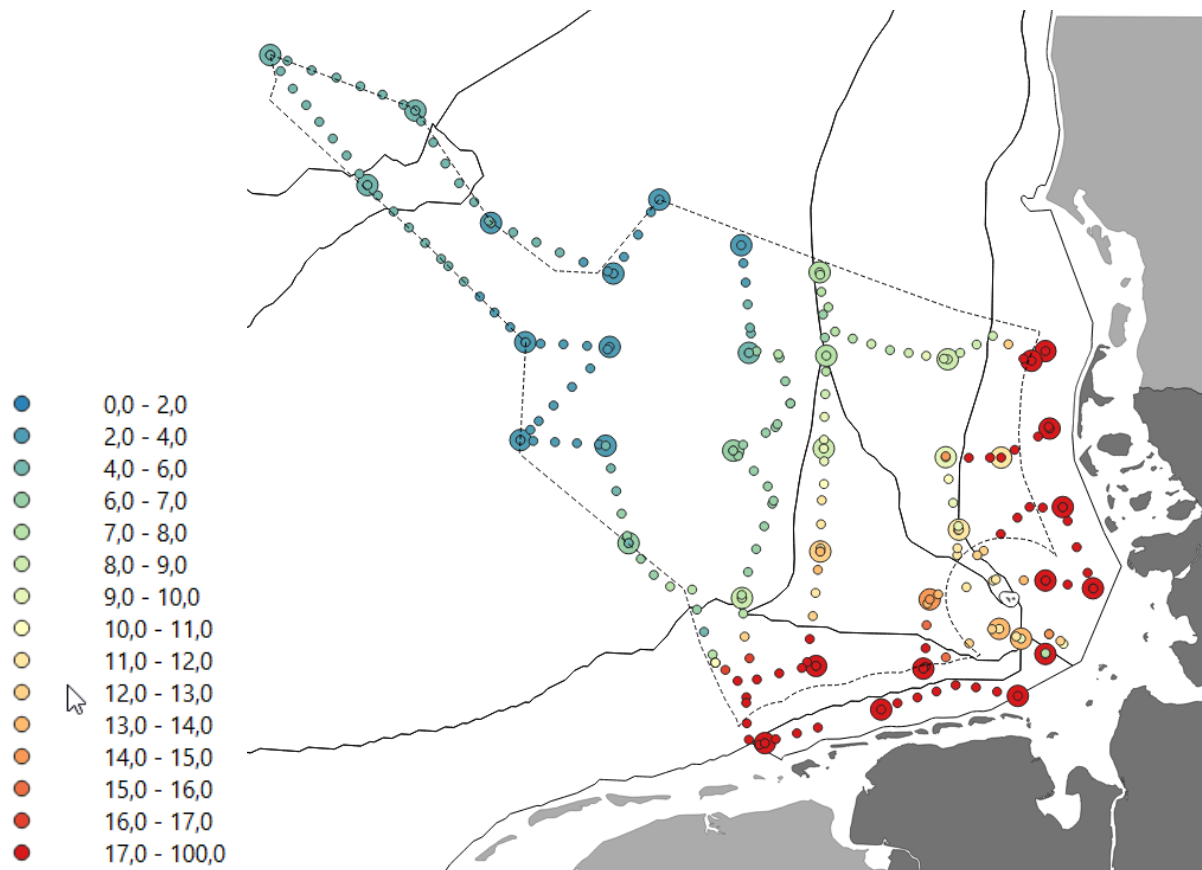
Auch für die Nitratsonde wurden Vergleichsmessungen gemacht. Erste Auswertungen zeigen eine relativ gute Vergleichbarkeit zwischen den Sondendaten und den Labormessungen (hier nicht dargestellt). Es sind allerdings noch weitere Tests notwendig bis die Sonde als automatisches Messsystem eingesetzt werden kann.

**Abbildung A-27:  $\text{TNO}_x$ -Konzentrationen in-situ-Labormessungen vs. Durchflussmessgerät**



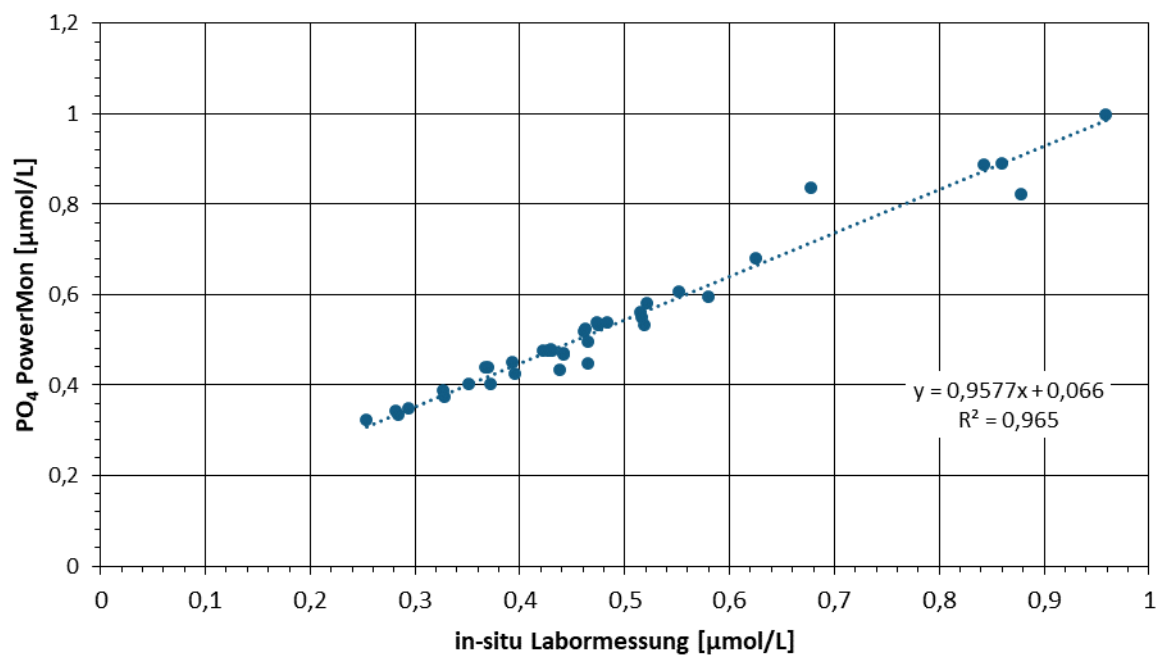
Daten von CE1802 vom Januar/Februar 2018; Stationen, die weit entfernt von der Regressionsgeraden liegen, wurden mit dem Stationsnamen beschriftet und ohne diese Stationen würde die Regressionsgerade  $y = 0,976x + 0,352$  lauten und  $R^2$  wäre 0,9899; Quelle: eigene Darstellungen, BSH.

**Abbildung A-28: TNO<sub>x</sub>-Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Durchflussmessgeräte**



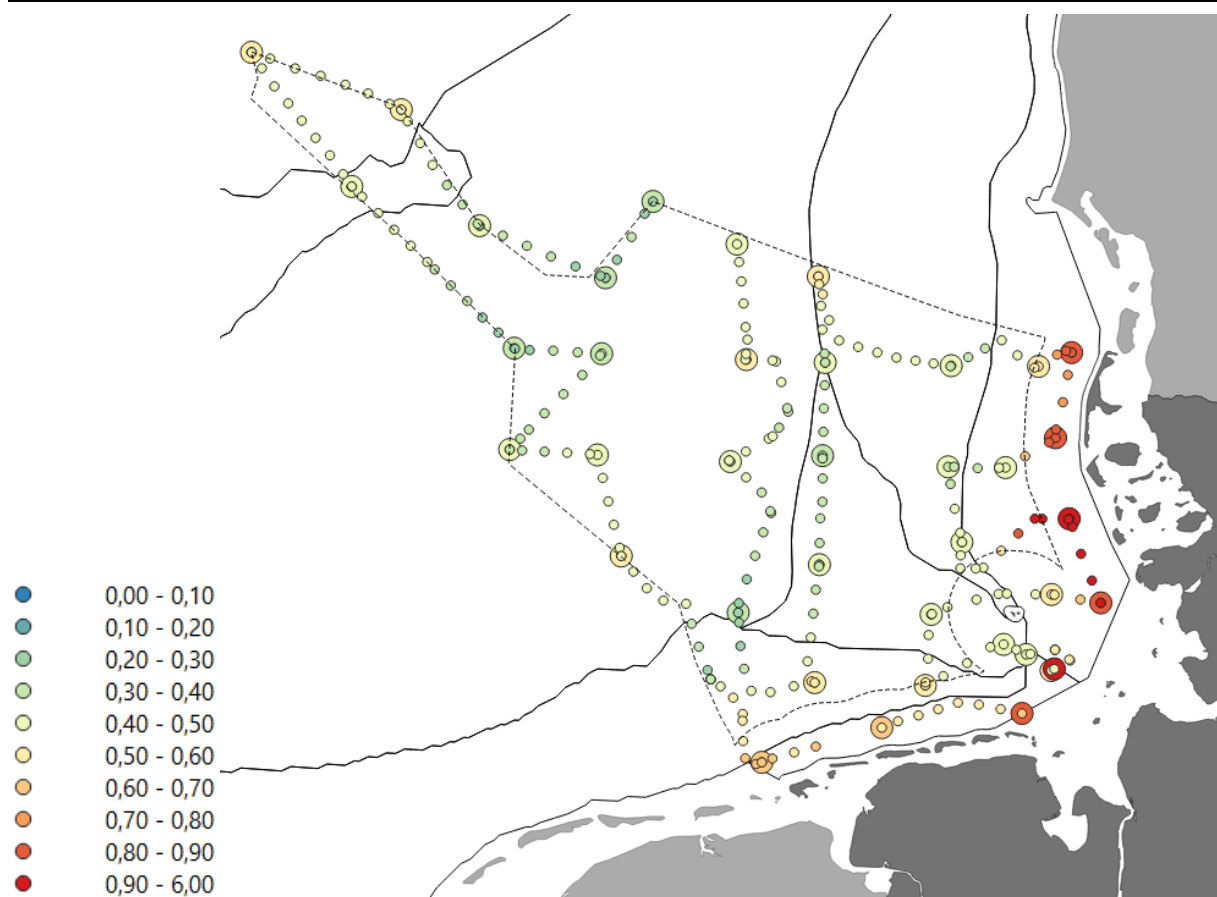
In-situ Labormessung (große Punkte) vs. Durchflussmessgerät-Messwerte (kleine Punkte) für TNO<sub>x</sub> ( $\mu\text{mol/L}$ ) im Januar/Februar 2018. Quelle: eigene Darstellungen, BSH.

**Abbildung A-29: PO<sub>4</sub>-Konzentrationen in-situ-Labormessungen vs. Durchflussmessgeräte**



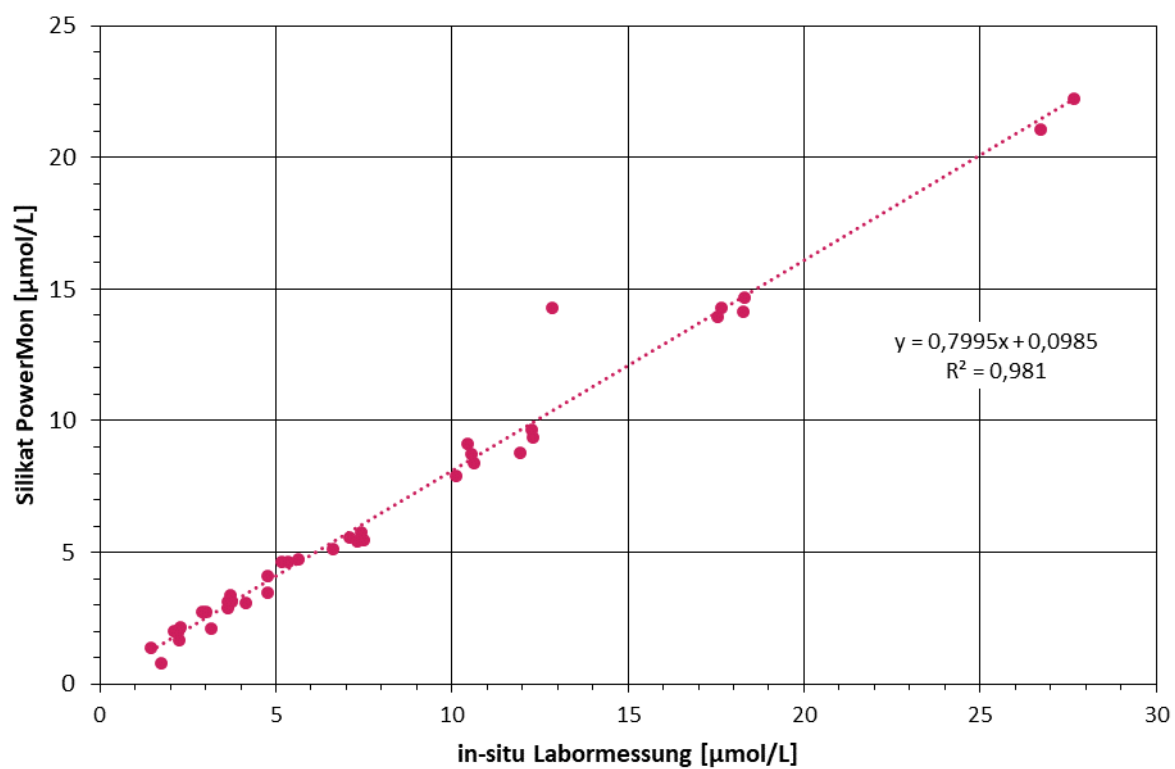
Daten von CE1802 vom Januar/Februar 2018; Quelle: eigene Darstellungen, BSH.

**Abbildung A-30: PO<sub>4</sub>-Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Durchflussmessgeräte**



In-situ Labormessung (große Punkte) vs. PowerMon-Messwerte (kleine Punkte) für PO<sub>4</sub> (µmol/L) im Januar/Februar 2018.  
Quelle: eigene Darstellungen, BSH.

**Abbildung A-31: SiO<sub>4</sub>-Konzentrationen in-situ-Labormessungen vs. Durchflussmessgeräte**



Daten von CE19002 vom Januar 2019; Quelle: eigene Darstellungen, BSH.

**Abbildung A-32: SiO<sub>4</sub>-Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Durchflussmessgeräte**



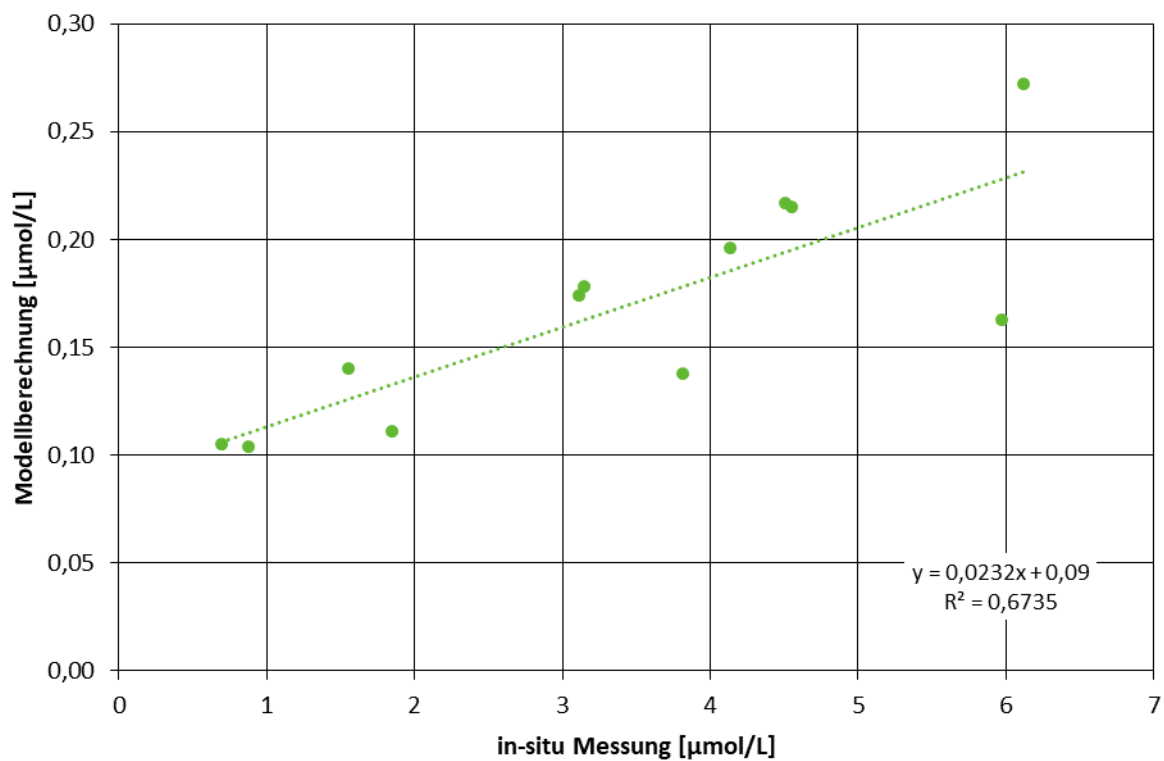
In-situ Labormessung (große Punkte) vs. Durchflussmessgerät-Messwerte (kleine Punkte) für Silikat ( $\mu\text{mol/L}$ ) im Januar 2019. Quelle: eigene Darstellungen, BSH.

### A.2.3 Vergleichbarkeit der in-situ gemessenen Nährstoffe mit den modellierten Nährstoffkonzentrationen

Das Modell (ERGOM, F. Schwichtenberg, BSH) berechnet für jede Rasterzelle tägliche Werte für Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), Phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) und Silikat ( $\text{SiO}_4$ ). Wenn diese Modellwerte mit den Konzentrationen aus den in-situ Labormessungen vergleichbar wären, könnten sie in die Eutrophierungsbewertung mit eingebracht werden. Für die iMonEP-Projektstationen wurden die gemessenen Nährstoffkonzentrationen für Ammonium, Phosphat, Nitrat und Silikat mit den aus dem Modell berechneten Nährstoffkonzentrationen vom Januar 2021 (Monatsmittelwert) verglichen (Abbildungen A-33 bis A-36). Während sich für Phosphat kein Zusammenhang zwischen den Konzentrationen aus den Modellberechnungen und den in-situ Labormessungen ergibt (Abbildung A-36), besteht insbesondere für Ammonium und Silikat ein deutlicher Zusammenhang. Die errechneten Modellkonzentrationen sind allerdings deutlich geringer als die Konzentrationen der in-situ-Labormessungen. Um die mit dem Modell berechneten Konzentrationen für die Bewertung nutzen zu können, müssen daher noch weitere Untersuchungen (z. B. Möglichkeit der Kalibration, Modellanpassung) durchgeführt werden. Man kann das ERGOM-Modell auch dazu benutzen, um die Anzahl an Tagen zu berechnen an denen der Zielwertüberschreitung überschritten wurde.

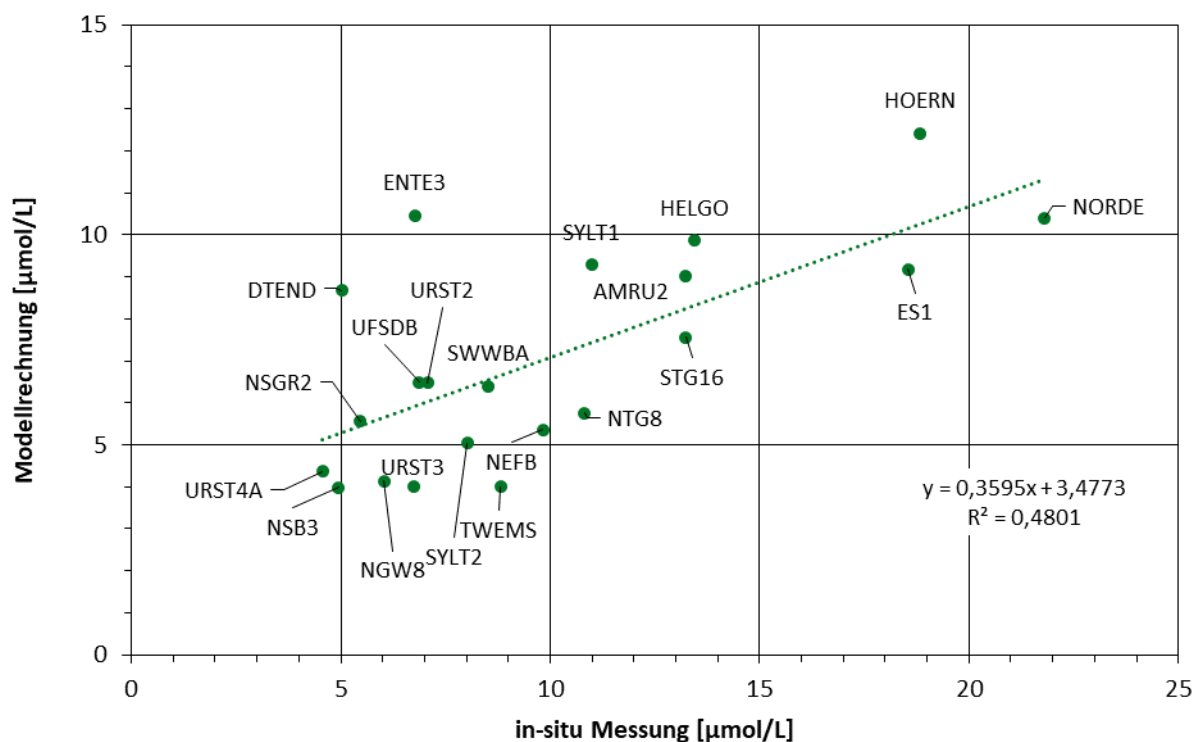


**Abbildung A-33: NH<sub>4</sub>-Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Modellwerte**



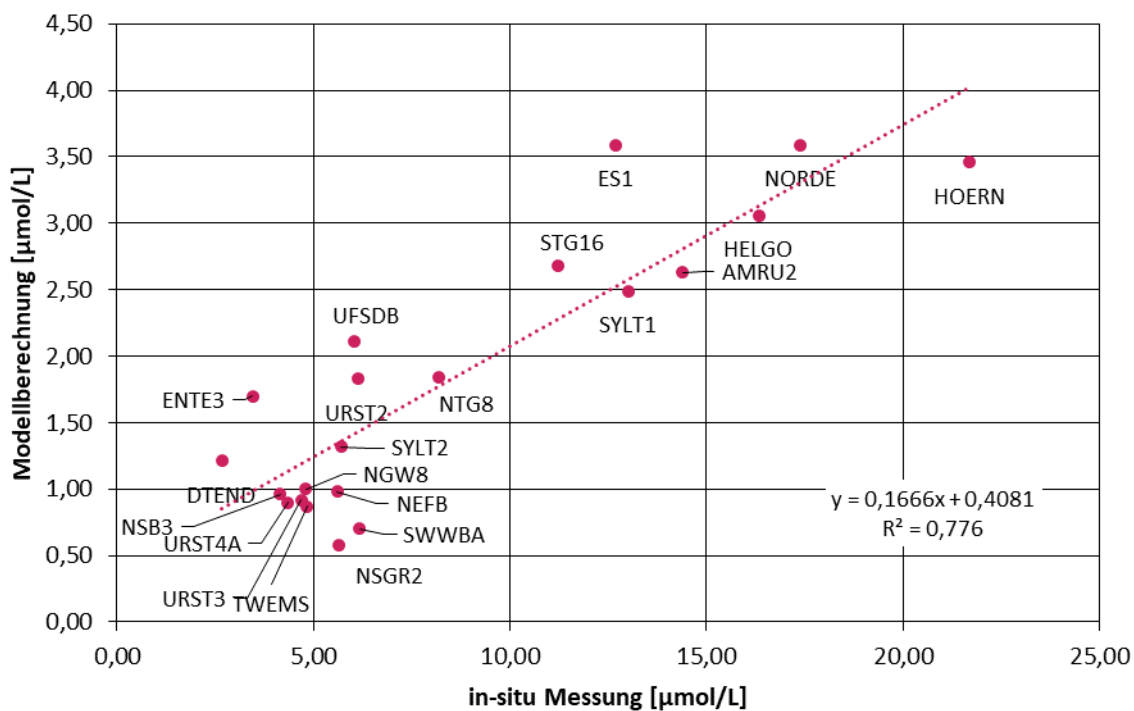
Oberflächen-Daten (5 m) vom Januar 2021; Quelle: eigene Darstellungen, BSH.

**Abbildung A-34: NO<sub>3</sub>-N-Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Modellwerte**



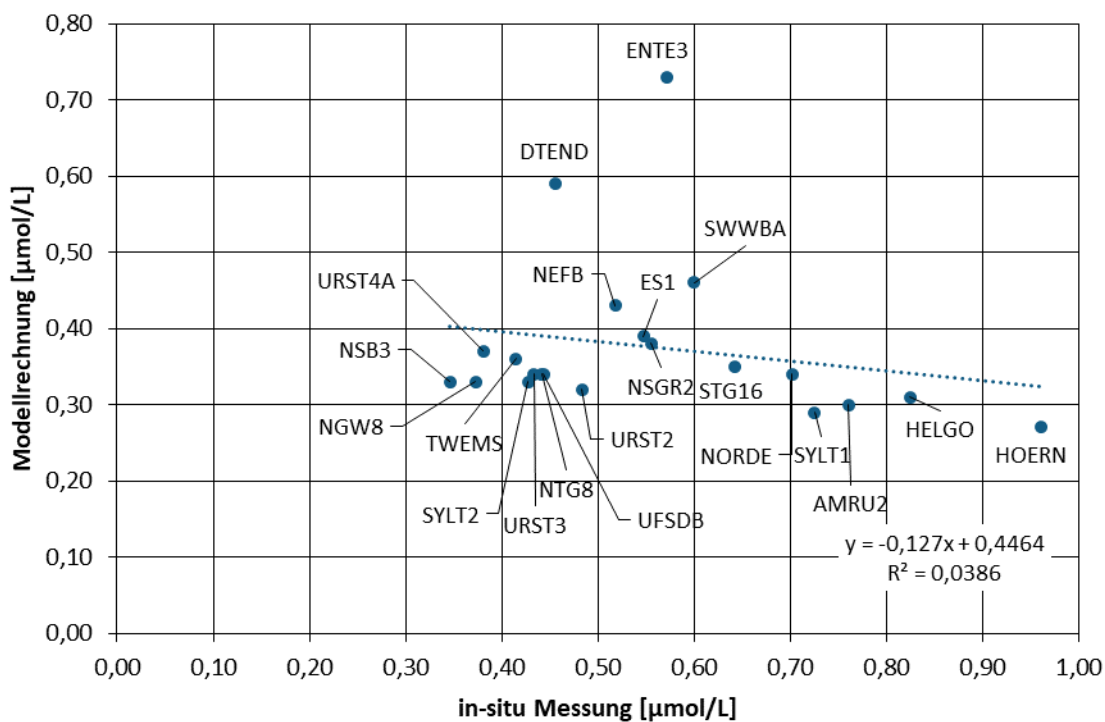
Oberflächen-Daten (5 m) vom Januar 2021; Quelle: eigene Darstellungen, BSH.

**Abbildung A-35:  $\text{SiO}_4$ -Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Modellwerte**



Oberflächen-Daten (5 m) vom Januar 2021; Quelle: eigene Darstellungen, BSH.

**Abbildung A-36:  $\text{PO}_4$ -Konzentrationen in-situ-Labormessungen und Modellwerte**



Oberflächen-Daten (5 m) vom Januar 2021; Quelle: eigene Darstellungen, BSH.

### Fazit Nährstoffe – Datenlage und Vergleichbarkeit der Daten aus unterschiedlichen Quellen

- ▶ Die Datenlage ist für die Nährstoffe unzureichend, da nur in einem der drei von OSPAR vorgeschriebenen Monate Proben genommen werden.
- ▶ Es besteht eine gute Vergleichbarkeit zwischen den Daten der in-situ-Labormessungen und den automatischen Durchflussmesssystemen und der Nitrat-Sonde.
- ▶ Es besteht aktuell noch keine gute direkte Übereinstimmung zwischen den in-situ-Labormessungen und den Nährstoffkonzentrationen, die mit dem Modell errechnet wurden. In einem anderen Modellansatz ließe sich die Anzahl Tage berechnen, an denen die Zielwerte überschritten wurden.

## A.3 Plankton

### A.3.1 Methodische Untersuchungen zur DNA-Methode und Aufwand

#### Methodische Untersuchungen zur DNA-Methode - Methodik

Die Methodik der hauptsächlich angewandten DNA-Analytik ist in der Textbox (s. u., DNA-Methodik) beschrieben.

Beim Phytoplankton wurden ab 2022 sowohl die Probennahme als auch die verwendeten Primer verändert. Während der ersten beiden Ausfahrten in 2021 wurden jeweils nur 200 mL der Wasserschöpferprobe über ein 48 µm Sieb gegeben und der Siebrückstand mit Ethanol in das Probengefäß gegeben. Die DNA-Analyse der ersten beiden Probennahmen ergab Taxalisten mit ausschließlich Diatomeen während alle anderen Phytoplanktongruppen nicht nachgewiesen wurden (s. u.). Daher wurden von 2022 an die Probennahme für das Phytoplankton und der Primer verändert:

- ▶ Probennahme: Es wurde ein größeres Wasservolumen über das 48 µm Sieb aufkonzentriert (statt 200 mL zwischen 1000 mL und 2000 mL) und es wurden parallel dazu zwischen 1000 mL und 1500 mL der Seewasserprobe über einen Filter (Glasfaserfilter Whatman GF/F 0,7 µm Porengröße) filtriert, sodass auch die kleinen Organismen erfasst werden können. Der Filter wurde ebenfalls in Ethanol fixiert.
- ▶ Änderungen des Primers: 2021 wurden für die DNA-Analyse beim Phytoplankton die Primer (Primer 646F (ATGCGTTGGAGAGARCGTTTC) und 998R (GATCACCTTCTAATTTACWACAACCTG)) verwendet, die ausschließlich die Gruppe der Diatomeen erfasst haben. Daher wurde der Primer gewechselt. Die Proben aus 2021 wurden ebenfalls mit dem neuen Primer analysiert (s. u. Primervergleich Phytoplankton). Dazu wurden die Probenaufschlüsse, die für die ersten Primer gemacht wurden, verwendet, sodass es sich um identisches Probematerial handelt.

### DNA-Methodik der Firma biome-id, Wilhelmshaven

#### Probenvorbereitung und DNA-Extraktion:

- ▶ Die Zooplanktonproben werden mechanisch zerkleinert und aus der Ethanol-suspendierten zerkleinerten Fraktionen werden 2 mL des Homogenates zentrifugiert und getrocknet. Die Proben werden anschließend in einer Lösung von 5 mL T1-Lysepuffer (Macherey-Nagel, Düren, Deutschland) und 0,1 mL Proteinase K über Nacht bei 56°C inkubiert. Die DNA aus den Lysaten wird mit dem NucleoSpin® Tissue Kit (Macherey-Nagel, Düren, Deutschland) aufgereinigt.

- Die Phytoplanktonproben werden ebenfalls zentrifugiert, somit vom Fixativ getrennt und die gesamte DNA wird mit dem NucleoSpin® Plant II Kit (Macherey-Nagel, Düren, Deutschland) nach Angaben des Herstellers extrahiert. Bei den filtrierten Phytoplanktonproben wird der Filter aus der Fixierlösung entnommen, zerkleinert und getrocknet. Die getrockneten Filterstücke werden in eine Lyse-Lösung überführt und ebenfalls mit dem NucleoSpin® Plant II Kit aufgereinigt, um die hochmolekulare DNA zu erhalten.

#### **DNA-Metabarcoding:**

- PCR und Erstellung der Illumina-Libraries: Bei den Zooplanktonproben wird ein 313-bp-Fragment des mitochondrialen Cytochrom-c-Oxidase Gens (COI) mit den Primern mLCOIntF (Leray et al. 2013) und jgHCO2198 (Geller et al. 2013) durch PCR vervielfältigt, bei den Phytoplanktonproben ein ca. 380-bp-Fragment der 18S ribosomalen-RNA mit den Primern V4F und V4RB (Balzano et al. 2015). Jeder Primer ist mit überhängenden Illumina® Adaptoren an der 5' Position versehen. Die Qualität der PCR-Produkte wird mittels Gelelektrophorese auf einem mit GelRed® (Biotium Inc. Fremont, CA, USA) gefärbten 2%igen Agarosegel visuell überprüft. Die Illumina® Libraries werden mit einer zweiten PCR hergestellt, um die PCR-Produkte mit Doppelindizes und Illumina® Sequenzierungsadaptoren zu versehen. Die Konzentration der einzelnen PCR-Produkte wurde mit einem fluorometrischen Assay gemessen (QuantiFluor®, Promega GmbH Walldorf, Germany) und die Libraries anschließend in äquimolaren Konzentrationen gemischt. Die gepoolten Libraries werden mit einer Illumina® MiSeq-Plattform (2 × 300 bp Paired-End-Modus) sequenziert.
- Datenanalyse: Die bioinformatische Analyse wird mit dem Programm vsearch durchgeführt (Rognes et al. 2016). Jedes Sequenz-Paar mit einem Mindestüberlappungswert von 100 bp (COI) oder 50bp (18S) wird zusammengeführt. Alle übrigen nicht zusammengeführten Sequenzen werden verworfen. Alle Sequenzen mit mindestens einer unbekannten Base (N) werden in der Filterstufe entfernt und identische Sequenzen werden zusammengeführt. Alle potentiellen Chimäresequenzen (Artefaktsequenzen, die von mehreren Ursprungssequenzen stammen) werden identifiziert und aus der Probe entfernt. Die verbleibenden COI Sequenzen werden in Operational Taxonomic Units (OTUs) unter Verwendung eines Schwellenwerts von 3% geclustert. Die 18S Sequenzen werden nicht geclustert, sondern als Amplicon Sequence Variants (ASVs, Eren et al. 2013) analysiert.
- Taxonomische Zuordnung: Die OTUs und ASVs werden durch den Abgleich mit den verfügbaren Sequenzen der BOLD Referenzdatenbank (COI) und PR2 Referenzdatenbank (18S) taxonomischen Einheiten zugeordnet. Für die taxonomischen Analysen wurden aus den Taxa-Tabellen Zooplankter mit einer Übereinstimmung von mindestens COI ≥ 97 % und Phytoplankter mit einer Übereinstimmung von mindestens ASV ≥ 98 % selektiert.

#### **Methodische Untersuchungen zur DNA-Methode – Primervergleich Phytoplankton**

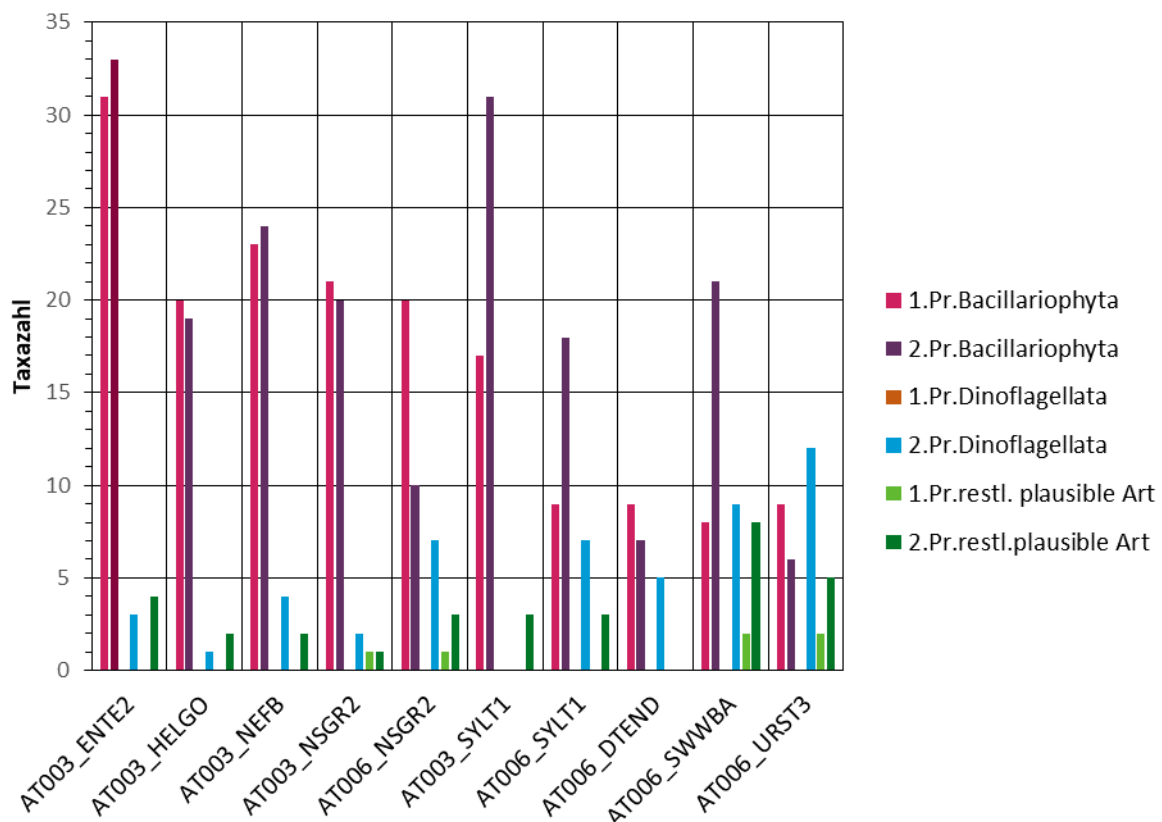
Die Phytoplankton DNA-Analysen der ersten beiden iMonEP-Ausfahrten (AT003 und AT006) in 2021 ergaben Taxalisten, die ausschließlich Diatomeenarten enthielten. Daher wurden für die weiteren Ausfahrten die Primer gewechselt (s. o.) und die beiden verwendeten Primer untereinander, aber auch mit den klassischen Zählraten, verglichen.

An 10 Stationen (jeweils 5 pro Reise) der ersten beiden iMonEP-Fahrten wurden aus denselben Probenauflüssen zwei Primer verwendet. Die Ergebnisse sind vergleichend gegenübergestellt. Für den Vergleich der beiden Primer wurde wie folgt vorgegangen:

- ▶ Die Taxa wurden auf Plausibilität geprüft. Die Kriterien für eine ‚plausible Art‘ waren, dass die Art in der Nordsee vorkommt und zum Phytoplankton gezählt wird. Das wurde mit der Arbeit von Kraberg et al. 2019 und mithilfe von WoRMS (WoRMS Editorial Board 2024). 2024 und AlgaeBase (Guiry & Guiry 2024) überprüft. Arten, die im Mittelmeer, westlich von Großbritannien und Portugal und Spanien vorkommen, wurden als ‚nicht plausibel‘ gewertet.
- ▶ Für den direkten Vergleich zwischen den Primern und den Zählungen wurden nur die plausiblen Taxa, die bis zur Art bestimmt wurden, berücksichtigt.
- ▶ Die iMonEP-Fahrten waren AT003 (März 2021) und AT006 (Juli 2021).

Mit dem 2. Primer werden an 9 von 10 Stationen mehr plausible Arten detektiert, als mit dem 1. Primer. Das liegt zum größten Teil an den Dinoflagellata-Arten, die ausschließlich der 2. Primer detektiert, während bei den Bacillariophyta-Arten (Diatomeen) mal mit dem 1. und mal mit dem 2. Primer mehr Arten nachgewiesen werden (Abbildungen A-37 und A-38).

**Abbildung A-37: Primervergleich Proben März (AT003) und Juli/August (AT006) 2021**



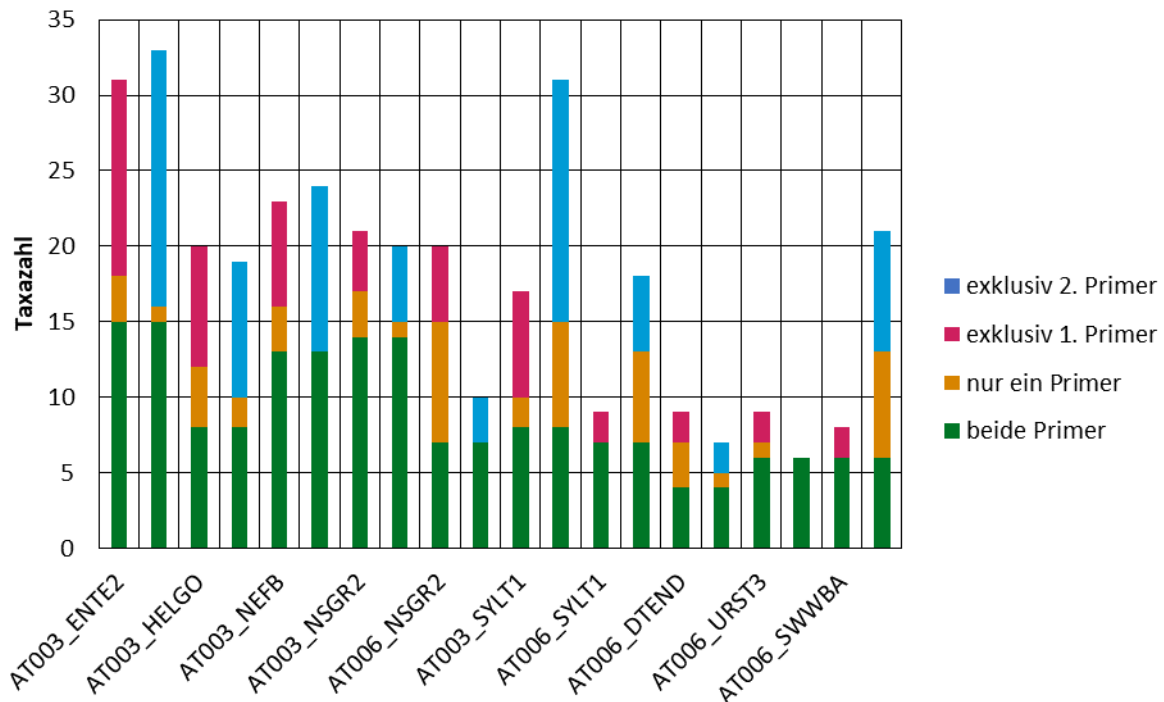
Anzahl der plausiblen detektierten Arten durch den 1. Primer (1.Pr.) und 2. Primer (2.Pr.) an den 10 Vergleichsstationen.  
Quelle: eigene Darstellung, BSH.

Da der 1. Primer ausschließlich Diatomeen detektiert hat, konnten beide Primer nur innerhalb dieser Gruppe verglichen werden. Insgesamt wurden 86 Diatomeen-Arten mit den DNA-Analysen nachgewiesen und davon wurden 32 von beiden Primern, 18 Arten exklusiv nur von dem 1. Primer und 36 exklusiv nur mit dem 2. Primer detektiert.

Von den 32 Arten, die beide Primer detektiert haben, weisen nicht immer beide Primer gleichsam an einer Station eine Art nach (Abbildung A-38). Bei 32 Arten an 10 Stationen können

also 320 Fälle bezüglich der Übereinstimmung verglichen werden: Beide Primer weisen übereinstimmend 193-mal keine der Arten (0-Funde) und 79-mal eine Art nach; der 1. Primer weist 28-mal und der 2. Primer 20-mal alleine eine Art nach. Das heißt in 48 von 320 Fällen (15 %) gab es für die Arten, die beide Primer nachweisen, keine Übereinstimmung.

**Abbildung A-38: Vergleich beiden Primer anhand der Anzahl detektierter Diatomeen-Taxa**



Vergleich der detektierten Diatomeen-Arten an den 10 Stationen; jeweils erster Balken = 1. Primer, jeweils zweiter Balken = 2. Primer; grün = Art von beiden Primer detektiert, grau = die Art wird eigentlich von beiden Primern detektiert, aber an dieser Station nur von einem der beiden Primer, rot = Art nur vom 1. Primer detektiert, blau = Art vom 2. Primer detektiert. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

#### Methodische Untersuchungen zur DNA-Methode – Phytoplankton DNA Probennahme an Bord

Zur Gewinnung der DNA-Phytoplanktonproben an Bord wurden ab 2022 zwei Verfahren angewendet: 1) etwa 2000 mL der Phytoplankton-Mischprobe (0 m bis 10 m Wassertiefe) wurde über ein Sieb mit der Maschenweite von 48 µm gegeben und der Siebrückstand mit 100%igem Ethanol fixiert und 2) zwischen 1000 mL und 2000 mL der Phytoplankton-Mischprobe wurden über einen Glasfaser Whatman Filter (0,7 µm) filtriert und der gesamte Filter ebenfalls mit 100%igem Ethanol fixiert in einem weiteren Probengefäß gelagert. Für die DNA-Analysen wurden diese beiden Probenansätze zusammengeworfen und gemeinsam analysiert. Um für die zukünftigen Beprobungen aussagen zu können, ob das Verfahren so wie bisher durchgeführt werden sollte, oder ob man auf eine dieser beiden Proben verzichten könnte, wurden die beiden Parallelansätze der Proben der Märzausfahrt 2023 mit neun iMonEP-DNA-Stationen getrennt analysiert und die Planktonausbeute der Filterung und der Siebung miteinander verglichen.

Aus der Phytoplankton DNA-Taxaliste wurden die Phytoplankton-Taxa wie folgt ausgewählt:

- Übereinstimmung der ASV  $\geq 99 \%$

- Gelöscht wurden: Apicomplexa, Bigyra, Evosea, Centroplasthelida (Heliozoa), Cercozoa, Choanoflagellata, Ciliophora, Metazoa, Opisthokonta (Fungi), Picozoa, Radiolaria, Telonemia, Streptophyta (Weichweizen und Knoblauch)
- Belassen wurden: Alveolata (Dinoflagellata), Bacillariophyta, Chlorophyta, Cryptophyta, Haptophyta und Orchophyta.
- Von den belassenen Gruppen wurden für die Auswertung nur die plausiblen Arten ausgewählt, d. h. Arten, die von ihrer Verbreitung her auch in der Nordsee vorkommen. Ausnahme ist *Warnowia* sp., die als ‚sp. Art‘ mit aufgenommen wurde, weil dieses Taxon auch so in den Zählproben angegeben wurde.

Es ergaben sich folgende Ergebnisse:

- Nimmt man alle 9 iMonEP-Stationen der Märzreise 2023 zusammen werden insbesondere bei den Dinoflagellata, den Chlorophyta, den Chryptophyta, den Haptophyta und den Orchophyta mit den Filterproben deutlich mehr Arten detektiert als mit den Siebproben (Tabelle A-15). Mit den Filterproben werden 100 % der Arten dieser Gruppen erfasst und mit den Siebproben nur 38 %. Exklusiv auf dem Sieb wurde keine Art gefunden und somit würde man keine Art verpassen, wenn man sich nur auf die Filterproben beschränken würde.
- Auch bei den Bacillariophyta werden mit den Filterproben mehr Arten erfasst, als mit den Siebproben. Allerdings ist der Unterschied etwas geringer als bei den oben genannten Gruppen. Mit den Filterproben werden 96 % der Arten erfasst und mit den Siebproben nur 63 %. Exklusiv auf dem Sieb wurden 2 Arten (4 %) gefunden, die man verpassen würde, wenn man sich nur auf die Filterproben beschränken würde. Das waren die Arten *Coscinodiscus radiatus* und *Chaetoceros protuberans*.

**Tabelle A-15: Vergleich der Anzahl an detektierten Arten zwischen den Filter- und Siebproben, wenn alle 9 iMonEP-Stationen (März 2022) zusammengefasst wurden.**

PP Gruppe	Anzahl Funde plausibler Taxa	Anzahl Funde mit Filter	Anzahl Funde mit Sieb	Anzahl Funde exklusiv mit Sieb
Bacillariophyta	48	46	30	2
Dinoflagellata	26	26	10	0
Chlorophyta	11	11	5	0
Cryptophyta	4	4	1	0
Haptophyta	4	4	3	0
Orchophyta	6	6		0

- Betrachtet man die Arten-Funde an den 9 iMonEP-Stationen einzeln, werden bei den Dinoflagellata, den Chlorophyta, den Chryptophyta, den Haptophyta und den Orchophyta 97 % der Arten-Funde mit den Filterproben erfasst und mit den Siebproben nur 19 % (Tabelle A-16). Exklusiv auf dem Sieb wurden 3 % der Funde erfasst, die man verpassen würde, wenn man sich nur auf die Filterproben beschränken würde.



- Auch bei den Bacillariophyta gibt es mit Filterproben häufiger Arten-Funde, als mit den Siebproben (Tabelle A-16). Allerdings ist der Unterschied etwas geringer als bei den oben genannten Gruppen. Mit den Filterproben werden 86 % der Funde erfasst und mit den Siebproben nur 40 %. Exklusiv gefunden wurden auf dem Sieb 14 % der Funde, die man verpassen würde, wenn man sich nur auf die Filterproben beschränken würde.

**Tabelle A-16: Vergleich der Anzahl an detektierten Taxa zwischen den Filter- und Siebproben, wenn alle 9 iMonEP-Stationen (März 2022) einzeln betrachtet wurden**

PP Gruppe	Anzahl Funde plausibler Taxa	Anzahl Funde mit Filter	Anzahl Funde mit Sieb	Anzahl Funde exklusiv mit Sieb
Bacillariophyta	169	145	68	24
Dinoflagellata	129	121	27	8
Chlorophyta	63	63	10	0
Cryptophyta	23	23	6	0
Haptophyta	23	23	6	0
Orchophyta	31	30	2	1

Der Grund für die höhere Ausbeute an detektierten Taxa in den Filterproben ist die geringe Zellgröße der Dinoflagellata, Chlorophyta Cryptophyta, Haptophyta und Ochophyta, die das Sieb mit der Maschenweite von 48 µm passieren. Einige Bacillariophyta sind größer und einige Taxa bilden Ketten oder Kolonien und werden dadurch im Sieb zurückgehalten, sodass der Unterschied zwischen Sieb- und Filterproben bei dieser Gruppe nicht so groß ist. Der Vergleich zeigt, dass mit den Filterproben nahezu alle Taxa erfasst werden und dass 86 % der Bacillariophyta-Funde und 97 % der Funde der übrigen Gruppen detektiert werden. Für die zukünftige Probennahme an Bord könnte man sich auf das Filtern beschränken, da nur 14 % der Bacillariophyta-Funde und 3 % der übrigen Gruppen-Funde nicht erfasst werden würden. Für das zusätzliche Sieben spräche z. B. die Tatsache, dass sehr große und nicht sehr häufige Arten wie z. B. *Noctiluca scintillans* häufiger durch Siebung, als durch Filterung gefunden wurden.

#### **Zeitlicher und finanzieller Aufwand für die DNA-Analytik und die klassische Zählung**

Der zeitliche und finanzielle Aufwand wird sich zwischen den Anbietern unterscheiden. Hier werden beispielhaft die Angaben zu den Arbeitszeiten und den Kosten von den Firmen, die die Analysen für das iMonEP-Projekt gemacht haben, vergleichend gegenübergestellt. Die klassischen Zählungen wurden von der Firma AquaEcology, Oldenburg und die DNA-Analysen von der Firma biome-id, Wilhelmshaven durchgeführt.

Die DNA-Analyseschritte sind in der Tabelle A-17 aufgelistet. Sie sind gültig für eine mittlere Probenanzahl zwischen 12 und 24 Proben, die parallel analysiert werden können. Es dauert etwa 22 Tage (ca. 4,5 Arbeitswochen) vom Beginn der Analyse im Labor bis die Datentabelle für die 12 bis 24 Stationen mit den Artnamen vorliegt.

**Tabelle A-17: Dauer einer DNA-Analyse**

Tag	Analyseschritte	Zeitbedarf
1. Tag	Vorbereitung der Proben:	

Tag	Analyseschritte	Zeitbedarf
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sortieren und erfassen</li> <li>Homogenisieren</li> </ul>	1 - 2 h 3 - 4 h
2. Tag	Lyse	Ca. 24 h
3. Tag	DNA Extraktion PCR und Kontrolle	3 - 4 h 2 - 4 h
4. Tag	PCR Wiederholungen maximal 4 Wiederholungen, pro Wiederholung 2 - 4 h.	8 - 16 h
5. Tag	Aufreinigung PCR-Produkte Index PCR, Kontrolle und Aufreinigung	2 h 6 - 8 h
6. Tag	Library-Erstellung Bestellung Sequenzierung und Probenversand	2 - 4 h 1 - 2 h
7. bis 20. Tag	Die NGS-Sequenzierung dauert in der Regel 14 Tage bis die Rohdaten zum Download bereitstehen. Das variiert von Anbieter zu Anbieter.	u. U. 14 Tage
21. Tag	Bioinformatische Analyse der Rohdaten	8 h
22. Tag	Bericht und MOTU-Table	6 - 8 h

Die Angaben gelten für einen mittleren Probensatz mit 12-24 Proben und basieren auf den Erfahrungen der Firma biome-id, die für das iMonEP-Projekt die DNA-Analysen durchgeführt hat.

Der zeitliche Bedarf für die Auswertung der Phyto- und Zooplanktonproben ist für die klassische Zählung geringer als für die DNA-Analyse (Tabelle 10). Die DNA-Analyse dauert etwa 22 Tage, wobei 12 - 24 Proben parallel analysiert werden. Bei der klassischen Zählung ist die Analysedauer abhängig von der Probe (Menge der Zellen und Artenzusammensetzung) und man rechnet pro Probe für das Phytoplankton zwischen 1,5 h und 3 h (d. h. ca. 66 Proben 22 Tagen) und für das Zooplankton 3 h bis 6 h (d. h. ca. 44 Proben in 22 Tagen). Neben der Artenanalyse werden bei der klassischen Zählung die Taxa vermessen und bei einigen Arten zusätzlich die Entwicklungsstadien bestimmt; diese Informationen können aus den DNA-Analysen nicht abgeleitet werden.

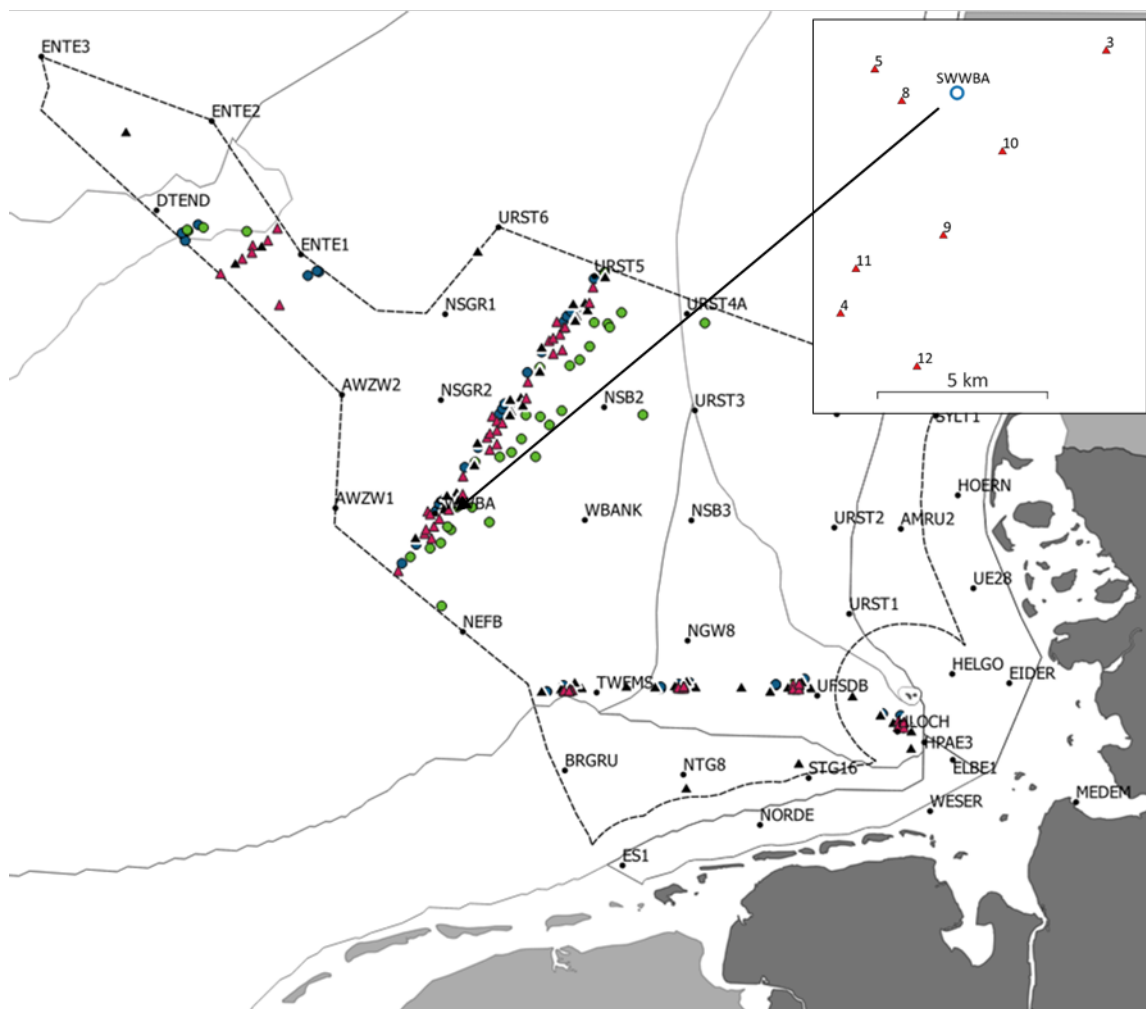
Der finanzielle Aufwand für die DNA-Analysen und klassischen Zählungen ist für die Phytoplanktonproben vergleichbar, während für die klassische Zooplankton-Zählung die Kosten um knapp 60 % höher (155 €) sind, als für die DNA-Analyse (Tabelle 10).

### A.3.2 Daten des Continuous Plankton Recorder (CPR)

#### Direkter Vergleich Zählproben vs. CPR-Daten:

Ein Vergleich der Zählproben mit den CPR-Daten konnte nicht mit den iMonEP-Planktondaten, durchgeführt werden, weil, wie oben schon erwähnt, die CPR-Untersuchungsroutine im Verzug ist, sodass eine Datenlieferung erst mit zweijähriger Verzögerung erfolgt (Birgit Heyden, pers. comm.). Daher wurde der Methodenvergleich mit den Daten von 2008 der BSH/IOW-Beprobungen von 2008 - 2011 an der Station SWWBA durchgeführt. Daten gab es aus den Monaten April, Mai, August und Oktober in denen sowohl klassische Zählungen als auch CPR-Daten zur Verfügung stehen (Abbildung A-39). Die Station SWWBA wurde ausgewählt, weil CPR-Daten aus direkter Nachbarschaft zu der Station verfügbar waren. Die ermittelte Taxazahl der klassischen Zählungen ist etwa 10mal höher als die durch die Datenerhebung mit dem CPR (Tabelle A-18). Ein weiterer Unterschied ist die Aufschlüsselung der Entwicklungsstadien einiger Taxa in der klassischen Analyse.

**Abbildung A-39: Vorhandene CPR-Daten zwischen 2008 und 2011**



Positionen der CPR-Stationen und BSH-Routinemonitoringstationen = schwarze Sterne für den Vergleichszeitraum 2008 - 2011. Der Kasten stellt vergrößert die Positionen der Station SWWBA und die CPR-Vergleichsstationen sowie den Monat der Probenahme dar. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Tabelle A-18: Zooplanktonfunde in der klassischen Zählung vs. CPR-Daten**

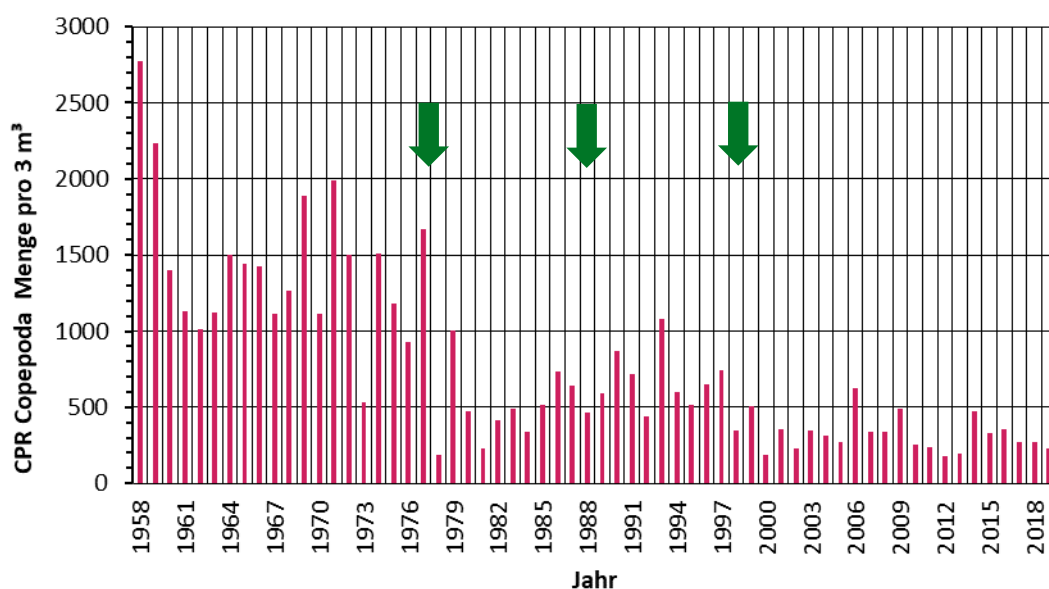
Monat	BSH/IOW	CPR
April 2008	36 Taxa	3 Taxa ( <i>Temora longicornis</i> , <i>Calanus helgolandicus</i> ), Chaetognatha) mengenmäßig häufige <i>Oithona</i> nicht erfasst
Mai 2008	35 Taxa <i>Acartia</i> sp. nur vom CPR erfasst	4 Taxa ( <i>Temora longicornis</i> , Decapoden- und Echinodermata-Larven, <i>Acartia</i> sp.), mengenmäßig häufige <i>Oithona</i> nicht erfasst
August 2008	32 Taxa	2 Taxa ( <i>Temora longicornis</i> , Decapoden-Larven)
Oktober 2008	32 Taxa	1 Taxa (Para-Pseudocalanus spp.)

Anzahl der gefundenen Zooplanktontaxa in der klassischen Zählung (BSH/IOW) im Vergleich zu den CPR-Daten um die Station SWWBA in 2008.

### Langfristige der CPR-Daten:

Da sich die Ergebnisse der Daten aus den klassischen Zählproben und vom CPR-Daten nicht direkt vergleichen lassen (s. o.), wurden die CPR-Langzeitdaten in sich ausgewertet. Die Analyse der vorhandenen CPR-Daten ergab, dass hauptsächlich für das COMP4-Gebiet „Eastern North Sea“ durchgängig viele Daten vorhanden sind. Daher wird das Gebiet „Eastern North Sea“ genauer analysiert. Von 1958 bis 2019 nimmt die Anzahl der Copepoden deutlich ab (Abbildung A-40). In dieser Abbildung ist die mittlere Summe aller gezählten Copepoden pro Jahr dargestellt, wobei erst der Mittelwert über den Tag, dann über den Monat und anschließend über das Jahr gebildet wurde. Derartige Datenanalysen könnten noch deutlich ausgeweitet werden, z. B. durch die Berechnung der Relation von Warmwasser-Copepoda zu Kaltwasser-Copepoda.

**Abbildung A-40: Copepoda Menge im COMP4-Gebiet „Eastern North Sea“**



Mittlere jährliche Copepoden-Anzahl aus den CPR-Analysen von 1958 bis 2019. Die Pfeile markieren natürliche Regime-Shifts in der Nordsee, die Alvarez-Fernandez et al. (2012) beschreiben, siehe unten. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

Ein Beispiel für eine umfassende CPR-Auswertung gibt es von Alvarez-Fernandez et al. (2012), die im folgenden Abschnitt kurz zusammengefasst ist.

Alvarez-Fernandez et al. (2012) haben CPR-Daten (1970 - 2008) zusammen mit abiotischen Parametern (ozeanographische und atmosphärische Variablen und gelöste Nährstoffe) für die Nordsee ausgewertet, wobei sie in der Nordsee nur zwei Gebiete unterschieden (nördliche Nordsee 55° - 58° N und südliche Nordsee 51° - 55° N). Dargestellt werden in der Publikation aber nur die Ergebnisse für die nördliche Nordsee, da sie mit denen für die südliche Nordsee vergleichbar sein sollen. Es werden folgende Aussagen abgeleitet:

- ▶ Drei Regime-shifts haben im Nordsee-Plankton System um die Jahre 1977, 1988 und 1998, beginnend mit Phytoplankton zum Zooplankton über Nahrungslimitations-Mechanismen, stattgefunden.
- ▶ Zwei weitere Veränderungen wurden um die Jahre 1985 und 1990 identifiziert, die als Periode der Instabilität in den saisonalen Mustern angesehen werden, wobei Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur, Feuchtigkeit und Einfluss des Einstroms von atlantischem Wasser als treibende Kräfte angenommen werden.

- Nach 1977 bis 1984 (kalte Phase): Frühjahrsphytoplankton-Blüte war weniger deutlich und die Biomasse war höher in der 2. Hälfte des Jahres.
- Nach 1984 bis 1988 (Übergangszeit): Kaltwasser-Copepoden und PCI gehen auf die Werte vor der kalten Phase zurück.
- Nach 1988 bis 1998: deutlicher Wechsel von der Kaltwasser-Copepoden dominierten Gemeinschaft zu einem Warmwasser-Plankton dominierten System mit höherer Phytoplankton-Biomasse über das ganze Jahr.
- Nach 1998: der **relative** Anteil der Warmwasser-Copepoden pro Probe nimmt deutlich zu und die Gesamtzahl der Copepoden nimmt, aufgrund der abnehmenden Anzahl an neritischen Copepoden, ab. Als Erklärung für die Abnahme an neritischen Copepoden wird die gleichzeitig beobachtete Abnahme an Dinoflagellaten gesehen, die die Hauptnahrung für einige dieser Copepoden darstellen.

## A.4 Bewertung der Lage Eignung der Monitoringstationen

### A.4.1 Lage der iMonEP-Stationen im Vergleich zu den Vorgaben von OSPAR

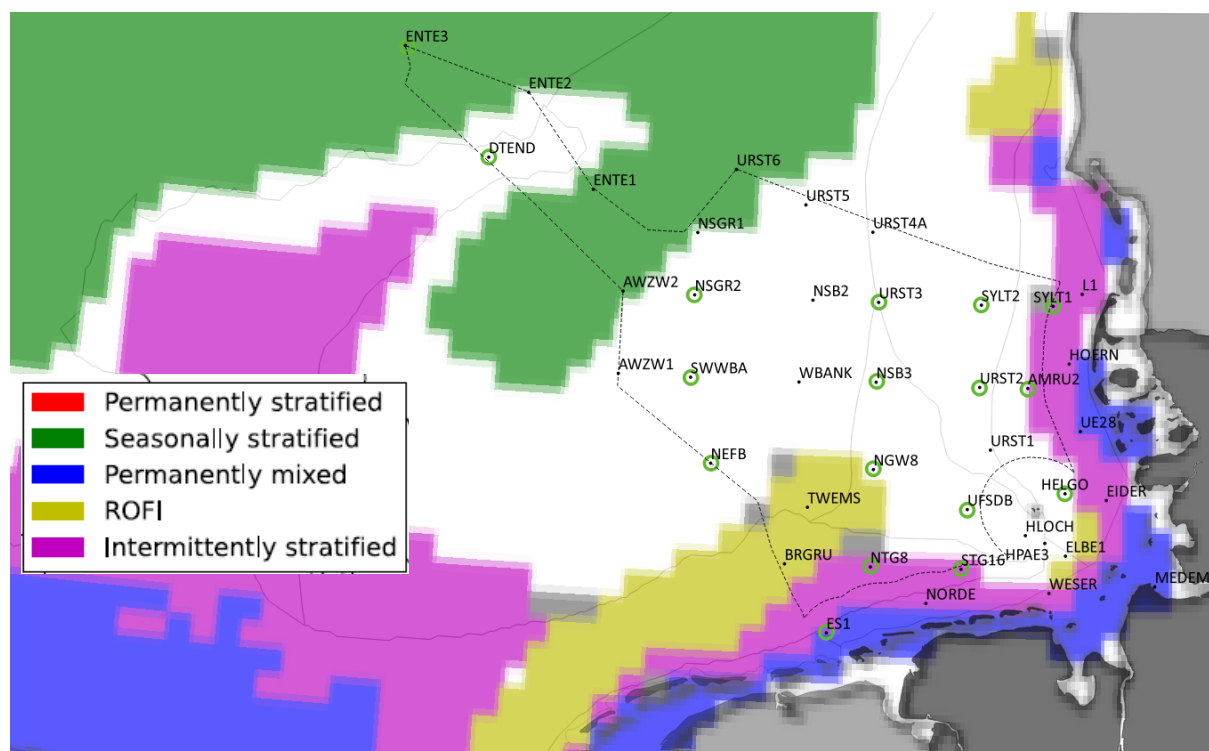
Die 17 iMonEP-Projektstationen sind Teilmenge des bestehenden BSH-Routinemonitorings und wurden so lokalisiert, dass alle COMP4-Gebiete mit Stationen abgedeckt sind. Während die Zuordnung zu den von OSPAR definierten Gebieten eindeutig erscheint, zeigt die Abbildung A-41 (modifiziert aus van Leeuwen et al. (2015)), dass der größte Teil der Deutschen Bucht bezüglich der Ausbildung der Schichtungen hoch variabel ist. Von den 17 iMonEP-Stationen liegen nur vier inmitten von eindeutig (stabil) definierten Gebieten: ENTE3 (saisonal geschichtet) und die Stationen SYLT1, NTG8 und STG16 (unregelmäßig geschichtet). Die Station ES1 liegt auf der Grenze zwischen permanent durchmischt und unregelmäßig gemischt. Die restlichen 12 Stationen liegen in variablen Bereichen.

Für die 17 iMonEP-Stationen wurden mithilfe von Modellrechnungen (Fabian Schwichtenberg, BSH) die jeweiligen Schichtungsverhältnisse für vier Jahre (2018 bis 2021) berechnet und untersucht, ob sie den jeweiligen Charakterisierungen der COMP4-Gebiete entsprechen (Tabelle A-19). Von einzelnen Ausnahmen abgesehen entsprechen die Schichtungsverhältnisse der meisten Stationen den OSPAR-Beschreibungen für die jeweiligen COMP4-Gebiete. Die Ausnahmen sind die Stationen

- DTEND, die im Gebiet Dogger Bank liegt und permanent gemischtes Wasser haben soll, aber an der nach den Modellrechnungen regelmäßig längerfristige Schichtungen auftreten.
- NEFB, die saisonal geschichtet sein soll und an der zwar saisonale Schichtungen auftreten, die aber immer wieder durchbrochen werden.

Die Station URST3 liegt ziemlich genau auf der Grenze von zwei, eher drei Bewertungsgebieten („Eastern North Sea“, „German Bight central“ und „Outer coastal DEDK“ (früher „Coastal offshore“)). Die Grenzlage führt dazu, dass die Station nicht eindeutig zu einem COMP4-Gebiet zugeordnet werden kann, und sie wird durch die benachbarten COMP4-Gebiete beeinflusst.

**Abbildung A-41: Regionen der Nordsee basierend auf der Dichteschichtung**



Modifiziert nach van Leeuwen et al. 2015 mit den BSH-Monitoringstationen (schwarze Punkte) und den iMonEP-Stationen (georeferenziert, grüne Ringe); basierend auf der Dichteschichtung, modellierte mittlere jährliche Regionen in der Nordsee, (für Farbgebung vergl. Legende, ROFI = Region of Freshwater Influence). Weiße Gebiete: das dominante Regime kommt in weniger als 50% der Zeit vor. Quelle: modifiziert nach van Leeuwen et al. 2015.

**Tabelle A-19: Schichtungsverhältnisse der COMP4-Gebiete im Vergleich zu Modellberechnungen**

COMP4-Gebiet	iMonEP-Stationen	Beschreibung der Bewertungsgebiete nach OSPAR (2020-07-27)	Übereinstimmung mit Modellrechnungen (2018 bis 2021)	Vergleich mit van Leeuwen et al. 2015
Northern North Sea	ENTE3	Seasonally stratified waters deeper than 35 m	Ja, Schichtung von April bis Dezember	saisonal geschichtet
Dogger Bank	DTEND	Permanently mixed waters less than 35 m deep in the Dogger Bank area.	Nein, Schichtung von Mai bis September mit einzelnen Unterbrechungen	variabel
Eastern North Sea	NSGR2 SWWBA NEFB	Seasonally stratified, east of the Dogger Bank, West of the 35m depth contour and the 34 psu contour.	Ja: NSGR2 und SWWBA können in den Jahren als saisonal stratifiziert eingestuft werden, Ja-Nein: NEFB nicht eindeutig.	variabel
German Bight central	(URST3) NGW8 UFSDB NSB3	Seasonally stratified waters deeper than 35 m.	Ja: Die Stationen können als saisonal stratifiziert eingestuft werden. Schichtungen treten zwischen Januar und Dezember immer wieder auf, allerdings sind die Perioden mit	variabel

COMP4-Gebiet	iMonEP-Stationen	Beschreibung der Bewertungsgebiete nach OSPAR (2020-07-27)	Übereinstimmung mit Modellrechnungen (2018 bis 2021)	Vergleich mit van Leeuwen et al. 2015
			Schichtung im Sommer am längsten (April bis September). Die Station URST3 liegt genau auf der Grenze zu dem COMP4-Gebiet „Outer coastal DEDK“ (früher „Coastal offshore“) und gehört anhand der modellierten Salinitätswerte > 34 psu und der Ausbildung von Schichtungen eher zu dem Gebiet „German Bight central“.	
Outer coastal DEDK (früher Coastal offshore)	(URST3) URST2 SYLT2	Coastal waters along the coast of DE and DK. The inner salinity contour is 32 psu and the outer boundary 34 psu.	Ja: Keine Schichtung. Die Station URST3 liegt genau auf der Grenze zu dem COMP4-Gebiet „Outer coastal DEDK“ (früher „Coastal offshore“) und gehört anhand der modellierten Salinitätswerte > 34 psu und der Ausbildung von Schichtungen eher zu dem Gebiet „German Bight central“.	variabel
Ems plume	ES1	Plume of the Ems river. The landward boundary is the WFD water bodies, the outer boundaries are defined by the 32 psu salinity contour.	Ja: Die Schichtung wurde nicht berechnet, da die Station zu flach ist. Die Abgrenzung des Gebietes wird ohne die Schichtungsverhältnisse vorgenommen.	Grenze zwischen permanent gemischt und Region unter Süßwasser-einfluss
Elbe plume	HELGO AMRU2 SYLT1	Plume of the Elbe river. The landward boundary is the WFD water bodies, the outer boundaries are defined by the 32 psu salinity contour.	Ja: Die Schichtung wurde nicht berechnet, da die Station zu flach ist. Die Abgrenzung des Gebietes wird ohne die Schichtungsverhältnisse vorgenommen	AMRU2 und HELGO variabel bzw. Grenze zu unregelmäßig geschichtet; SYLT1 unregelmäßig geschichtet
Southern North Sea	NTG8 STG16	Mostly less than 35 m deep, permanently mixed.	Ja: kurzfristige Schichtungen können aber auftreten	Permanent durchmischt

Gegenüberstellung der Beschreibungen der OSPAR-COMP4-Gebiete mit den mit dem BSH-Modell berechneten Ergebnissen für die Schichtungen (Fabian Schwichtenberg, BSH) und mit den definierten Regionen nach van Leeuwen et al. (2015); kursiv = die Station entspricht nicht eindeutig der Gebietsbeschreibung nach OSPAR, Klammer = Station, liegt auf Gebietsgrenzen und ist daher nicht eindeutig zuzuordnen.

#### A.4.2 Bewertung der Eignung der Lage der BSH-Routinemonitoringstationen

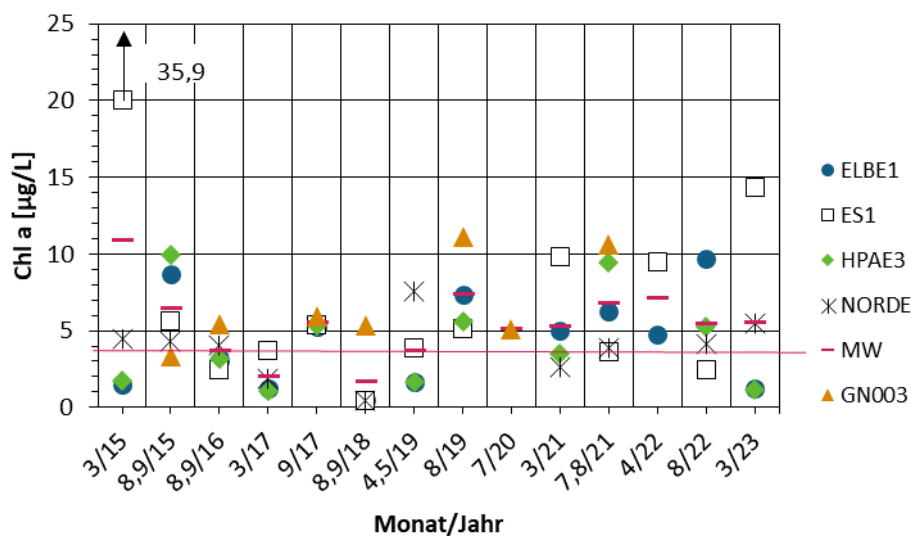
Im folgenden Abschnitt werden für Chl a, DIN und die PO<sub>4</sub> einzelnen Stationsmesswerte der BSH-Messungen in fünf COMP4-Gebieten zwischen 2015 und 2023 dargestellt. Für die Zuordnung der Stationsnamen siehe Abbildung 7.



## Chlorophyll

**Ems plume:** Bei einer insgesamt hohen Streuung der Werte mit Variationskoeffizienten zwischen 6 % und 154 % während eines Probennahmezeitpunktes liegt der Großteil der Stationen oberhalb des Zielwertes (Abbildung A-42). Keine Station weist immer die höchsten oder die niedrigsten Konzentrationen, sodass die Lage der Stationen als geeignet angesehen werden kann.

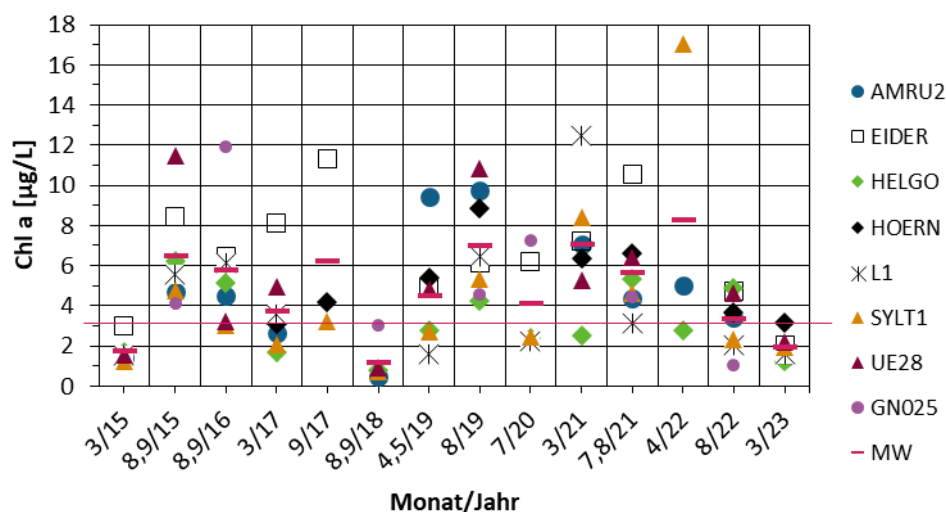
**Abbildung A-42:** In-situ Chl a-Messwerte seit 2015 bis Januar 2023 „Ems plume“



BSH Chl a-Messwerte zwischen 2015 und 2023 an den Stationen im COMP4-Gebiet „Ems plume“ im Bewertungszeitraum; rote Linie = Zielwert 3,7 µg/L; MW = Mittelwert. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Elbe plume:** Bei einer insgesamt hohen Streuung der Werte mit Variationskoeffizienten zwischen 24 % und 93 % während eines Probennahmezeitpunktes liegen meist alle Stationen oberhalb des Zielwertes (Abbildung A-43). Keine Station weist immer die höchsten oder die niedrigsten Konzentrationen, sodass die Lage der Stationen als geeignet angesehen werden kann.

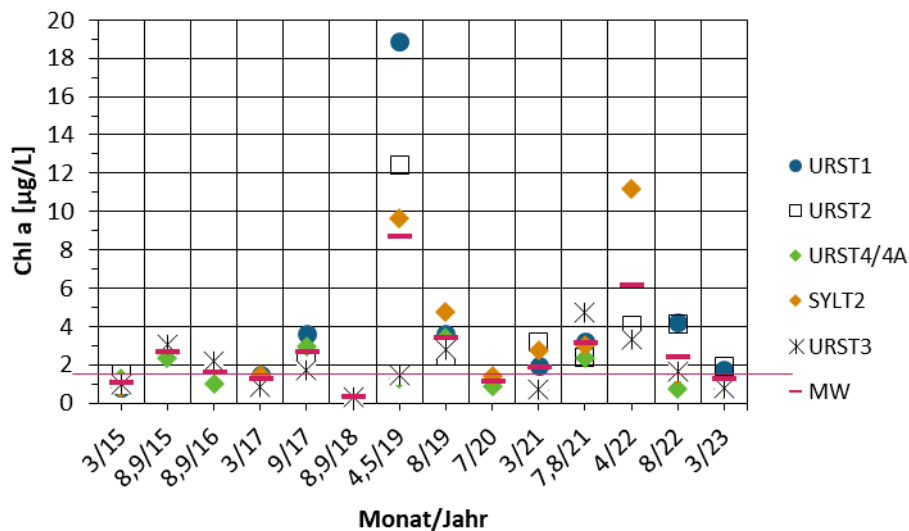
**Abbildung A-43:** In-situ Chl a-Messwerte seit 2015 bis Januar 2023 „Elbe plume“



BSH Chl a-Messwerte zwischen 2015 und 2023 an den Stationen im COMP4-Gebiet „Elbe plume“ im Bewertungszeitraum; rote Linie = Zielwert 3,7 µg/L; MW = Mittelwert. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Outer coastal DEDK:** Bei einer insgesamt hohen Streuung der Werte mit Variationskoeffizienten zwischen 16 % und 86 % während eines Probennahmezeitpunktes haben die Stationen, die dichter an der Küste liegen (URST1, URST2 und SYLT2), meist höhere Chl a-Werte, als die küstenferne Station URSR4/4A, die im nordwestlichsten Bereich des deutschen Teils dieses COMP4-Gebietes liegt (für die Stationsbezeichnung siehe Abbildung 7). Die Station URST3 liegt genau auf der Grenze zu dem COMP4-Gebiet „German Bight central“. Im Mittel liegt die Chl a-Konzentration über dem Zielwert (Abbildung A-44). Die Lage der Stationen kann als geeignet angesehen werden.

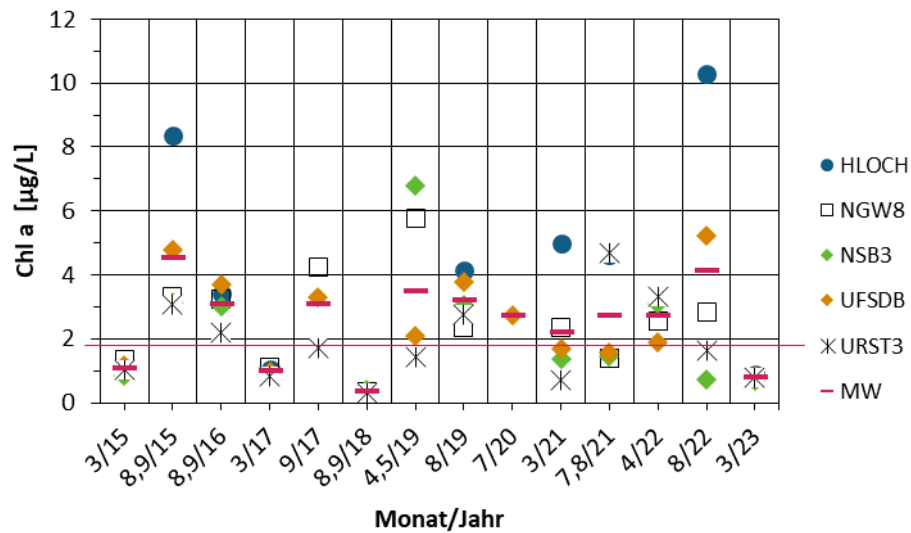
**Abbildung A-44: In-situ Chl a-Messwerte seit 2015 bis Januar 2023 „Outer coastal DEDK“**



BSH Chl a-Messwerte zwischen 2015 und 2023 an den Stationen im COMP4-Gebiet „Outer coastal DEDK“ im Bewertungszeitraum; rote Linie = Zielwert 1,6 µg/L; MW = Mittelwert. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**German Bight central:** Bei einer insgesamt hohen Streuung der Werte mit Variationskoeffizienten zwischen 12 % und 92 % während eines Probennahmezeitpunktes haben die Stationen, die dichter an der Küste liegen (HLOCH und UFSDB) meist höhere Chl a-Werte als die anderen Stationen (für die Stationsbezeichnungen siehe Abbildung 7). Die Station URST3 liegt genau auf der Grenze zu dem COMP4-Gebiet „Outer coastal DEDK“. Im Mittel liegt die Chl a-Konzentration über dem Zielwert (Abbildung A-45). Die Lage der Stationen kann als geeignet angesehen werden.

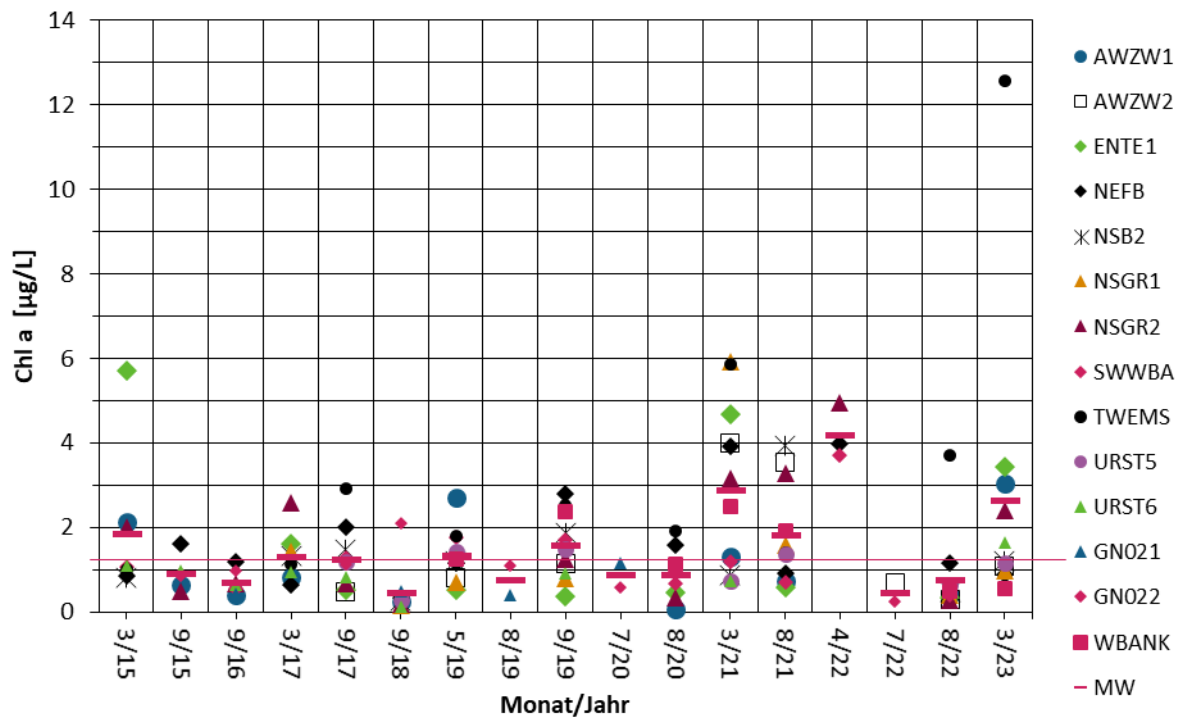
**Abbildung A-45: In-situ Chl a-Messwerte seit 2015 bis Januar 2023 „German Bight central“**



BSH Chl a-Messwerte zwischen 2015 und 2023 an den Stationen im COMP4-Gebiet „German Bight central“ im Bewertungszeitraum; rote Linie = Zielwert 1,9 µg/L; MW = Mittelwert. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Eastern North Sea:** Bei einer insgesamt hohen Streuung der Werte mit Variationskoeffizienten zwischen 15 % und 134 % während eines Probennahmezeitpunktes fällt insbesondere die Station TWEMS auf, die an 9 der 11 Proben mit die höchsten Chl a-Konzentrationen aufwies, (für die Stationsbezeichnungen siehe Abbildung 7), während alle anderen Stationen um den Zielwert fluktuierten und mal höher und mal niedriger als der Zielwert waren (Abbildung A-46). Die Lage der Stationen kann als geeignet angesehen werden, wenngleich die Station TWEMS mit den sehr hohen Werten etwas rausfällt.

**Abbildung A-46: In-situ Chl a-Messwerte seit 2015 bis Januar 2023**

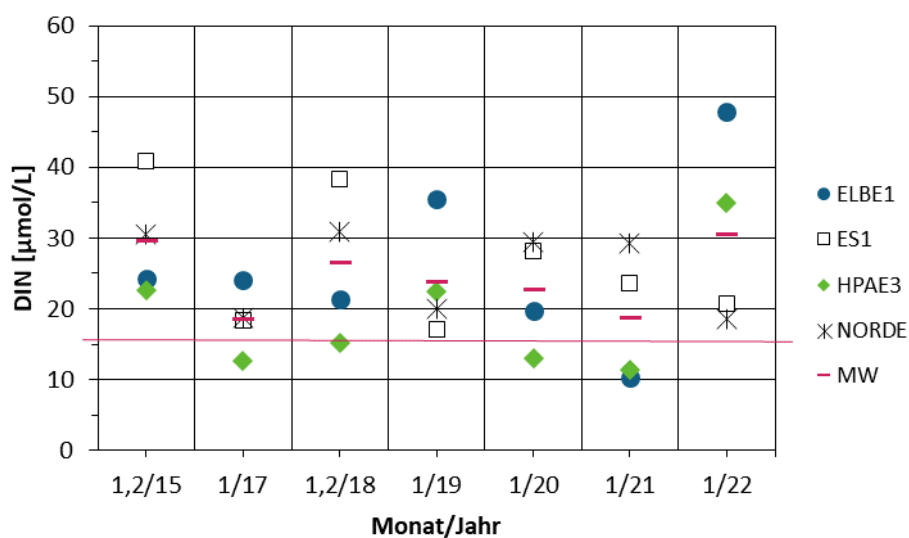


BSH Chl a-Messwerte zwischen 2015 und 2023 an den Stationen im COMP4-Gebiet „Eastern North Sea“ im Bewertungszeitraum; rote Linie = Zielwert 1,2 µg/L; MW = Mittelwert. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

### Nährstoff DIN

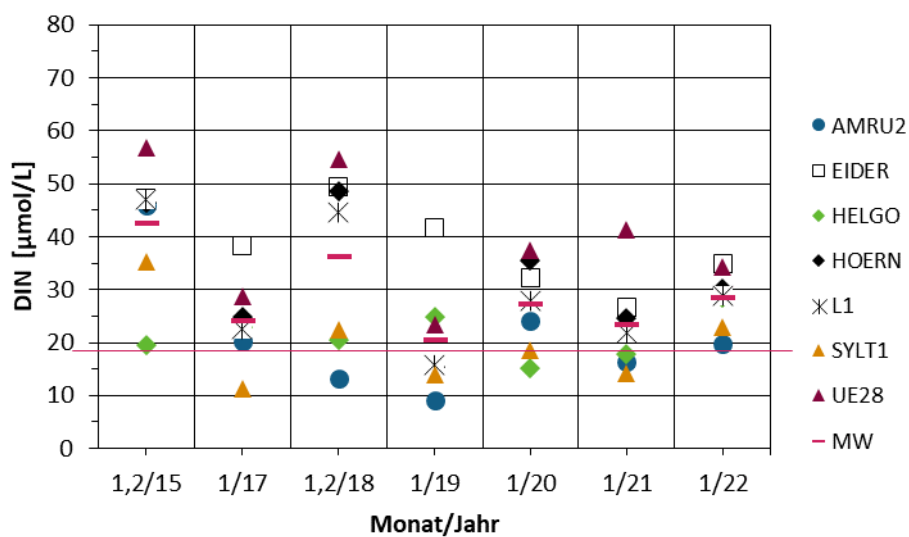
In den COMP4-Gebieten „Ems plume“ (Abbildung A-47) und „Elbe plume“ (Abbildung A-48) liegen die Konzentrationen im Bewertungszeitraum (Dezember bis Februar) aller Stationen meist über dem Zielwert. In den anderen drei COMP4-Gebieten (Abbildungen A-49 bis A-51) haben einzelne Stationen, meist die küstennäheren Stationen, höhere Konzentrationen als die küstenfernen Stationen. Diese Gebiete haben ein Konzentrationsgefälle zur offenen See hin und die Stationen decken die hohen und die niedrigen Konzentrationsbereiche ab. Die Station TWEMS liegt im COMP4 Gebiet „Eastern North Sea“ (Abbildung A-51) und hat immer die höchsten Werte und es stellt sich die Frage, ob die Station nicht eher zu dem Gebiet „German Bight central“ gezählt werden sollte (siehe Kapitel 2.2.6.1).

**Abbildung A-47: In-situ DIN-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Ems plume“**



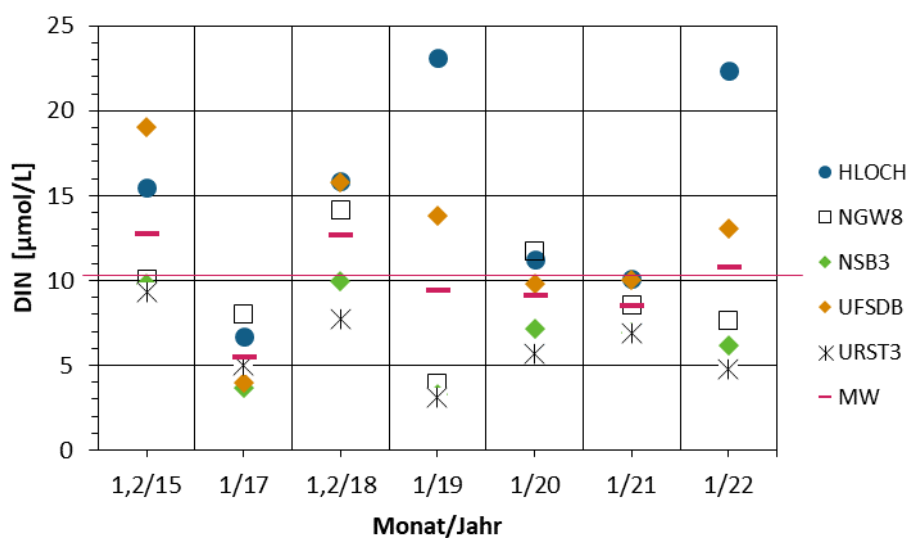
BSH DIN-Messwerte zwischen 2015 und 2022 im Bewertungszeitraum; rote Line = Zielwert 15,1 µmol/L; MW = Mittelwert.  
Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Abbildung A-48: In-situ DIN-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Elbe plume“**



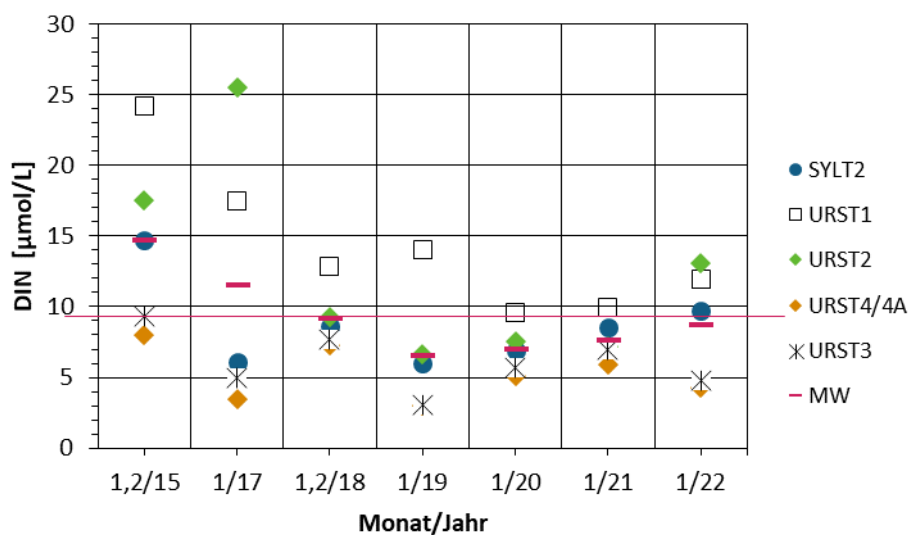
BSH DIN-Messwerte zwischen 2015 und 2022 im Bewertungszeitraum; rote Line = Zielwert 18,2 µmol/L; MW = Mittelwert.  
Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Abbildung A-49: In-situ DIN-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „German Bight central“**



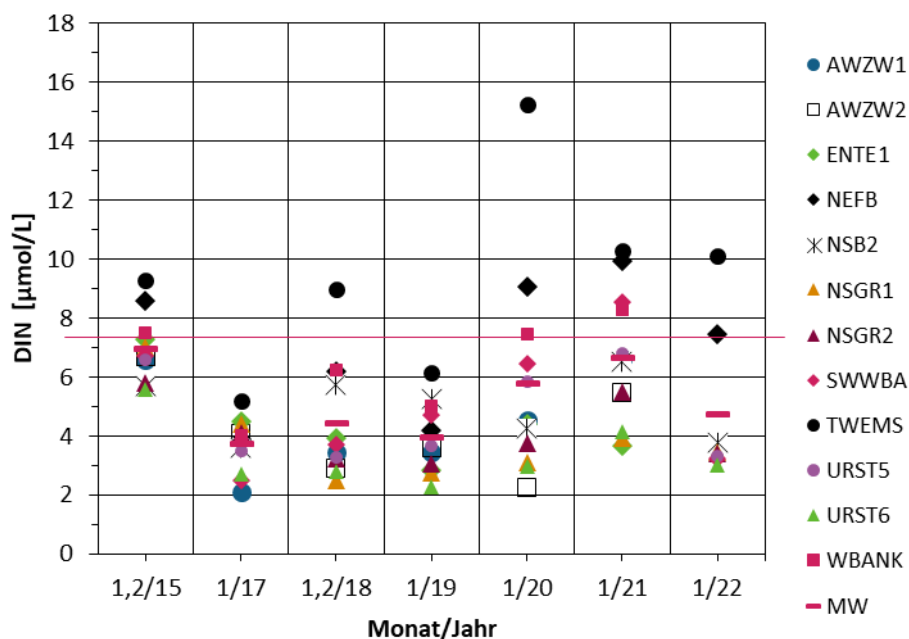
BSH DIN-Messwerte zwischen 2015 und 2022 im Bewertungszeitraum; rote Line = Zielwert 10,2 µmol/L; MW = Mittelwert.  
Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Abbildung A-50: In-situ DIN-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Outer coastal DEDK“**



BSH DIN-Messwerte zwischen 2015 und 2022 im Bewertungszeitraum; rote Line = Zielwert 9,3 µmol/L; MW = Mittelwert.  
Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Abbildung A-51: In-situ DIN-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Eastern North Sea“**

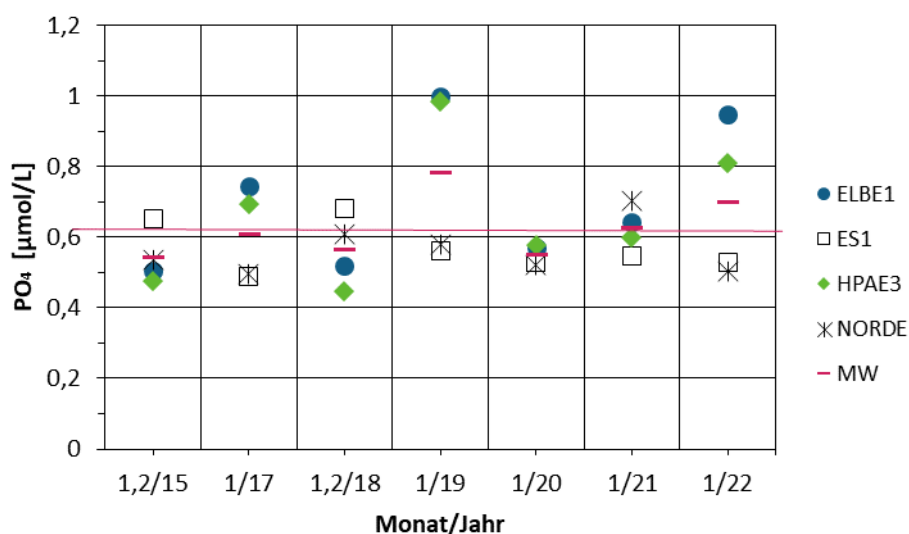


BSH DIN-Messwerte zwischen 2015 und 2022 im Bewertungszeitraum; rote Line = Zielwert 7,3 µmol/L; MW = Mittelwert. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

### Nährstoff Phosphat DIP

In allen fünf COMP4-Gebieten fällt keine Station auf, die immer die höchsten oder niedrigsten Werte hat. Somit sind alle Stationen als Monitoringstationen geeignet (Abbildungen A-52 bis A-56).

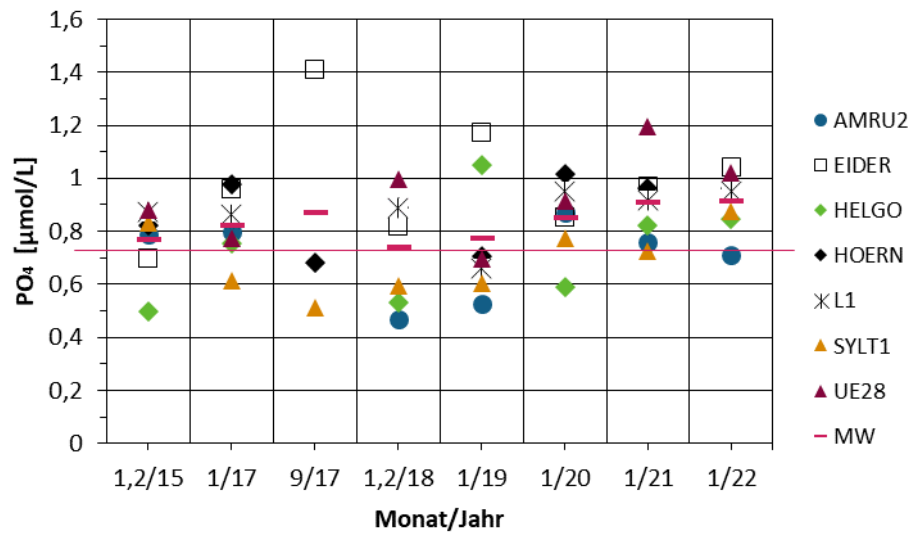
**Abbildung A-52: In-situ PO<sub>4</sub>-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Ems plume“**



BSH PO<sub>4</sub>-Messwerte zwischen 2015 und 2022 im Bewertungszeitraum; rote Line = Zielwert 0,61 µmol/L; MW = Mittelwert. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

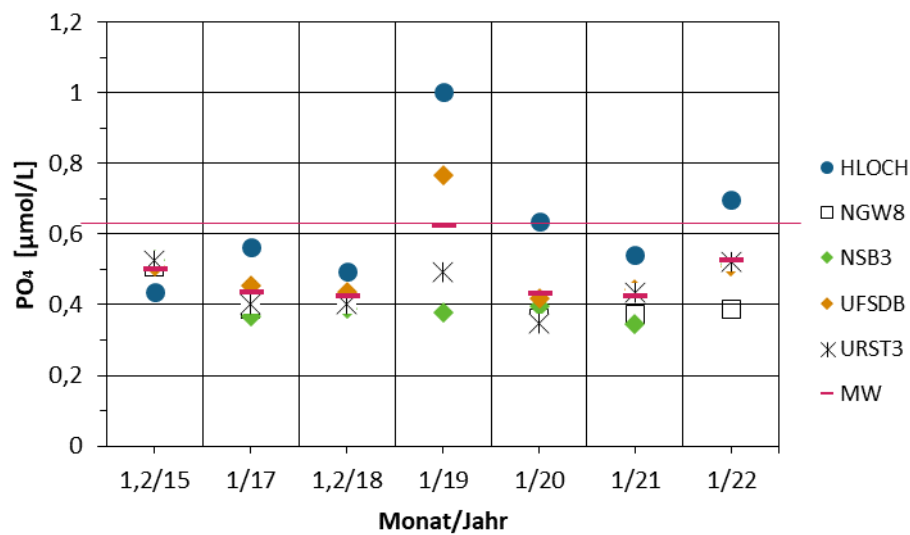


**Abbildung A-53: In-situ PO<sub>4</sub>-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Elbe plume“**



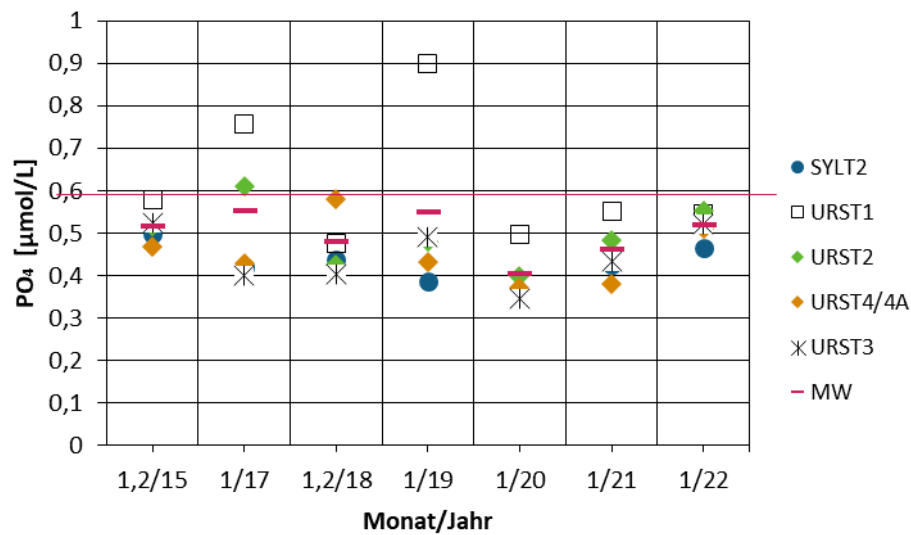
BSH PO<sub>4</sub>-Messwerte zwischen 2015 und 2022 im Bewertungszeitraum; rote Line = Zielwert 0,72 µmol/L; MW = Mittelwert.  
Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Abbildung A-54: In-situ PO<sub>4</sub>-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „German Bight central“**



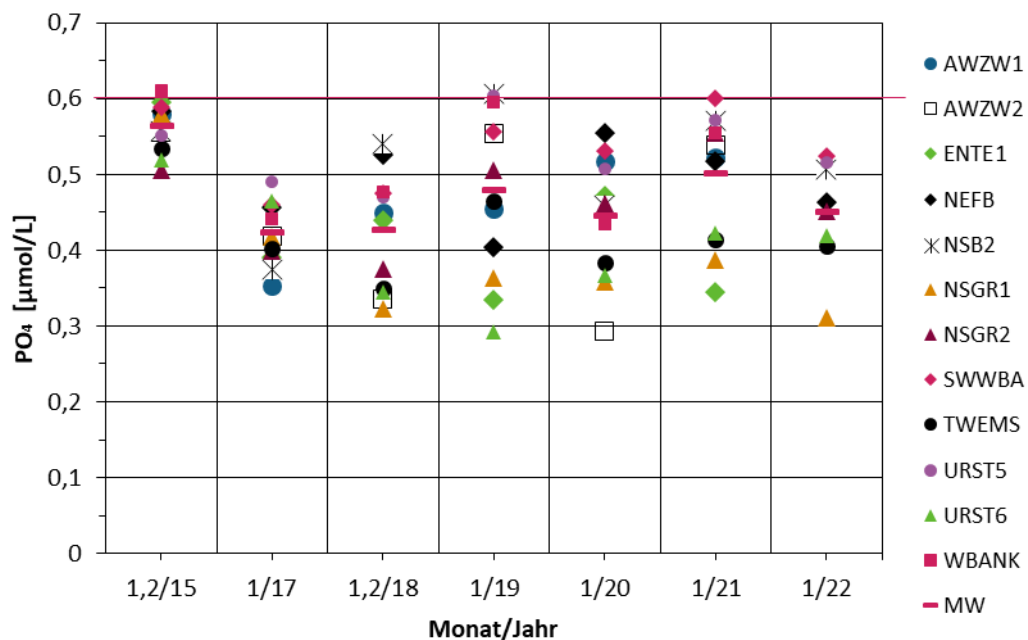
BSH PO<sub>4</sub>-Messwerte zwischen 2015 und 2022 im Bewertungszeitraum; rote Line = Zielwert 0,62 µmol/L; MW = Mittelwert.  
Quelle: eigene Darstellung, BSH

**Abbildung A-55: In-situ PO<sub>4</sub>-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Outer coastal DEDK“**



BSH PO<sub>4</sub>-Messwerte zwischen 2015 und 2022 im Bewertungszeitraum; rote Line = Zielwert 0,59 µmol/L; MW = Mittelwert.  
Quelle: eigene Darstellung, BSH

**Abbildung A-56: In-situ PO<sub>4</sub>-Messwerte seit 2015 bis Januar 2022 „Eastern North Sea“**



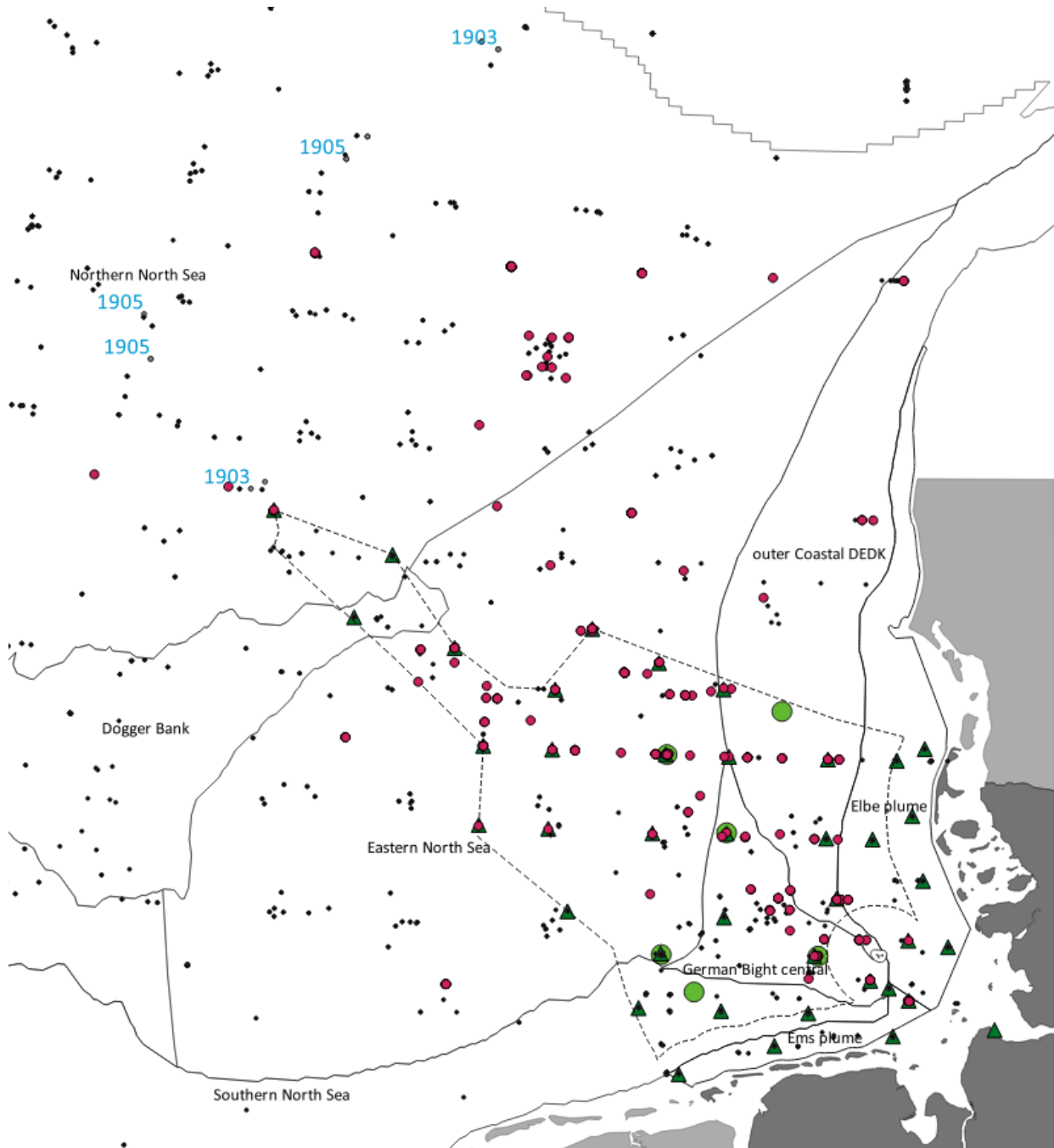
BSH PO<sub>4</sub>-Messwerte zwischen 2015 und 2022 im Bewertungszeitraum; rote Line = Zielwert 0,6 µmol/L; MW = Mittelwert.  
Quelle: eigene Darstellung, BSH

### Sauerstoff

Sauerstoffmangel tritt in der Regel hauptsächlich in den COMP4-Gebieten „Eastern North Sea“, „Northern North Sea“, „Outer coastal DEDK“ und „German Bight Central“ auf (Abbildungen A-57 und A-58). Diese Gebiete sind zwar mit einer ausreichenden Anzahl an BSH-Routinemonitoringstationen abgedeckt, aber es ist eher unwahrscheinlich, dass Sauerstoffmangelsituationen detektiert werden, weil sie sporadisch und meist im Herbst

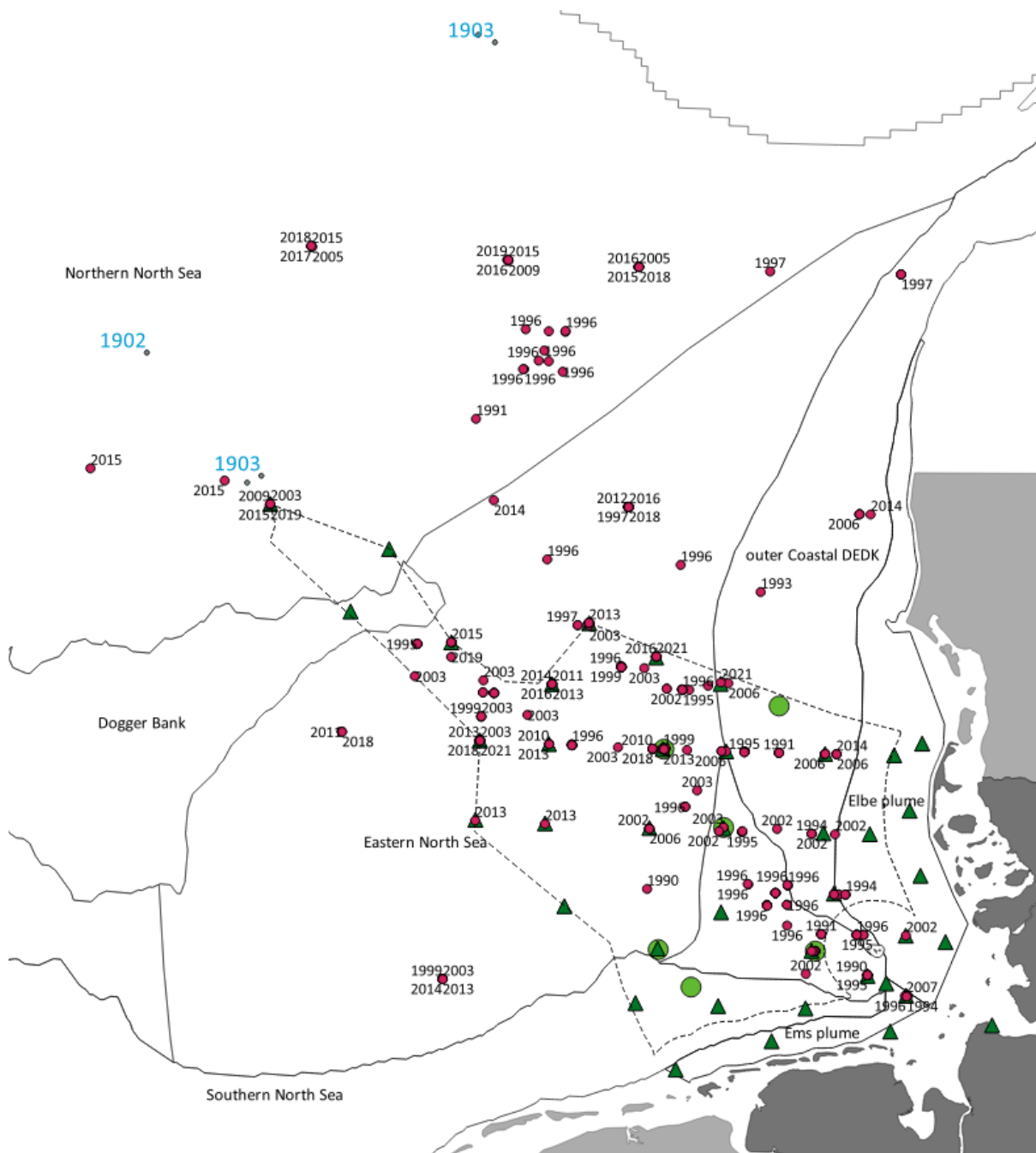
auftreten, wenn keine Routinemonitoringfahrten stattfinden. Die MARNET-Dauermessstationen Nordseeboje 2, Nordseeboje 3, FINO3 und Deutsche Bucht liegen sehr gut positioniert, um die sporadisch auftretenden Sauerstoffdefizite zu detektieren (Abbildungen 3, A-57 und A58). Leider gelangen diese Daten noch nicht in die MUDAB, sodass sie für die COMP4-Bewertung nicht herangezogen werden können.

**Abbildung A-57: Bodensauerstoffkonzentrationen in der Deutschen Bucht seit 1902**



Stationen an denen das BSH seit 1991 in-situ-Sauerstoff gemessen hat, schwarze Punkte = Sättigung > 75 %, rote Punkte = Sättigung ≤ 75 %, grüne Punkte = MARNET-Stationen und grüne Dreiecke = BSH-Routinemonitoringstationen, blaue Zahlen = Jahreszahlen der Sauerstoffmessungen aus Gehrke (1916). Quelle: eigene Darstellung, BSH.

**Abbildung A-58: Bodensauerstoffkonzentrationen  $\leq 75$  % in der Deutschen Bucht seit 1902**



Jahre seit 1991 in denen Sauerstoffmangel (Konzentrationen  $\leq 75$  %) gemessen wurde; grüne Punkte = MARNET-Stationen und grüne Dreiecke = BSH-Routinemonitoringstationen, blaue Zahlen = Jahreszahlen an denen Gehrke (1916) Konzentrationen  $\leq 75$  % bestimmt haben. Quelle: eigene Darstellung, BSH.

### 3 Quellenverzeichnis

- Alvarez-Fernandez, S.; Lindeboom, H.; Meesters, E. (2012): Temporal changes in plankton of the North Sea: Community shifts and environmental drivers. In: *Marine Ecology Progress Series* 462, S. 21-38. <https://doi.org/10.3354/meps09817>
- Balzano, S.; Abs, E.; Leterme, S. C. (2015): Protist diversity along a salinity gradient in a coastal lagoon. In: *Aquatic Microbial Ecology* 74, S. 263-277. <https://doi.org/10.3354/ame01740>
- Blauw, A.N.; Benincà E.; Laane, R.W.P.M.; Greenwood, N.; Huisman, J. (2012): Dancing with the tides: Fluctuations of coastal Phytoplankton orchestrated by Ddfferent oscillatory modes of the tidal Cycle. In: *PLOS ONE* 7(11): e49319. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049319>
- Brüning, T.; Li, X.; Schwichtenberg, F.; Lorkowski, I. (2021): An operational, assimilative model system for hydrodynamic and biogeochemical applications for German coastal waters. In: *Journal of applied Hydrography* HN118, 2, Herausg. Deutsche Hydrographische Gesellschaft, e.V., S. 6-15. <https://doi.org/10.23784/HN118-01>.
- Eren, A. M.; Maignien, L.; Jun, S. W.; Murphy, L. G.; Grim, S. L.; Morrison, H. G.; Sogin, M. L. (2013): Oligotyping: differentiating between closely related microbial taxa using 16S rRNA gene data. In: *Methods in Ecology and Evolution* 4, S. 1111-1119. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12114>
- Gehrke, J. (1916): Über Sauerstoffverhältnisse in der Nordsee. In: *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie*, 44, Berlin, S. 177 – 193.
- Geller, J.; Meyer, C.; Parker, M.; Hawk, H. (2013): Redesign of PCR primers for mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I for marine invertebrates and application in all-taxa biotic surveys. In: *Molecular Ecology Resources* 13, S. 851-861. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12138>
- Kraberg, A.; Kieb, U.; Peters, S.; Wiltshire, K. H. (2019): An updated phytoplankton check-list for the Helgoland Roads time series station with eleven new records of diatoms and dinoflagellates. *Helgoland Marine Research* 73:9. <https://doi.org/10.1186/s10152-019-0528-8>
- Lackschewitz, D.; Reise, K.; Buschbaum, C.; Karez, R. (2022): Neobiota der deutschen Nord- und Ostseeküste 2022; Eingeschleppte Arten in deutschen Küstengewässern. In: *LLUR SH-Gewässer*, ISBN 978-3948918064; pp 394.
- Leray, M.; Yang, J.Y.; Meyer, C.P.; Mills, S.C.; Agudelo, N.; Ranwez, V.; Boehm, J.T.; Machida, R.J. (2013): A new versatile primer set targeting a short fragment of the mitochondrial COI region for metabarcoding metazoan diversity: application for characterizing coral reef fish gut contents. In: *Frontier in Zoology* 10, S. 34. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-10-34>
- MSRL 2008/56/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt (Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie). <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/56/oj>
- OSPAR, (2023): Pelagic Habitats Thematic Assessment. In: *OSPAR, 2023: Quality Status Report 2023*. OSPAR Commission, London. Available at: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/thematic-assessments/pelagic-habitats/>
- Reid, C.; Lancelot, C.; Gieskes, W. W. C.; Hagmeier, E.; Weichart, G. (1990): Phytoplankton of the North Sea and its dynamics: A review. *Netherlands Journal of Sea Research*, Elsevier, 26 (2-4), S. 295- 331. [https://doi.org/10.1016/0077-7579\(90\)90094-W](https://doi.org/10.1016/0077-7579(90)90094-W)

Richardson, A. J.; Walne, A. W.; John, A. W. G.; Jonas, T. D.; Lindley, J. A.; Sims, D. W.; Stevens, D.; Witt, M. (2006): Using continuous plankton recorder data. In: Progress in Oceanography, 2006, 68, Elsevier, S. 27-74. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2005.09.011>

Rognes, T.; Flouri, T.; Nichols, B.; Quince, C.; Mahé, F. (2016): VSEARCH: a versatile open source tool for metagenomics. In: PeerJ, 4e:2584. <https://doi.org/10.7717/peerj.2584>

Van Leeuwen, S.; Tett, P.; Mills, D.; van der Molen, J. (2015): Stratified and nonstratified areas in the North Sea: Long-term variability and biological and policy implications. In: Journal of Geophysical Research: Oceans, 120, S. 4670- 4886. <https://doi.org/10.1002/2014JC010485>.

Wollschläger, J.; Wiltshire, K. H.; Petersen, W.; Metfies, K. (2015): Analysis of phytoplankton distribution and community structure in the German Bight with respect to the different size classes. In: Journal of Sea Research, 99, S. 83-96. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.02.005>

#### Internetadressen

Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (2024): AlgaeBase. World-wide electronic publication, University of Galway. <https://www.algaebase.org> (12.04.2024)

WoRMS Editorial Board (2024). World Register of Marine Species. Available from <https://www.marinespecies.org> at VLIZ. doi:10.14284/170 (12.04.2024)