

TEXTE

144/2026

Abschlussbericht

Bewertung des Eutrophierungszustands der Nordsee und Weiterentwicklung von Indikatoren und Bewertungsansätzen für Eutrophierung und pelagische Habitats unter der Meeresstrategie- Rahmenrichtlinie

von:

Birgit Heyden & Thomas Raabe, AquaEcology GmbH & Co. KG, Oldenburg

Herausgeber: Umweltbundesamt
Umweltbundesamt

TEXTE 144/2026

Ressortforschungsplan

Forschungskennzahl 3719 25 203 0

Abschlussbericht

Bewertung des Eutrophierungszustands der Nordsee und Weiterentwicklung von Indikatoren und Bewertungsansätzen für Eutrophierung und pelagische Habitate unter der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie

von

Birgit Heyden & Thomas Raabe

AquaEcology GmbH & Co KG, Steinkamp 19,
26125 Oldenburg

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
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

AquaEcology GmbH & Co KG
Steinkamp 19
26125 Oldenburg

Abschlussdatum:

Juni 2022

Redaktion:

Fachgebiet II 2.3 Schutz der Meere und Polargebiete
Wera Leujak

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8118>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, September 2026

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

Kurzbeschreibung: Bewertung des Eutrophierungszustands der Nordsee und Weiterentwicklung von Indikatoren und Bewertungsansätzen für Eutrophierung und pelagische Habitate unter der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie

Gemäß den Anforderungen der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) ist die Bewertung des Eutrophierungszustands (Deskriptor 5) und der pelagischen Habitate (Deskriptor 1) erforderlich und sollte in den zwei Arbeitspaketen des hier dargestellten UBA-Projekts für die Nordsee auf regionaler Ebene im Rahmen der Oslo-Paris Konvention (OSPAR) weiterentwickelt werden sowie für die nationale Berichterstattung im dritten Managementzyklus der MSRL für 2024. Die Eutrophierungsbewertung in der Nordsee erfolgt im Rahmen von OSPAR und die dafür abgestimmte Bewertungsmethode der Common Procedure wurde dafür bereits dreimal angewendet. Die bei der Anwendung der Methode festgestellten Probleme und Defizite, insbesondere hinsichtlich der mangelnden Vergleichbarkeit der verschiedenen nationalen Ergebnisse, wurden in der OSPAR-Expertengruppe für Eutrophierung ICG-EUT behandelt. Es waren sowohl eine Weiterentwicklung der Eutrophierungsindikatoren und der integrierten Bewertung als auch Verbesserungen der Bewertungsmethode erforderlich, die den Schwerpunkt der Projektarbeiten darstellten. Dazu gehören neben der Weiterentwicklung von ausgewählten Indikatoren auch methodische Anpassungen zur Bewertung der Vertrauenswürdigkeit und der Skalierung von Bewertungsergebnissen sowie die Operationalisierung eines automatischen Bewertungstools für eine vereinfachte Anwendung und Harmonisierung mit der Eutrophierungsbewertung von HELCOM (Helsinki-Kommission) in der Ostsee.

Für die Bewertung pelagischer Habitate waren ebenfalls Weiterentwicklungen der bei OSPAR verwendeten Indikatoren und des Gesamtbewertungskonzepts erforderlich, um eine verbesserte Zustandsbewertung für die Berichterstattung unter der MSRL im Jahr 2024 zu gewährleisten. Auf regionaler Ebene standen dabei vor allem die Harmonisierung der pelagischen Bewertungsergebnisse auf Basis der verschiedenen Konzepte der OSPAR Indikatoren PH1, PH2 und PH3 und die Integration zu einem Gesamtergebnis im Vordergrund sowie Entwicklungsarbeiten für die Verknüpfung der festgestellten Veränderungen der Planktongemeinschaft mit Belastungen. Weiterentwicklungen für die Ableitung einer pelagischen Zustandsbewertung aus den einzelnen Indikatorergebnissen waren vor allem im Hinblick auf eine bessere Nutzung der regionalen Ergebnisse für die nationale MSRL-Berichterstattung im dritten MSRL-Managementzyklus notwendig, um die bisher ersatzweise vorgenommene Verschneidung von Eutrophierungsindikatoren für die pelagische Habitatbewertung zukünftig zu vermeiden.

Abstract: Assessment of the eutrophication status of the North Sea and further development of indicators and assessment approaches for eutrophication and pelagic habitats under the Marine Strategy Framework Directive.

According to the requirements of the Marine Strategy Framework Directive (MSFD), the assessment of eutrophication status (descriptor 5) and pelagic habitats (descriptor 1) is required and should be further developed in the two work packages of the UBA project presented here for the North Sea at regional level within the framework of the Oslo-Paris Convention (OSPAR) for national reporting in the third management cycle of the MSFD for 2024. Eutrophication assessment in the North Sea is carried out within the framework of OSPAR, and the agreed Common Procedure assessment method has already been used three times. Problems and deficits identified in the application of the method, especially regarding the lack of comparability of the different national results, have been addressed in the OSPAR eutrophication expert group ICG-EUT. Further development of eutrophication indicators and the integrated assessment as well as improvements of the assessment method were necessary, which

represents the focus of the project work. In addition to refining selected indicators, this also includes methodological adjustments for the assessment of confidence and the scaling of assessment results as well as the operationalisation of an automatic assessment tool for a simplified application and harmonisation with HELCOM's eutrophication assessment in the Baltic Sea.

For the assessment of pelagic habitats, further developments of the indicators used in OSPAR, and the overall assessment concept were also necessary to ensure an improved status assessment for reporting under the MSFD in 2024. At the regional level, the main focus was on harmonising the pelagic assessment results based on the different concepts of the OSPAR indicators PH1, PH2 and PH3 and integrating them into an overall result, as well as development work for linking the identified changes in the plankton community to pressures. Further developments for deriving a pelagic status assessment based on the individual indicator results and their trends were necessary, especially with regard to a better use of the regional results for the national MSFD reporting in the third MSFD management cycle in 2024, in order to avoid the previous practice of combining eutrophication indicators for the pelagic habitat assessment in the future.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	14
Abkürzungsverzeichnis.....	16
Zusammenfassung	17
Summary	21
1 Anlass und Ziel	24
2 AP 1: Vorbereitung und Durchführung der 4. Anwendung der OSPAR Common Procedure zur Bewertung des Eutrophierungszustands der Nordsee.....	25
2.1 Bewertungsmethode – Weiterentwicklungen.....	25
2.1.1 Übersicht Common Procedure	25
2.1.2 Bewertungsgebiete	27
2.1.3 Schwellenwerte.....	31
2.1.4 Bewertungsregeln	34
2.1.5 Skalierung der Indikatoren – Klasseneinstufung.....	36
2.1.6 Konfidenzbewertung.....	38
2.1.7 Operationalisierung COMPEAT-Tool	41
2.2 Datengrundlagen	44
2.3 Bewertungsergebnisse offene See – Regionale Anwendung der COMP	48
2.3.1 Nährstoffanreicherung (Kategorie 1)	48
2.3.2 Direkte Effekte (Kategorie 2)	53
2.3.3 Indirekte Effekte (Kategorie 3).....	56
2.3.4 Integriertes Gesamtergebnis	60
2.3.5 Trendentwicklungen.....	61
2.4 Bewertungsergebnisse Küstengewässer – Nationale Anwendung der COMP	63
2.5 Ausblick – Zukunftsanforderungen	65
3 AP 2: Weiterentwicklung von Bewertungsansätzen und Indikatoren für pelagische Habitate der Nordsee	67
3.1 OSPAR PH1 Indikator.....	68
3.1.1 Indikatorkonzept.....	69
3.1.2 Datengrundlagen und Datenanforderungen	74
3.1.3 Regionale Bewertungsergebnisse	76
3.2 OSPAR PH2 Indikator.....	80
3.2.1 Indikatorkonzept.....	81

3.2.2	Datengrundlagen und Datenanforderungen	83
3.2.3	Regionale Bewertungsergebnisse	83
3.3	OSPAR PH3 Indikator	86
3.3.1	Indikatorkonzept	86
3.3.2	Datengrundlagen und Datenanforderungen	88
3.3.3	Regionale Bewertungsergebnisse	88
3.4	Integration der Indikatoren zur Gesamtbewertung	92
3.5	Ausblick – Zukunftsanforderungen	94
4	Quellenverzeichnis	96

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Konzeptioneller Ansatz zur Bewertung der Eutrophierung in allen Kategorien von Oberflächengewässern, der die wesentlichen Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge veranschaulicht. Gemeinsame Indikatoren (Common Indicators) sind in Orange hervorgehoben. 26
Abbildung 2:	Lage der neuen OSPAR-Bewertungsgebiete für Eutrophierung in der Deutschen Bucht. Die alten Bewertungsgebiete der 3. Anwendung der OSPAR Common Procedure (OFFO, OFFI etc.) sind schraffiert dargestellt..... 29
Abbildung 3:	Zuordnung der OSPAR-Bewertungsgebiete zu Gewässerkategorien/pelagischen Biotopklassen für variable Salinität, Küste und Schelf. Die Namen der Bewertungsgebiete mit deutschem Anteil sind Tabelle 1 zu entnehmen..... 30
Abbildung 4:	Konzeptionelles Schema zur Ermittlung von Schwellenwerten in den neuen COMP4-Bewertungsgebieten. 31
Abbildung 5:	Verwendung der von der ICG-EMO Gruppe modellierten Schwellenwerte und die nach oben oder unten vorgenommenen Anpassungen in den verschiedenen COMP4-Bewertungsgebieten. 33
Abbildung 6:	Überblick zu den in der OSPAR Common Procedure angewendeten Integrationsregeln innerhalb der Kategorien 1, 2 und 3 sowie zwischen den drei Kategorien für die Gesamtbewertung. OOA: One-Out-All-Out Integrationsregel. 36
Abbildung 7:	Beziehung zwischen der Einstufung gemäß Common Procedure und der WRRL. 37
Abbildung 8:	Berechnung von EQR-Werten, Klassengrenzen und der Normierung zu EQRS-Werten im Prozess der Eutrophierungsbewertung im COMPEAT-Tool am Beispiel der Berechnungen für Nährstoffe und Chlorophyll-a..... 38
Abbildung 9:	Schema der Konfidenzbewertung im OSPAR COMPEAT-Tool für die Ermittlung der Vertrauenswürdigkeit pro Indikator..... 40
Abbildung 10:	Übersicht zur Gewichtung von Chlorophyll-a in-situ und Satellitendaten (EO=Earth Observation Data) in Abhängigkeit von den Bewertungsergebnissen der räumlichen und zeitlichen Konfidenz der in-situ-Daten..... 40
Abbildung 11:	Säulendiagramm aus COMPEAT für die TN-Konzentrationen im COMP4-Zeitraum 2015-2020 im Gebiet Zentrale Deutsche Bucht. Der gebietsspezifische Schwellenwert für TN ist als schwarze Linie dargestellt. Über den Säulen ist die Anzahl der

	jährlichen Messdaten angegeben sowie die Fehlerbalken der Standardabweichung.....	42
Abbildung 12:	Zustandseinstufung für TN im COMP4-Zeitraum 2015-2020 in den Gebieten, für die gemeinsame Schwellenwerte vereinbart werden konnten. Die blaue Markierung zeigt das Gebiet Zentrale Deutsche Bucht an.....	44
Abbildung 13:	Anzahl der Monitoringdaten für die gemeinsamen Indikatoren (DIN, DIP, Chlorophyll-a (in-situ-Daten), Sauerstoff) im COMP4-Bewertungszeitraum (2015-2020) in den Gebieten, an denen Deutschland einen Anteil hat. Die Gebiete sind nach ihrer Größe aufsteigend von links nach rechts sortiert. Die Anzahl der Monitoringdaten ist über den Säulen der verschiedenen Indikatoren angegeben.....	44
Abbildung 14:	Anzahl der Monitoringdaten für die zusätzlichen Parameter (TN, TP, Sichttiefe) im COMP4-Bewertungszeitraum (2015-2020) in den Gebieten, an denen Deutschland einen Anteil hat. Die Gebiete sind nach ihrer Größe aufsteigend von links nach rechts sortiert. Die Anzahl der Monitoringdaten ist über den Säulen der verschiedenen Indikatoren angegeben.....	45
Abbildung 15:	Vergleich der durchschnittlichen Datenanzahl pro Jahr für DIN-Monitoringdaten zwischen der COMP3- und COMP4-Bewertungsperiode. Die Gebiete sind nach ihrer Größe aufsteigend von links nach rechts sortiert. Die Anzahl der Monitoringdaten ist über den Säulen angegeben.	46
Abbildung 16:	Vergleich der durchschnittlichen Datenanzahl pro Jahr für Sauerstoff-Monitoringdaten zwischen der COMP3- und COMP4-Bewertungsperiode. Die Gebiete sind nach ihrer Größe aufsteigend von links nach rechts sortiert. Die Anzahl der Monitoringdaten ist über den Säulen angegeben.	47
Abbildung 17:	Anzahl der Chlorophyll-a Monitoringdaten für in-situ und Satellitendaten (EO) in den Gebieten mit deutschem Anteil im COMP4-Bewertungszeitraum 2015-2020. Die Gebiete sind nach ihrer Größe aufsteigend von links nach rechts sortiert. Die Anzahl der Monitoringdaten ist über bzw. unter den Säulen der verschiedenen Chlorophyll-a Datentypen angegeben.	48
Abbildung 18:	Bewertungsergebnisse für Winter-DIP im Zeitraum 2015-2020 in den OSPAR-Regionen II, III und IV sowie ein Zoom-In für die zentrale Nordsee. Bewertungsgebiete, in denen aufgrund mangelnder Daten keine DIP-Bewertung möglich war, sind grau dargestellt.	49
Abbildung 19:	Entwicklung der Nährstoffverhältnisse (DIN:DIP) in ausgewählten Gebieten im Zeitraum 1990-2020. Der für	

	COMP3 verwendete Schwellenwert ist zur Orientierung als grüne gestrichelte Linie markiert.	51
Abbildung 20:	Bewertungsergebnisse für Chlorophyll-a-Konzentrationen im Zeitraum 2015-2020 in den OSPAR-Regionen II, III und IV sowie ein Zoom-In für die zentrale Nordsee.	53
Abbildung 21:	Verlauf der Chlorophyll-a Konzentrationen auf Basis von in-situ und Satellitendaten in den Gebieten Elbefahne und Östliche Nordsee im Zeitraum 1990-2020 (Satellitendaten erst ab 1998 verfügbar).	54
Abbildung 22:	Bewertungsergebnisse für bodennahe Sauerstoffkonzentrationen im Zeitraum 2015-2020 in den OSPAR-Regionen II, III und IV sowie ein Zoom-In für die zentrale Nordsee. Bewertungsgebiete, in denen aufgrund mangelnder Daten oder zu großer Tiefe (>500 m) keine Sauerstoffbewertung möglich war, sind grau dargestellt.	56
Abbildung 23:	Gitterzellen basierte Bewertung der bodennahen Sauerstoffkonzentrationen (5th Perzentile) für den COMP4-Bewertungszeitraum 2015-2020. Die Klasseneinstufung basiert auf dem Schwellenwert von 6 mg/l.	57
Abbildung 24:	Verlauf der Sauerstoffkonzentrationen im Gebiet Östliche Nordsee im Zeitraum 1990-2020 (oben) und im COMP4-Zeitraum 2015-2020 (unten).....	59
Abbildung 25:	Übersicht der Bewertungsergebnisse in den Gebieten mit deutschem Anteil für die verwendeten Indikatoren, zusammenfassende Kategorien und das Gesamtergebnis. Die Pfeile zeigen Veränderungen zwischen der COMP3- und COMP4-Periode an: Zunahme der EQRS-Werte > 15%, Abnahme der EQRS-Werte > 15%, keine Veränderung (Zu- oder Abnahme ≤ 15%). Die Farbgebung folgt der fünfstufigen Klasseneinteilung von COMPEAT und bezieht sich auf die aktuellen COMP4-Bewertungsergebnisse.	62
Abbildung 26:	Lebensformen, die im PH1 Indikator für die Bewertung der Veränderungen in der Phytoplankton- und Zooplanktongemeinschaft verwendet werden.....	68
Abbildung 27:	CPR-Routen (i) und die Standorte der Proben aus allen anderen Datensätzen (ii), die für die PH1-Bewertung verwendet werden. Bei (ii) ist die Punktgröße proportional zur Anzahl der an jedem Ort genommenen Proben. Die Punkte sind je nach Vertragsstaat eingefärbt.....	76
Abbildung 28:	Bewertungsergebnisse der acht untersuchten Plankton-Lebensformen im OSPAR-Gebiet, dargestellt über COMP4-Bewertungseinheiten, Festpunktstationen (Kreise) und	

	Flussfahnen (Dreiecke). Die Bewertungseinheiten sind nach den Ergebnissen des Kendall-Trendtests eingefärbt, die das Ausmaß des Anstiegs (> 0) und des Rückgangs (< 0) der Abundanz der Lebensformen im Zeitraum 2015-2019 angeben. Gemusterte Bewertungseinheiten, Fixpunktstationen und Flussfahnen mit einem internen schwarzen Symbol zeigen statistisch signifikante Veränderungen an ($p \leq 0,05$). Weiße Bewertungseinheiten weisen auf unzureichende Daten zur Bewertung eines Trends hin. 76
Abbildung 29:	Bewertungsergebnisse der acht untersuchten Plankton-Lebensformen im OSPAR-Gebiet, dargestellt über COMP4-Bewertungseinheiten, Fixpunktstationen (Kreise) und Flussfahnen (Dreiecke). Die Bewertungseinheiten sind nach den Ergebnissen des Kendall-Trendtests eingefärbt, die das Ausmaß des Anstiegs (> 0) und des Rückgangs (< 0) der Abundanz der Lebensformen im Zeitraum 1960-2019 angeben. Gemusterte Bewertungseinheiten, Fixpunktstationen und Flussfahnen mit einem internen schwarzen Symbol zeigen statistisch signifikante Veränderungen an ($p \leq 0,05$). Weiße Bewertungseinheiten weisen auf unzureichende Daten zur Bewertung eines Trends hin. 77
Abbildung 30:	COMP4-Bewertungseinheiten für acht Plankton-Lebensformen, farblich gekennzeichnet nach der Kategorisierung der wichtigsten Umweltvariablen zur Vorhersage der Abundanz der Lebensformen (siehe Legende). Gemusterte Bewertungseinheiten, Fixpunktstationen und Flussfahnen mit einem internen schwarzen Symbol zeigen eine statistisch signifikante Korrelation zwischen den vorhergesagten und den beobachteten Daten an, was auf eine höhere Zuverlässigkeit der ermittelten Ergebnisse hindeutet. Weiße Bewertungseinheiten zeigen keine Veränderung der Abundanz der Lebensformen oder unzureichende Daten zur Bewertung eines Trends an. Fixpunktstationen und Flussfahnen werden nur angezeigt, wenn ein Trend in der Abundanz der Lebensform vorliegt. 79
Abbildung 31:	Langzeittrends der Abundanz für verschiedene Lebensformen in der Nordsee und im Nordostatlantik..... 80
Abbildung 32:	Entwicklung der Anomalien zwischen dem Bewertungszeitraum (2015-2019) und dem Vergleichszeitraum (1997-2014 für Phytoplankton, 1960-2014 für Zooplankton) für Phytoplankton-Biomasse (links) und Zooplankton-Abundanz (rechts). Schraffierte Flächen zeigen signifikante

	Veränderungen an ($p \leq 0,05$), weiße Flächen weisen auf fehlende oder unzureichende Daten hin.....	84
Abbildung 33:	Wichtigste Einflussfaktoren im Zusammenhang mit Veränderungen der Phytoplankton-Biomasse (links) und der Zooplankton-Abundanz (rechts). Nährstoffe wurden nur für Phytoplankton berücksichtigt, aber nicht für Zooplankton.....	85
Abbildung 34:	Ecological Quality Ratio (EQR) als kontinuierliche Metrik von 0 bis 1 in Bezug auf die Referenzbedingungen. EQR-Werte nahe 0 sind weit entfernt von Referenzbedingungen, während EQR-Werte nahe 1 referenznahen Bedingungen entsprechen.	88
Abbildung 35:	Entwicklung der jährlichen Phytoplankton EQR- β -Werte im Bewertungszeitraum 2015-2019 in den verschiedenen Bewertungsgebieten. Niedrige EQR-Werte sind in gelb und hohe Werte in blau dargestellt. Weiße Bereiche zeigen Gebiete mit unzureichenden Daten für die Bewertung an.....	89
Abbildung 36:	Entwicklung der jährlichen Zooplankton EQR- β -Werte im Bewertungszeitraum 2015-2019 in den verschiedenen Bewertungsgebieten. Niedrige EQR-Werte sind in gelb und hohe Werte in blau dargestellt. Weiße Bereiche zeigen Gebiete mit unzureichenden Daten für die Bewertung an. COMP4-Gebiete mit signifikanter atypischer Zusammensetzung (LCBD- p -Wert $< 0,05$) sind schraffiert dargestellt.	90
Abbildung 37:	Wichtigste Variablen in Bezug auf Veränderungen der Phytoplanktondiversität im Bewertungszeitraum 2015–2019 in den verschiedenen COMP4-Bewertungsgebieten.	91
Abbildung 38:	Wichtigste Variablen in Bezug auf Veränderungen der Zooplanktondiversität im Bewertungszeitraum 2015–2019 in den verschiedenen COMP4-Bewertungsgebieten.	92
Abbildung 39:	Zustandsbewertung pelagischer Habitate in den OSPAR Regionen II, III und IV.....	93

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Neue OSPAR-Bewertungsgebiete (COMP4 Assessment Areas), an denen Deutschland einen Anteil hat und ihre Charakteristika.	28
Tabelle 2:	Neue Schwellenwerte der 4. Anwendung der OSPAR Common Procedure (COMP4) für die Bewertungsgebiete, an denen Deutschland einen Anteil hat. Nährstoffe in $\mu\text{mol l}^{-1}$, Chl-a in $\mu\text{g l}^{-1}$, Sichttiefe in m. Für TN, TP und Sichttiefe wurden Schwellenwerte mit Dänemark für die Gebiete Elbefahne und Äußeres Küstenwasser DEDK vereinbart sowie für die rein deutschen Gebiete Emsfahne und Zentrale Deutsche Bucht festgelegt.	33
Tabelle 3:	Klasseneinteilung der EQRS-Werte. Die Grenze zwischen "gut" und "mäßig" markiert die Grenze zwischen Problem- und Nicht-Problem-Gebieten nach OSPAR und dem guten und nicht-guten Zustand gemäß MSRL.	37
Tabelle 4:	Bewertungsparameter mit parameter-spezifischen Informationen zum Tiefenbereich und der Bewertungssaison wie im COMPEAT-Tool für COMP4 angewendet.	42
Tabelle 5:	Übersicht der Bewertungsergebnisse für die Nährstoffe DIN, DIP, TN und TP im Zeitraum 2015-2020 in den Gebieten mit deutschem Anteil.	50
Tabelle 6:	Integrierte Bewertungsergebnisse für Stickstoff (DIN und TN) und Phosphor (DIP und TP) in der Kategorie 1 für die Nährstoffanreicherung im Zeitraum 2015-2020 in den Gebieten mit deutschem Anteil.	50
Tabelle 7:	Übersicht der Bewertungsergebnisse für Chlorophyll-a im Zeitraum 2015-2020 in den Gebieten mit deutschem Anteil. .	54
Tabelle 8:	Übersicht der Bewertungsergebnisse für Sauerstoff und Sichttiefe und das integrierte Ergebnis für die Kategorie der indirekten Effekte im Zeitraum 2015-2020 in den Gebieten mit deutschem Anteil.	60
Tabelle 9:	Übersicht der Bewertungsergebnisse für die Kategorien der direkten und indirekten Effekte und das integrierte Gesamtergebnis der Eutrophierungsbewertung im COMP4-Zeitraum 2015-2020 in den Gebieten mit deutschem Anteil. Als zusätzliche Information ist die Anzahl der insgesamt verwendeten Parameter (inklusive Nährstoffe) angegeben. ..	60
Tabelle 10:	Trendentwicklungen im Zeitraum 1990-2020 für DIN, DIP, Chlorophyll-a und Sauerstoff in den Bewertungsgebieten mit deutschem Anteil. Signifikante Trends sind mit dunkelgrauen Pfeilen markiert. Weiße Pfeile zeigen die Entwicklungsrichtung	

	an (nach unten bedeutet abnehmende Konzentrationen), aber die ermittelten Trends sind in diesen Fällen nicht statistisch signifikant. Die Farbgebung entspricht der Zustandseinstufung des COMP4-Zeitraums 2015-2020.	61
Tabelle 11:	Übersicht der Bewertungsergebnisse der WRRL-Wasserkörper gemäß WRRL und nach OSPAR COMP-Regeln.	64
Tabelle 12:	Zuordnung einzelner beispielhaft ausgewählter Taxa zu funktionellen Gruppen auf Basis von taxonomischen Informationen und zugewiesenen Merkmalen der zugrundeliegenden Masterliste für Zooplankton.	70
Tabelle 13:	Zuordnung einzelner beispielhaft ausgewählter Taxa zu funktionellen Gruppen auf Basis von taxonomischen Informationen und zugewiesenen Merkmalen der zugrundeliegenden Masterliste für Phytoplankton.	70
Tabelle 14:	Kategorien für die Zustandseinstufung in der Biodiversitätsbewertung basierend auf McQuatters-Gollop et al. (2022).	73
Tabelle 15:	Übersicht über die verschiedenen Diversitätsindizes, die für Phytoplankton und Zooplankton im PH3 Indikator angewendet werden.	87
Tabelle 16:	OSPAR-Bewertungsergebnisse für pelagische Habitate in der Erweiterten Nordsee (OSPAR Region II) für die einzelnen pelagischen Indikatoren und den integrierten Status der Region. Schraffierte Zellen zeigen den Kandidatenstatus des PH3-Indikators in der OSPAR Region II an und die Ergebnisse wurden nicht für den Gesamtstatus berücksichtigt.	93

Abkürzungsverzeichnis

Aphia-ID	Eindeutige Kennzeichnung von Meeresorganismen gemäß WoRMS mit einzigartiger und dauerhafter Nummer
COMP	Common Procedure (Vereinbarung zur Eutrophierungsbewertung bei OSPAR)
COMPEAT	Bewertungswerkzeug für den Eutrophierungszustand (Common Procedure Eutrophication Assessment Tool)
CPR	Continuous Plankton Recorders (CPR)
EHD	Eco-Hydrodynamic Areas
EO	Earth Observation (Satellitendaten)
HEAT	Bewertungswerkzeug für den Eutrophierungszustand (HELCOM Eutrophication Assessment Tool)
HELCOM	Helsinki Kommission, Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt der Ostsee
ICES	International Council for the Exploration of the Sea
ICG EUT	OSPAR Intersessional Correspondence Group on Eutrophication
ICG EMO	OSPAR Intersessional Correspondence Group on Eutrophication Modelling
JMP EUNOSAT	EU-Project Joint Monitoring Programme of the Eutrophication of the North Sea with Satellite data
LfU	Landesamt für Umwelt Schleswig-Holstein
MBA	Marine Biological Association
MONERIS	Modelling Nutrient Emissions in River Systems
MSRL	EU-Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie
NEAES	North-East Atlantic Environment Strategy
NEA-PANACEA	North-East Atlantic project on biodiversity and eutrophication assessment integration and creation of effective measures
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
OOAO	One-out-all-out-Prinzip
OSPAR	Oslo-Paris Konvention, Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantiks
OSPAR CEMP	OSPAR's Coordinated Environmental Monitoring Programme
OSPAR IA	OSPAR's Intermediate Assessment
OSPAR QSR	OSPAR's Quality Status Report
PLET	Plankton Lifeform Extraction Tool
RBINS	Royal Belgian Institute of Natural Sciences
SMHI	Swedish Meteorological and Hydrological Institute
TG COMP	OSPAR Task Group Common Procedure
WoRMS	World Register of Marine Species
WRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie

Zusammenfassung

Der Abschlussbericht befasst sich mit der Bewertung des Eutrophierungszustands der Nordsee und der Weiterentwicklung von Indikatoren und Bewertungsansätzen für die Eutrophierung sowie für pelagische Habitate. Er steht im Kontext der EU-Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL), die von den Mitgliedstaaten verlangt, regelmäßig eine Bewertung des ökologischen Zustands der Meeresumwelt vorzunehmen und Maßnahmen zu entwickeln, die bis 2030 einen guten Umweltzustand sicherstellen sollen.

Da Eutrophierung eine wesentliche Belastung für die Nordsee darstellt, die zu Veränderungen der pelagischen Habitate führen kann, lag in diesem Projekt ein besonderer Schwerpunkt auf der Harmonisierung und Weiterentwicklung der Bewertungsmethoden sowie einer besseren Verknüpfung untereinander. Ziel war es, sowohl international im Rahmen von OSPAR als auch national für die kommende MSRL-Berichterstattung eine fundierte und konsistente Grundlage zu schaffen.

Die Arbeiten wurden in zwei Arbeitspakete untergliedert. Arbeitspaket 1 umfasste die Vorbereitung und Durchführung der vierten Anwendung der OSPAR Common Procedure (COMP) zur Bewertung des Eutrophierungszustands der Nordsee für den Zeitraum 2015 bis 2020.

Arbeitspaket 2 beschäftigte sich mit der Weiterentwicklung von Indikatoren und Bewertungsansätzen für die Bewertung pelagischer Habitate. Beide Arbeitspakete zielten darauf ab, methodische Lücken zu schließen, die Vergleichbarkeit zwischen nationalen Bewertungen zu verbessern und die Datengrundlage für künftige Bewertungen zu optimieren.

Die Common Procedure ist seit Ende der 1990er Jahre das zentrale Instrument für die Bewertung der Eutrophierung in den OSPAR-Vertragsstaaten. Sie sieht vor, den Eutrophierungszustand anhand einer Ursache-Wirkungskette zu bewerten, die von Nährstoffeinträgen über direkte biologische Effekte bis hin zu indirekten ökologischen Folgen reicht. Konkret gliedert sich die Bewertung in drei Kategorien:

In der ersten Kategorie wird die Nährstoffanreicherung erfasst, indem sowohl Einträge aus Flüssen und der Atmosphäre als auch Konzentrationen von Stickstoff- und Phosphorverbindungen im Winter gemessen werden. Die zweite Kategorie betrifft die direkten Effekte, die vor allem über die Bestimmung der Chlorophyll-a-Konzentrationen als Maß für die Phytoplankton-Biomasse erfasst werden. In die dritte Kategorie fallen die indirekten Effekte, insbesondere die bodennahen Sauerstoffkonzentrationen und die Sichttiefe des Wassers. Diese drei Kategorien bilden gemeinsam die Grundlage für die Einordnung von Gebieten als „Problem-“ oder „Nicht-Problem-Gebiet“. Das zentrale Ziel von OSPAR ist es, dass bis 2030 alle Meeresgebiete den Status „Nicht-Problem-Gebiet“ erreichen.

Ein zentrales methodisches Problem früherer Anwendungen bestand darin, dass nationale Unterschiede bei der Ableitung von Schwellenwerten und bei der Abgrenzung von Bewertungsgebieten zu Inkonsistenzen führten. Dies zeigte sich insbesondere an Brüchen entlang nationaler Grenzen, die weniger den realen ökologischen Unterschieden als vielmehr methodischen Diskrepanzen geschuldet waren. Um diese Defizite zu beheben, wurden in der vierten Anwendung gemeinsame grenzübergreifende Bewertungsgebiete definiert, die sich stärker an ökologischen Kriterien orientieren. Zudem wurde die Ableitung von Schwellenwerten harmonisiert, indem modellierte historische Bedingungen aus der Zeit um 1900 (vor eutrophierungsbedingten Belastungen) als Basis verwendet wurden. Diese Fortschritte führten zu einer deutlichen Verbesserung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Ein weiterer wichtiger Entwicklungsschritt war die Automatisierung der Bewertung durch das neue COMPEAT-Tool. Während frühere Bewertungen stark von manueller Bearbeitung abhängig waren, ermöglicht COMPEAT eine standardisierte, transparente und reproduzierbare Analyse. Das Tool integriert alle relevanten Indikatoren, berechnet Ecological Quality Ratios (EQR) und klassifiziert diese in Stufen von „sehr gut“ bis „schlecht“. Zusätzlich zur neuen Skalierung mit EQRs für eine bessere Vergleichbarkeit der verschiedenen Indikatorergebnisse wurde auch eine einheitliche Konfidenzbewertung entwickelt, die sowohl zeitliche als auch räumliche Aspekte der zugrunde liegenden Daten berücksichtigt. Dies ermöglicht eine bessere Einschätzung der Belastbarkeit der Bewertungsergebnisse und der Aussagekraft einzelner Indikatoren und Gesamtbewertungen.

Die Bewertungsergebnisse für den Zeitraum 2015 bis 2020 zeigen, dass in vielen Küstengebieten der Nordsee nach wie vor deutliche Eutrophierungsprobleme bestehen. Besonders die Ästuar großer Flüsse wie Elbe und Ems sowie angrenzende Küstengewässer weisen weiterhin erhöhte Nährstoffkonzentrationen auf. Diese führen zu häufigeren Algenblüten und damit verbunden zu erhöhten Chlorophyll-a-Werten.

In offenen Seegebieten sind die Belastungen geringer, doch auch hier zeigen sich einzelne Problemzonen. Die Analyse der bodennahen Sauerstoffkonzentrationen ergab, dass es in tieferen Bereichen vereinzelt zu kritischen Werten unterhalb von 6 mg/l kommt, die auf Sauerstoffdefizite hindeuten. Langfristige Trends von 1990 bis 2020 belegen zwar eine allmähliche Reduktion der Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen, doch sind diese Rückgänge nicht in allen Gebieten signifikant, und die Nährstoffbelastung liegt in einigen Fällen weiterhin über den vereinbarten Grenzwerten.

Arbeitspaket 2 widmete sich den pelagischen Habitaten, die als Teil der Biodiversität nach der MSRL bewertet werden müssen. Pelagische Habitate umfassen die in der Wassersäule lebenden Organismen, vor allem Phyto- und Zooplankton, die für marine Nahrungsnetze von zentraler Bedeutung sind. In OSPAR werden hierfür die Indikatoren PH1, PH2 und PH3 verwendet. PH1 betrachtet Veränderungen funktioneller Gruppen im Plankton, wie z. B. das relative Vorkommen bestimmter Lebensformen. PH2 bewertet die Biomasse des Phytoplanktons sowie die Abundanz des Zooplanktons, während PH3 Aussagen zur Diversität und zur „typischen“ Struktur der Planktongemeinschaften erlaubt.

Die Auswertungen in diesem Projekt zeigten deutliche Veränderungen in den Planktongemeinschaften der Nordsee. Bei den funktionellen Gruppen wurden zum Teil signifikante Zunahmen bestimmter Arten festgestellt, während andere zurückgingen. Diese Verschiebungen lassen sich mit anthropogenen Einflüssen wie Nährstoffeinträgen, aber auch mit klimatischen Faktoren wie Erwärmung und Versauerung in Verbindung bringen.

Bei der Biomasse des Phytoplanktons zeigten sich deutliche Anomalien im Vergleich zu langfristigen Vergleichszeiträumen. Das Zooplankton wies in mehreren Regionen einen Rückgang der Abundanz auf, was weitreichende Konsequenzen für höhere trophische Ebenen wie Fische haben kann. Die Bewertung der Diversität ergab, dass in vielen Gebieten eine Verschiebung hin zu atypischen Gemeinschaftsstrukturen erkennbar ist. Diese werden durch niedrige EQR-Werte angezeigt, die eine geringe Artenvielfalt und eine Dominanz weniger Taxa widerspiegeln.

Für die pelagische Bewertung wurden verschiedene Monitoringdaten genutzt, die über den OSPAR Data Call bei den Vertragsstaaten und verschiedenen Institutionen abgefragt wurden. Besonders wertvoll war die Einbindung der Daten des Continuous Plankton Recorder (CPR), die eine einzigartige Langzeitreihe mit einer großen räumlichen Abdeckung bieten.

Zusätzlich wurden Fernerkundungsdaten, insbesondere Satellitenmessungen, integriert, um räumliche Lücken zu schließen. Planktondaten nationaler Monitoringprogramme ermöglichten durch die höhere taxonomische Auflösung mittels lichtmikroskopischer Analyse eine verbesserte Bewertung der Planktondiversität. Die Kombination der verschiedenen Datentypen erlaubte insgesamt eine robustere Bewertung, offenbarte jedoch auch weiterhin bestehende Datenlücken, etwa in tieferen Offshore-Gebieten, aber auch in Küstengewässern.

Die Integration der Indikatoren PH1 bis PH3 in ein gemeinsames Bewertungsergebnis stellte eine besondere Herausforderung dar. Während einzelne Indikatoren spezifische Trends deutlich aufzeigen, ist die Zusammenführung in ein konsistentes Gesamtbild methodisch anspruchsvoll. Im Rahmen der OSPAR-Arbeiten wurden verschiedene Ansätze zur Integration diskutiert und geprüft. Ziel war es, künftig eine Gesamteinstufung über den Zustand der pelagischen Habitate abgeben zu können, die sowohl für die OSPAR-Bewertungen als auch für die nationale MSRL-Berichterstattung nutzbar ist. Die erste Anwendung der neuen Integrationsmethode auf Basis einer semi-quantitativen Einstufung und ergänzender Experteneinschätzung im Rahmen des OSPAR QSR 2023 ist vielversprechend, doch bedarf es weiterer Anstrengungen, um das Prinzip zu verfeinern und wenn möglich auch Schwellenwerte für die pelagischen Indikatoren zu entwickeln.

Insgesamt zeigt der Bericht, dass in den letzten Jahren erhebliche methodische Fortschritte erzielt werden konnten. Die Harmonisierung der Schwellenwerte, die Einrichtung gemeinsamer Bewertungsgebiete und die Automatisierung durch COMPEAT haben die Konsistenz und Transparenz der Eutrophierungsbewertung deutlich erhöht. Im Bereich der pelagischen Habitate konnten wichtige Grundlagen für eine einheitlichere Bewertung der verschiedenen Indikatoren zu einem Gesamtergebnis und eine verstärkte Harmonisierung mit der Eutrophierungsbewertung gelegt werden.

Dennoch bleiben wesentliche Herausforderungen bestehen. Dazu zählen die Schließung von Datenlücken und die Sicherstellung der langfristigen Datenkontinuität sowie die Überprüfung und Verbesserung des Systems für die Einstufung des guten oder nicht guten Zustands für die pelagischen Habitate.

Weiterentwicklungsbedarf besteht sowohl für die einzelnen pelagischen Indikatoren als auch für die Integration zur Gesamtbewertung. Eine bessere Verknüpfung und Harmonisierung mit Eutrophierungsindikatoren inklusive gemeinsamer Datengrundlagen und methodischer Anpassungen (insbesondere zwischen PH2 und Chlorophyll-a) würde zu einer besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse beitragen und könnte helfen, die mitunter widersprüchlichen Aussagen der verschiedenen Indikatoren unter der pelagischen Habitatbewertung und der Eutrophierung zukünftig besser aufzulösen.

Die Ergebnisse dieses Projekts sind Teil der OSPAR-Bewertungen und in den Quality Status Report 2023 eingeflossen. Gleichzeitig stellen sie die Grundlage für die nationale MSRL-Berichterstattung 2024 dar. Damit leisten sie einen wichtigen Beitrag zur Harmonisierung von Bewertungsmethoden im Nordostatlantik und erhöhen die Vergleichbarkeit der Zustandsbewertungen zwischen den Anrainerstaaten.

Ein stärkerer Austausch mit HELCOM für Testbewertungen mit Indikatoren aus dem jeweils anderen Regionalen Übereinkommen würde die Weiterentwicklung von Indikatorkonzepten ebenfalls stärker unterstützen, insbesondere für pelagische Indikatoren, aber auch zur Verbesserung der Sauerstoffbewertung.

Langfristig wird erwartet, dass die beschriebenen Arbeiten dazu beitragen, die Belastungen durch Eutrophierung zu verringern, die Biodiversität in pelagischen Habitaten zu sichern und

das übergeordnete Ziel der EU, bis 2030 einen guten Umweltzustand zu erreichen, zu unterstützen.

Summary

The final report deals with the assessment of the eutrophication status of the North Sea and the further development of indicators and assessment approaches for eutrophication and pelagic habitats. It is set in the context of the EU Marine Strategy Framework Directive (MSFD), which requires Member States to regularly assess the ecological status of the marine environment and to develop measures to ensure good environmental status by 2030.

As eutrophication represents a significant pressure on the North Sea, which can lead to changes in pelagic habitats, this project placed particular emphasis on harmonising and further developing assessment methods and improving the links between them. The aim was to create a sound and consistent basis both internationally within the framework of OSPAR and nationally for the upcoming MSFD reporting.

The work was divided into two work packages. Work package 1 comprised the preparation and implementation of the fourth application of the OSPAR Common Procedure (COMP) for assessing the eutrophication status of the North Sea for the period 2015 to 2020.

Work package 2 dealt with the further development of indicators and assessment approaches for the assessment of pelagic habitats. Both work packages aimed to close methodological gaps, improve comparability between national assessments and enhance the data basis for future assessments.

Since the late 1990s, the Common Procedure has been the central instrument for assessing eutrophication in the OSPAR Contracting States. It provides a means for the assessment of the eutrophication status based on a cause-and-effect chain ranging from nutrient inputs to direct biological effects and indirect ecological consequences. Specifically, the assessment is divided into three categories:

The first category covers nutrient enrichment by measuring inputs from rivers and the atmosphere as well as concentrations of nitrogen and phosphorus compounds in winter. The second category concerns direct effects, which are mainly recorded by determining chlorophyll-a concentrations as a measure of phytoplankton biomass. The third category covers indirect effects, in particular near-bottom oxygen concentrations and water transparency. Together, these three categories form the basis for classifying areas as 'problem' or 'non-problem' areas. The central objective of OSPAR is for all marine areas to achieve 'non-problem area' status by 2030.

A key methodological problem with previous applications was that national differences in the derivation of threshold values and the delimitation of assessment areas led to inconsistencies. This was particularly evident in breaks along national borders, which were due less to real ecological differences than to methodological discrepancies. To remedy these shortcomings, the fourth application defined common transboundary assessment areas that are more strongly oriented towards ecological criteria. In addition, the derivation of threshold values was harmonised by using modelled historic conditions from around 1900 (before eutrophication-related pressures) as a basis. These advances led to a significant improvement in the comparability of the results.

Another important development was the automation of the assessment using the new COMPEAT tool. Whereas previous assessments were heavily dependent on manual processing, COMPEAT enables standardised, transparent and reproducible analysis. The tool integrates all relevant indicators, calculates Ecological Quality Ratios (EQR) and classifies them in levels from 'high' to 'bad'. In addition to the new scaling with EQRs for better comparability of the various indicator

results, a uniform confidence rating was also developed that takes into account both temporal and spatial aspects of the underlying data. This allows for a better assessment of the reliability of evaluation results and the significance of individual indicators and overall assessments.

The assessment results for the period 2015 to 2020 show that significant eutrophication problems still exist in many coastal areas of the North Sea. In particular, the estuaries of large rivers such as the Elbe and Ems, as well as adjacent coastal waters, continue to show elevated nutrient concentrations. These lead to more frequent algal blooms and associated increases in chlorophyll-a values.

Pollution levels are lower in open sea areas, but there are still some problem zones here too. Analysis of oxygen concentrations near the seabed revealed that critical values below 6 mg/l occur sporadically in deeper areas, indicating oxygen deficits. Although long-term trends from 1990 to 2020 show a gradual reduction in nitrogen and phosphorus concentrations, these declines are not significant in all areas, and nutrient levels remain above the agreed thresholds in some cases.

Work package 2 focused on pelagic habitats, which must be assessed as part of biodiversity under the MSFD. Pelagic habitats include organisms living in the water column, primarily phytoplankton and zooplankton, which are of central importance to marine food webs. OSPAR uses indicators PH1, PH2 and PH3 for this purpose. PH1 considers changes in functional groups in plankton, such as the relative occurrence of certain life forms. PH2 assesses the biomass of phytoplankton and the abundance of zooplankton, while PH3 allows statements to be made about the diversity and 'typical' structure of plankton communities.

The evaluations in this project showed significant changes in the plankton communities of the North Sea. In the functional groups, significant increases in certain species were observed in some cases, while others declined. These shifts can be linked to anthropogenic influences such as nutrient inputs, but also to climatic factors such as warming and acidification.

The biomass of phytoplankton showed clear anomalies compared to long-term reference periods. Zooplankton abundance declined in several regions, which may have far-reaching consequences for higher trophic levels such as fish. The assessment of diversity revealed that in many areas there is a shift towards atypical community structures. These are indicated by low EQR values, which reflect low species diversity and the dominance of a few taxa.

Various monitoring data were used for the pelagic assessment, which were collected from the Contracting Parties and different institutions via the OSPAR Data Call. The inclusion of data from the Continuous Plankton Recorder (CPR), which provides a unique long-term series with a wide spatial coverage, was particularly valuable.

In addition, remote sensing data, in particular satellite measurements, were integrated to fill spatial gaps. Plankton data from national monitoring programmes enabled an improved assessment of plankton diversity due to the high taxonomic resolution achieved through light microscopic analysis. The combination of different data types allowed for a more robust assessment overall, but also revealed continuing data gaps, for example in deeper offshore areas, but also in coastal waters.

The integration of indicators PH1 to PH3 into a common assessment result posed a particular challenge. While individual indicators clearly show specific trends, combining them into a consistent overall picture is methodologically challenging. As part of the OSPAR work, various approaches for integration were discussed and examined. The aim was to be able to provide an overall assessment of the state of pelagic habitats in future that could be used both for OSPAR

assessments and for national MSFD reporting. The first application of the new integration method based on a semi-quantitative classification and supplementary expert judgement as part of the OSPAR QSR 2023 is promising, but further efforts are needed to refine the principle and, if possible, to develop threshold values for the pelagic indicators.

Overall, the report shows that considerable methodological progress has been made in recent years. The harmonisation of threshold values, the establishment of common assessment areas and automation through COMPEAT have significantly increased the consistency and transparency of eutrophication assessment. With regard to pelagic habitats, important basic principles were established for a more uniform assessment of the different indicators to arrive at an overall result and for improved harmonisation with the eutrophication assessment.

Nevertheless, significant challenges remain. These include closing data gaps and ensuring long-term data continuity, as well as reviewing and improving the system for classifying pelagic habitats as good or not good.

There is a need for further development of both the individual pelagic indicators and their integration into the overall assessment. Better linking and harmonisation with eutrophication indicators, including common data bases and methodological adjustments (especially between PH2 and chlorophyll-a), would contribute to better comparability of results and could help to better resolve the sometimes contradictory statements of the various indicators under pelagic habitat assessment and eutrophication in the future.

The results of this project are part of the OSPAR assessments and have been incorporated into the Quality Status Report 2023. At the same time, they form the basis for the national MSRL reporting in 2024. They thus make an important contribution to the harmonisation of assessment methods in the North-East Atlantic and increase the comparability of status assessments between neighbouring countries.

Greater exchange with HELCOM for test assessments using indicators from the other regional convention would also provide stronger support for the further development of indicator concepts, in particular for pelagic indicators, but also for improving the oxygen assessment.

In the long term, the work described is expected to help reduce eutrophication pressures, safeguard biodiversity in pelagic habitats and support the EU's overarching goal of achieving good environmental status by 2030.

1 Anlass und Ziel

Das OSPAR-Eutrophierungsbewertungsverfahren „Common Procedure“ (COMP) wurde in der Nordsee seit der regional vereinbarten Vorgehensweise (OSPAR Agreement 1997) bereits dreimal durchgeführt. Die 4. Anwendung für den Zeitraum 2015-2020 sollte fachlich weiterentwickelt werden und mit geringerem Arbeitsaufwand als die vorangegangenen Bewertungen erfolgen und wurde in Arbeitspaket 1 dieses Projektes bearbeitet. Die bei OSPAR bisher manuell durchgeführte Eutrophierungsbewertung sollte nach Möglichkeit in Anlehnung an das bei HELCOM verwendete HEAT-Bewertungswerkzeug (HELCOM Eutrophication Assessment Tool) in Zusammenarbeit mit dem Internationalen Rat für die Meeresforschung (ICES) automatisiert werden. Die OSPAR-COMP Methode wird auch zur Bewertung des Deskriptors 5 "Eutrophierung" der EU-Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie eingesetzt. In diesem Zusammenhang werden die Ergebnisse der vierten Anwendung der COMP in die für 2024 anstehende Folgebewertung gemäß Artikel 8 und 9 der MSRL für den Zustandsbericht der Nordsee einfließen. Die von der EU geforderte stärkere Kohärenz in den MSRL-Zustandsbewertungen nach der Berichterstattung 2018 in Bezug auf harmonisierte Bewertungsmethoden und ökologisch relevante Bewertungseinheiten der verschiedenen Mitgliedstaaten, auch über nationale Grenzen hinweg, machten Weiterentwicklungen erforderlich, die auf OSPAR Ebene in den Arbeitsgruppen von ICG-EUT, ICG-EMO und der für die Überarbeitung der Common Procedure etablierten TG COMP diskutiert und abgestimmt wurden. Entwicklungsarbeiten waren für spezifische Aspekte wie die Skalierung von Bewertungsergebnissen und die Bewertung der Vertrauenswürdigkeit (Konfidenz der zugrundeliegenden Daten) erforderlich, aber auch für Anpassungen und Verbesserungen von Indikatoren und Bewertungskonzepten inklusiver einer belastbaren Datengrundlage, z.B. durch die Einbeziehung von Fernerkundungsdaten.

Bearbeitungen in Arbeitspaket 2 befassten sich mit der Weiterentwicklung von Bewertungsansätzen und Indikatoren für die Bewertung pelagischer Habitate in der Nordsee, die bei der letzten holistischen Bewertung im Rahmen des OSPAR Intermediate Assessments (IA 2017) und damit auch bei der nationalen MSRL-Berichterstattung noch einige Lücken und Defizite aufwiesen. Die bei OSPAR verwendeten pelagischen Indikatoren PH1, PH2 und PH3 untersuchen Veränderungen von funktionellen Gruppen, sog. Lebensformen, der Phytoplanktonbiomasse und Zooplanktonabundanz sowie der Planktondiversität. Harmonisierte Bewertungskonzepte der Indikatoren, die Integration zu einem Gesamtergebnis und die Anpassung der bisher verwendeten Bewertungsgebiete standen bei den Bearbeitungen im Vordergrund. Für die Zustandsbewertung pelagischer Habitate sollten neben den ermittelten Trends auch Ansätze für die Einstufung der Bewertungsergebnisse in MSRL-konforme Kategorien (guter oder nicht guter Zustand) sowie die Ableitung und mögliche Verwendung von Schwellenwerten diskutiert und untersucht werden.

2 AP 1: Vorbereitung und Durchführung der 4. Anwendung der OSPAR Common Procedure zur Bewertung des Eutrophierungszustands der Nordsee

2.1 Bewertungsmethode – Weiterentwicklungen

Im Rahmen des regionalen Meeresschutzübereinkommens von OSPAR wurde die Common Procedure 2002 zum ersten Mal angewendet. Die Eutrophierungsbewertung wurde in den darauffolgenden Anwendungen weiterentwickelt, erfolgte aber immer auf nationaler Ebene. Die länderspezifischen Bewertungsergebnisse sind in zusammenfassenden „Integrated Eutrophication Reports“ (OSPAR 2003, 2008, 2017) zusammengestellt worden, die in die holistischen Bewertungen des Quality Status Reports (2010) und des OSPAR Intermediate Assessments (2017) eingegangen sind. Die nationalen Unterschiede in der Anwendung der Common Procedure, insbesondere die unterschiedliche Ableitung von Schwellenwerten für die Zustandseinstufung führten teilweise zu Brüchen in den Ergebnissen benachbarter Bewertungsgebiete entlang nationaler Grenzen. Deshalb waren Weiterentwicklungen für eine harmonisierte Bewertung erforderlich, um damit auch eine bessere Vergleichbarkeit der Bewertungsergebnisse zu erreichen. Dies schließt die Erarbeitung ökologisch relevanter Bewertungseinheiten, auch über nationale Grenzen hinweg, mit ein sowie eine Vereinbarung über die gemeinsame Ableitung von Schwellenwerten. Die OSPAR Arbeitsgruppe ICG-EMO hat durch die Modellierung von historischen Szenarien um 1900 (pre-eutrophic conditions) als Basis für die Ableitung von Schwellenwerten und die Ermittlung von Nährstoffreduktions-Szenarien wesentlich zu den Weiterentwicklungen beigetragen und stand in direktem Austausch mit den OSPAR-Arbeitsgruppen ICG-EUT und TG COMP. Die überarbeitete vierte Anwendung der Common Procedure wird zum OSPAR Quality Status Report 2023 beitragen.

2.1.1 Übersicht Common Procedure

Die Common Procedure ist die von den OSPAR-Vertragsstaaten entwickelte und vereinbarte Methodik zur Bewertung der Eutrophierung im Nordost-Atlantik. OSPAR beschreibt den Zustand der Eutrophierung in Form von "Problem"- und "Nicht-Problem"-Gebieten. Oberstes Ziel der OSPAR-Eutrophierungsstrategie ist es, bis 2030 in allen Teilen des OSPAR-Meeresgebiets den „Nicht-Problem“-Status zu erreichen und zu erhalten.

Eutrophierung wird bei OSPAR wie folgt definiert: „Eutrophierung ist das Ergebnis einer übermäßigen Anreicherung des Wassers mit Nährstoffen, die das Wachstum von Algen (Phytoplankton) in der Wassersäule beschleunigen kann. Dies kann zu einer Reihe unerwünschter Störungen im marinen Ökosystem führen, darunter eine Verschiebung der Zusammensetzung der Flora und Fauna, was sich wiederum auf die Lebensräume und die biologische Vielfalt auswirkt, Sauerstoffmangel, Veränderungen der Trübung sowie Verhaltensänderungen oder sogar das Absterben von Fischen und anderen Arten“.

Das grundsätzliche Bewertungskonzept folgt den Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen, wobei die verschiedenen Bewertungsindikatoren drei verschiedenen Kategorien zugeordnet sind für die Nährstoffanreicherung (Kategorie 1) und die daraus resultierenden direkten (Kategorie 2) und indirekten Effekte (Kategorie 3). In der ersten Kategorie werden Nährstoffeinträge und Nährstoffkonzentrationen als verursachende Faktoren der Eutrophierung bewertet, während in der zweiten Kategorie der direkten Effekte Phytoplankton und Makrophyten, soweit relevant, bewertet werden. Chlorophyll-a wird dabei als Proxy für die Phytoplankton-Biomasse

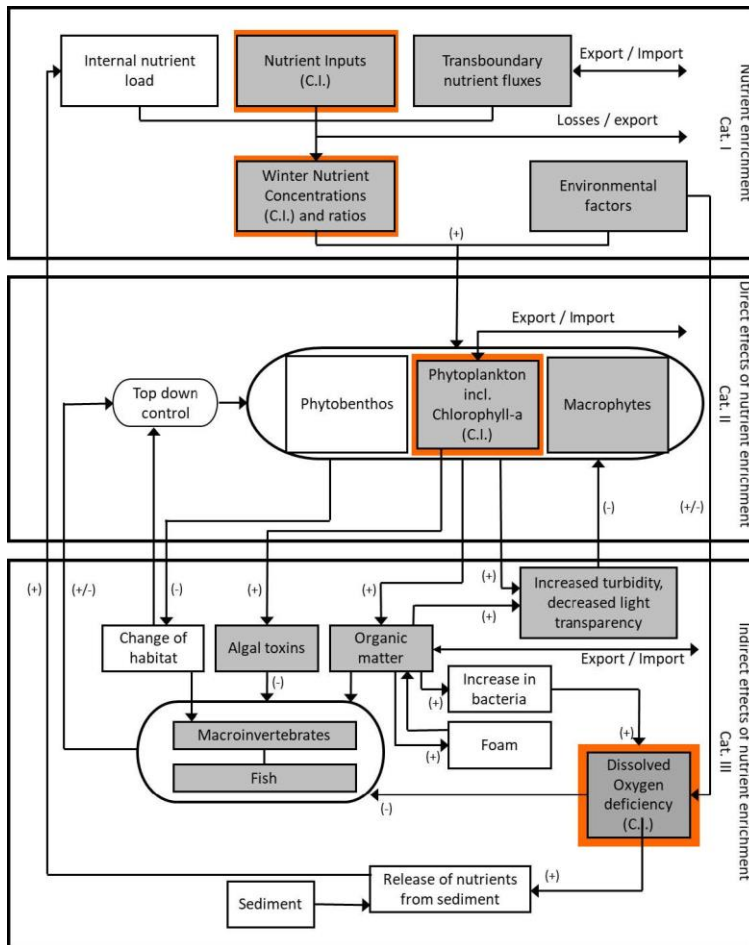
verwendet. Ergänzend können Phytoplanktonindikatorarten wie z.B. *Phaeocystis* oder *Prorocentrum* einbezogen werden, wenn dies in ausgewählten Gebieten relevant ist, oder Ergebnisse der pelagischen Indikatoren von OSPAR (PH1, PH2, PH3) unterstützend für die Bewertung herangezogen werden. Als indirekte Effekte der Nährstoffanreicherung werden Sauerstoffkonzentrationen in Bodennähe und die Sichttiefe bewertet. Die Sichttiefe wurde im Rahmen der Überarbeitung der Common Procedure von den direkten zu den indirekten Effekten verschoben, da Trübung auch durch Anreicherung von organischem Material, Aufwirbelungen und organische Umsetzungsprozesse verursacht werden kann und eine abnehmende Sichttiefe nicht allein das Ergebnis zunehmender Algenblüten ist.

Als vereinbarte „Common Indicators“ werden bei OSPAR Nährstoffeinträge, Winternährstoffkonzentrationen und Konzentrationen von Chlorophyll und gelöstem Sauerstoff bewertet. Sie wurden als Schlüsselparameter ausgewählt, die die Ursache-Wirkungs-Kette der Eutrophierungsprozesse beschreiben und durch zusätzliche Parameter wie Gesamtnährstoffe und Sichttiefe ergänzt werden können. Bei den Nährstoffeinträgen werden Stickstoff und Phosphor aus atmosphärischen Einträgen, aus Flüssen, von Land oder direkte Einleitungen ins Meer berücksichtigt. Durch menschliche Aktivitäten können große Mengen an Nährstoffen aus verschiedenen Quellen wie Landwirtschaft, Verbrennungsprozessen (Straßenverkehr, Schifffahrt, Kraftwerken), kommunaler und industrieller Abwasserbehandlung und der Aquakultur in die Meere gelangen. Die Quantifizierung der Nährstoffeinträge aus verschiedenen Quellen ist von grundlegender Bedeutung für das Verständnis der Ursachen der Eutrophierung und die Bewertung des Erfolgs von Maßnahmen zur Verringerung der Nährstoffeinträge. Eine der wichtigsten Zielsetzungen der OSPAR-Strategie zur Eutrophierung ist die Festlegung von maximalen Nährstoffeinträgen, um Nährstoffe insbesondere in Problemgebieten weiter zu reduzieren und die Erreichung des „Nicht-Problem“ Status in allen Bewertungsgebieten zu erreichen wie dies in den operativen Zielen der Nordost-Atlantik-Strategie (North-East Atlantic Environment Strategy (NEAES) 2030) festgelegt ist.

Nährstoffeinträge können zu erhöhten Nährstoffkonzentrationen führen, weshalb die Konzentrationen von gelöstem anorganischem Stickstoff und Phosphor im Winter als ein weiterer Common Indicator für die Beschreibung der verursachenden Faktoren der Eutrophierung genutzt werden. Gelöste anorganische Nährstoffe werden im Winter gemessen, um eine Anreicherung bei geringer biologischer Aktivität zu erfassen. Eine direkte Folge von Nährstoffanreicherungen können erhöhte Konzentrationen von Phytoplanktonbiomasse in der Wachstumsperiode (Frühjahr/Sommer) sein. Aus diesem Grund werden Konzentrationen von Chlorophyll-a, als Proxy für die Phytoplanktonbiomasse, als Common Indicator in der Kategorie der direkten Effekte verwendet. Erhöhte Phytoplanktonbiomasse ist eng verknüpft mit weiteren Eutrophierungseffekten wie einer verringerten Sichttiefe, toxischen oder unerwünschten Algenblüten und Sauerstoffmangel am Meeresboden. Die Konzentration von gelöstem Sauerstoff in Bodennähe wird deshalb als Common Indicator für die indirekten Effekte der Eutrophierung verwendet. Geringe Sauerstoffkonzentrationen beeinträchtigen insbesondere das Zoobenthos, verursachen Veränderungen der benthischen Gemeinschaft und können bei starkem Sauerstoffmangel sogar zum Absterben des Zoobenthos führen. Das Bewertungskonzept und die Zusammenhänge zwischen den verwendeten gemeinsamen Indikatoren und Kategorien sind in Abbildung 1 dargestellt.

Abbildung 1: Konzeptioneller Ansatz zur Bewertung der Eutrophierung in allen Kategorien von Oberflächengewässern, der die wesentlichen Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge

veranschaulicht. Gemeinsame Indikatoren (Common Indicators) sind in Orange hervorgehoben.



Quelle: OSPAR Agreement 22-07 Common Procedure

In der letzten COMP3-Bewertung wurden die gemeinsamen Indikatoren getrennt von der Common Procedure bewertet und waren nicht Teil des integrierten Berichts zum Eutrophierungsstatus im OSPAR-Gebiet (OSPAR Third Integrated Report, 2017). Die Bewertung der gemeinsamen Indikatoren erfolgte nur anhand von Trends, aber ohne gemeinsame Schwellenwerte und wurde in relativ großen Gebietseinheiten für die südliche und nördliche Nordsee sowie weiterer Untereinheiten basierend auf unterschiedlichen Salzgehalten vorgenommen abweichend von den nationalen Gebietseinteilungen. Für COMP4 wurden deshalb die gemeinsamen Indikatoren in die Common Procedure integriert für eine Verbesserung der Eutrophierungsbewertung zusammen mit der Erarbeitung von neuen Bewertungsgebieten und der Vereinbarung von gemeinsamen Schwellenwerten.

2.1.2 Bewertungsgebiete

Es wurden neue staatenübergreifende OSPAR-Bewertungsgebiete für Eutrophierung basierend auf den Ergebnissen des EU-Projekts JMP EUNOSAT (Joint Monitoring Programme of the Eutrophication of the North Sea with Satellite data) festgelegt. Ein Teil der Projektarbeit von JMP EUNOSAT bestand darin, grenzüberschreitende Bewertungsgebiete mit ähnlichen ökologischen und physischen Funktionen zu ermitteln. Die Abgrenzung dieser Gebiete basiert auf hydrodynamischen und ökologischen Eigenschaften unter Berücksichtigung von Schichtung, Salzgehalt, Tiefe, Schwebstoffen und Primärproduktion. Die vorgeschlagenen

Bewertungseinheiten wurden im Rahmen der gemeinsamen Arbeiten von TG COMP und ICG-EMO und auf Basis von verschiedenen Anforderungen der OSPAR Vertragsstaaten angepasst und im Jahre 2022 abschließend vereinbart. Damit können erstmalig ökologisch relevante Einheiten anstatt der nationalen Gebiete bewertet werden. Deutschland hat Anteil an insgesamt acht Bewertungsgebieten, wobei zwei Bewertungsgebiete, die Ems-Fahne und die zentrale Deutsche Bucht, ausschließlich deutsche Gewässer umfassen. Der deutsche Anteil an den Bewertungsgebieten Nördliche und Südliche Nordsee sowie der Doggerbank ist sehr gering. Die Bewertungsgebiete, an denen Deutschland einen Anteil hat, sind zusammen mit Informationen zur Gebietsgröße sowie dem mittleren Salzgehalt und der Tiefe in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Neue OSPAR-Bewertungsgebiete (COMP4 Assessment Areas), an denen Deutschland einen Anteil hat und ihre Charakteristika.

Bewertungsgebiet	Bewertungsgebiet deutscher Name	Vertragsstaaten	Größe in km ²	Anteil DE in km ² (%)	Mittlerer Salzgehalt	Mittlere Tiefe [m]
Outer Coastal DEDK (OC)	Äußeres Küstenwasser DEDK	DE, DK	18540	4484 (24)	33	27
Dogger Bank (DB)	Doggerbank	DE, NL, DK, UK	14750	672 (5)	35	28
Eastern North Sea (ENS)	Östliche Nordsee	DE, DK, NL	60634	14231 (24)	35	43
Elbe Plume (ELPM)	Elbefahne	DE, DK	7837	5008 (64)	31	18
Ems Plume (EMPM)	Emsfahne	DE	1445	1445 (100)	32	19
German Bight Central (GBC)	Zentrale Deutsche Bucht	DE	4554	4554 (100)	33	39
Northern North Sea (NNS)	Nördliche Nordsee	DE, UK, SE, NO, DK	264253	1464 (1)	35	121
Southern North Sea (SNS)	Südliche Nordsee	DE, FR, BE, NL, UK	61758	3085 (1)	34	32

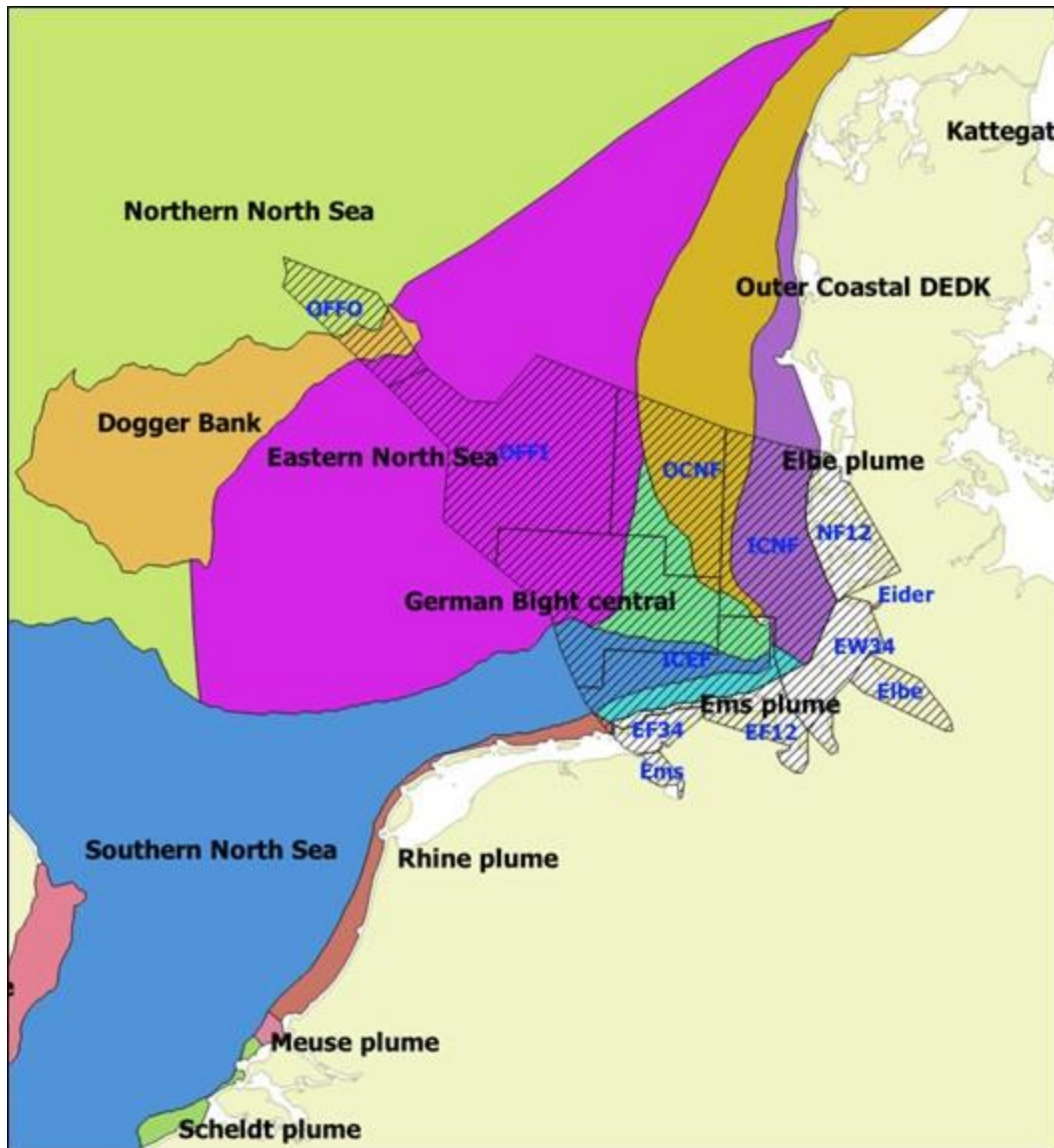
Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

Für das Gebiet Äußeres Küstenwasser DEDK wurden die Küstengewässer von Deutschland und Dänemark zusammengefasst, wobei die Grenze zur östlich anschließenden Elbefahne durch die Kontur des Salzgehalts von 32 definiert wird, während die westliche Grenze zum Gebiet Östliche Nordsee durch die 35 m-Tiefenlinie festgelegt wird. Die Abgrenzung der Doggerbank folgt ebenfalls der 35 m-Tiefenlinie und umfasst permanent durchmischte Gewässer, die flacher als 35 m sind. Das östlich der Doggerbank liegende Gebiet Östliche Nordsee weist saisonale Schichtung auf und wird neben der 35 m-Tiefenlinie auch durch den Verlauf der Salzgehaltslinie von 34 abgegrenzt (Grenze zur Zentralen Deutschen Bucht). Die Flussfahnen von Elbe und Ems sind seewärts durch die Salzgehaltslinie von 32 abgegrenzt, während die landseitige Grenze durch die WRRL-Gebiete definiert ist (1-Seemeilen-Grenze). Eine detaillierte Beschreibung der neuen OSPAR-Gebietseinteilung ist Annex 3 der überarbeiteten Common Procedure (OSPAR Agreement 2022-07) zu entnehmen.

Die Definition der nationalen Gebiete, die in den vorangegangenen COMP-Bewertungen verwendet wurden, basierte auf abweichenden Salzgehaltseinteilungen (30, 33 und 34,5), so dass sich entsprechende Verschiebungen der Gebietsgrenzen ergeben, haben zusätzlich zu dem

grundsätzlich erweiterten Ansatz der staatenübergreifenden Gebietseinteilung unter Berücksichtigung weiterer Parameter. Abbildung 2 zeigt die Lage der neuen Gebiete im Vergleich zu den alten Bewertungsgebieten der vorangegangenen COMP3-Bewertung.

Abbildung 2: Lage der neuen OSPAR-Bewertungsgebiete für Eutrophierung in der Deutschen Bucht. Die alten Bewertungsgebiete der 3. Anwendung der OSPAR Common Procedure (OFFO, OFFI etc.) sind schraffiert dargestellt.



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. COMP3-Gebietsbezeichnungen siehe Brockmann et al. (2021).

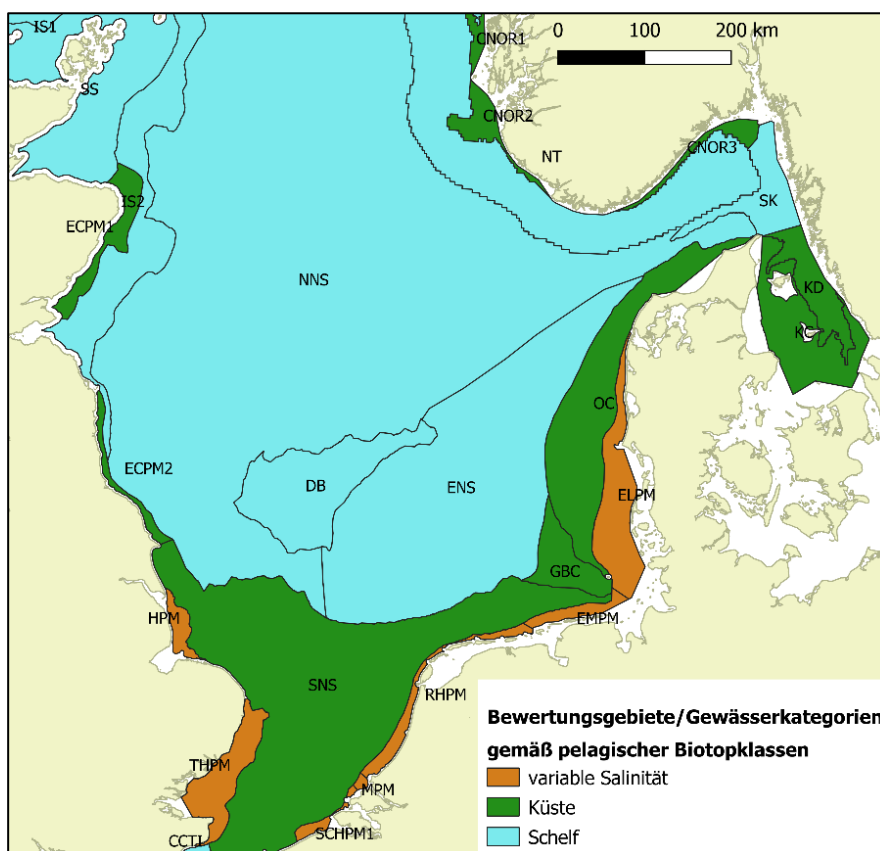
Die OSPAR-Bewertungsgebiete decken aktuell die 1-Seemeilen-Zone nicht mit ab, da während der Überarbeitung der Common Procedure entschieden wurde zunächst die WRRL-Gebiete abzutrennen und separat außerhalb des COMPEAT-Tools zu bewerten. Für die Bewertung der Küstengewässer dienen die WRRL-Wasserkörper (einzeln oder als aggregierte Wasserkörpertypen) als räumliche Bewertungseinheiten, wobei die Vertragsstaaten entweder direkt die WRRL-Bewertungsergebnisse verwenden oder die in der WRRL verwendeten Indikatoren (WRRL-Qualitätskomponenten) gemäß den OSPAR-Regeln verschneiden. Für die nächste COMP5-Bewertung sollen die WRRL-Gebiete in COMPEAT integriert werden, um die Bewertung der Küstengewässer auch im Hinblick auf plausible Gradienten zwischen den WRRL-

Gebieten und den seewärts anschließenden COMP4-Bewertungsgebieten in die OSPAR-Eutrophierungsbewertung einzubeziehen.

Für die Ergebnisdarstellung der Eutrophierungsbewertung wurden die insgesamt 64 neuen OSPAR-Bewertungsgebiete in verschiedene Gewässerkategorien gruppiert, die den für die Bewertung pelagischer Habitate verwendeten Lebensraumtypen bzw. pelagischen Biotopklassen entsprechen. Dabei wurden variable Salinität (Flussfahnen), Küste, Schelf und Schelfmeer, soweit vorhanden, gemäß den MSRL-Anforderungen für Deskriptor 1 unterschieden. Die Zuordnung der Gebiete zu den verschiedenen Lebensraumtypen erfolgte überwiegend anhand der Salzgehalte, der Tiefe oder gebietspezifischer Charakteristika. Flussfahnen sind Gebiete in Küstennähe und im Einflussbereich von Flüssen mit variablem Salzgehalt, die stark von Flusseinleitungen und Nährstoffeinträgen beeinflusst werden. Küstengewässer sind andere Gebiete als Flussfahnen mit einem mittleren Salzgehalt $\leq 34,5$. Schelfgebiete werden mit einem Salzgehalt von $> 34,5$ und einer Tiefe von < 200 m abgegrenzt, während das Schelfmeer durch Tiefen von > 200 m definiert ist.

Erstmalig wurden für die pelagischen Habitate dieselben Bewertungsgebiete wie in der Eutrophierungsbewertung verwendet, so dass eine wechselseitige Nutzung von Indikatorergebnissen möglich ist. Die Zuordnung zu den verschiedenen Gewässerkategorien ist für die Bewertungsgebiete, an denen Deutschland einen Anteil hat, in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 3: Zuordnung der OSPAR-Bewertungsgebiete zu Gewässerkategorien/pelagischen Biotopklassen für variable Salinität, Küste und Schelf. Die Namen der Bewertungsgebiete mit deutschem Anteil sind Tabelle 1 zu entnehmen.

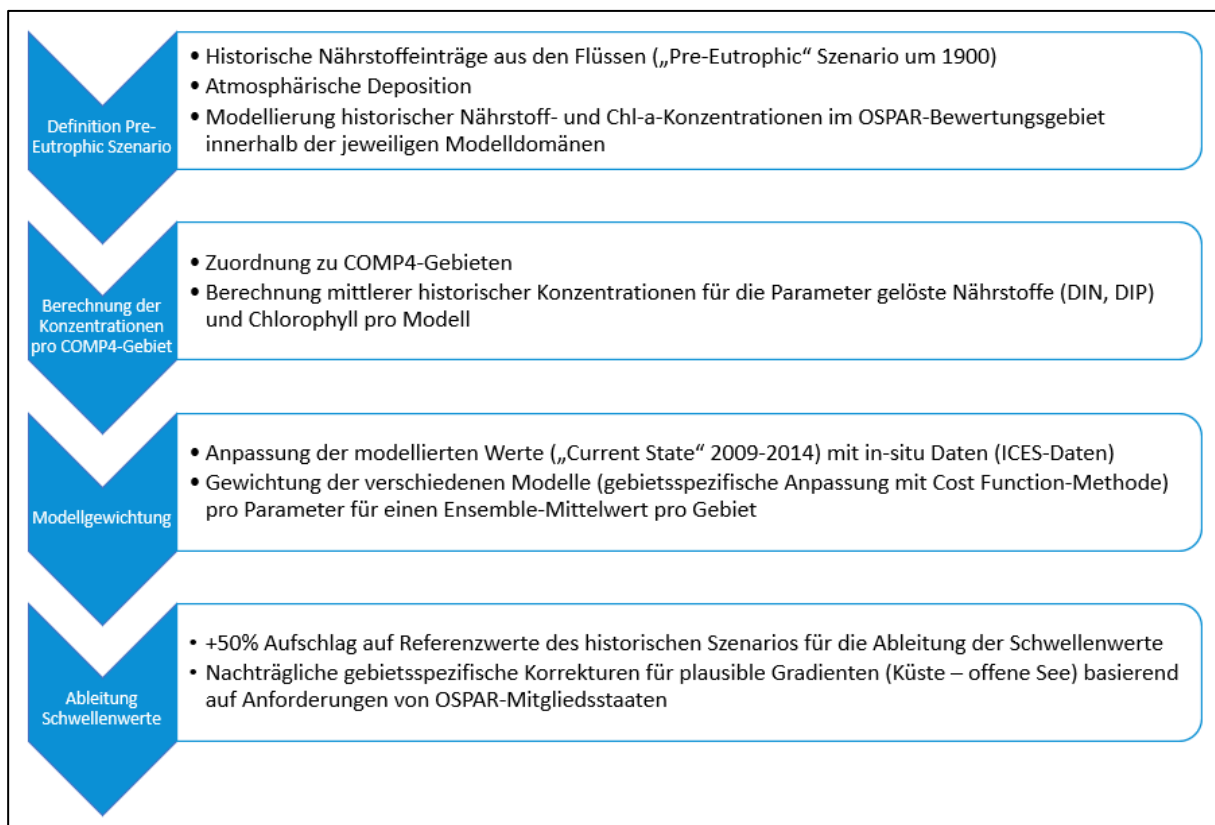


Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

2.1.3 Schwellenwerte

In der 3. Anwendung der OSPAR Common Procedure wurde mit nationalen Schwellenwerten gearbeitet, die in den einzelnen OSPAR-Vertragsstaaten auf unterschiedlicher fachlicher Basis basierten und damit unterschiedlich ambitioniert waren. Im Rahmen des JMP EUNOSAT-Projektes ([Link JMP EUNOSAT Projekt](#)) wurde erstmals für OSPAR ein gemeinsamer fachlicher Ansatz für die Ableitung von Schwellenwerten erarbeitet. Dieser wurde bei OSPAR im Rahmen der ICG EMO weiterentwickelt. Der Ansatz beruht auf der Ableitung eines historischen Eutrophierungsszenarios. Dafür wurden mit dem europaweiten Nährstoffeintragsmodell E-HYPE vom Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) historische Nährstofffrachten für die Flüsse um 1900 ermittelt. Ergänzt wurden diese historischen Frachten für Deutschland und die Niederlande durch Modellergebnisse von MONERIS für ein Nährstoffeintragsszenario um 1880. Diese Frachten wurden mit Hilfe von Ökosystemmodellen ins Meer extrapoliert. An dieser Ensemble-Modellierung haben 8 unterschiedliche Modelle teilgenommen. Deutschland war mit dem Modell ECOHAM der Universität Hamburg und dem GPM-Modell der Universität Oldenburg vertreten. Die Modellergebnisse aller Modelle wurden gewichtet gemittelt, um möglichst vertrauenswürdige Referenzkonzentrationen für die Eutrophierungsparameter zu erhalten. Die Schwellenwerte wurden durch einen Aufschlag von 50% auf die Referenzkonzentrationen ermittelt. Das konzeptionelle Schema für die einzelnen Schritte zur Ableitung modellierter Schwellenwerte ist in Abbildung 4 dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung zur Ableitung kohärenter Referenz- und Schwellenwerte für Nährstoffe und Chlorophyll-a und zu den verschiedenen Modell-Szenarien ist Annex 7 der Common Procedure zu entnehmen (OSPAR Agreement 2022-07).

Abbildung 4: Konzeptionelles Schema zur Ermittlung von Schwellenwerten in den neuen COMP4-Bewertungsgebieten.



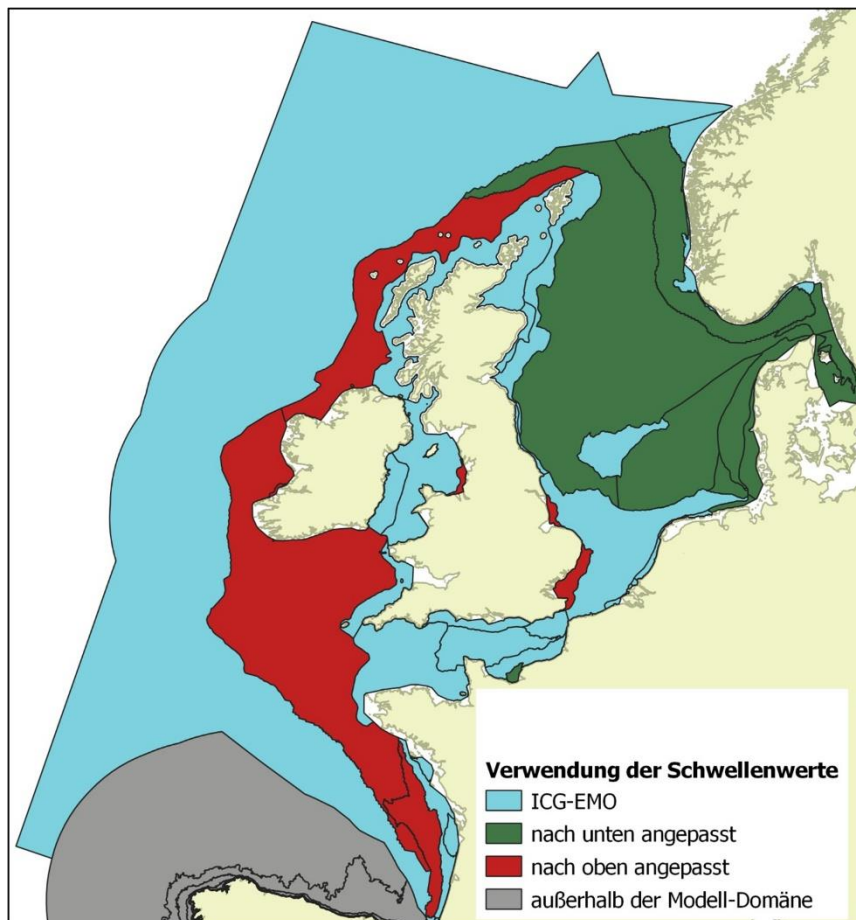
Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Grafik basierend auf Abbildung 1 des OSPAR ICG-EMO Reports 2022.

Der gewählte fachliche Ansatz ist in guter Übereinstimmung mit dem national unter der WRRL verwendeten Ansatz zur Ableitung von Schwellenwerten für Eutrophierungsparameter in den Küstengewässern. Dieser basiert auf historischen Nährstoffeinträgen um 1880, ermittelt durch MONERIS, und einer Extrapolation dieser Einträge ins Meer entlang des Salzgehaltsgradienten. Somit ist sichergestellt, dass hinsichtlich der Schwellenwerte mit einem fachlich konsistenten Ansatz in den Küstengewässern und der offenen See gearbeitet wird und dass sich ein fachlich plausibler Gradient von den Küstengewässern in die offene See ergibt. Weiterhin stellt ein gemeinsamer Ansatz für die Ableitung von Schwellenwerten bei OSPAR sicher, dass Eutrophierung zukünftig auf einem einheitlichen Ambitionsniveau bewertet werden kann. Die OSPAR-Arbeiten werden damit erstmals auch der Forderung der MSRL-Kommissionsentscheidung gerecht, die die Verwendung von regional abgestimmten Schwellenwerten verlangt.

Es waren allerdings in einigen Gebieten Anpassungen der modellierten Schwellenwerte erforderlich, um sicherzustellen, dass die abgeleiteten Schwellenwerte plausible Gradienten von den WRRL-Gebieten in Richtung offene See widerspiegeln und der aktuelle Zustand nicht besser als die modellierten Referenzbedingungen ist. Gemeinsam mit Schweden und Dänemark wurden gebietsspezifische Faktoren vereinbart, um die Schwellenwerte für DIN, DIP und Chlorophyll in der südöstlichen Nordsee inklusive Kattegat und Skagerrak anzupassen und damit ein vergleichbares Ambitionsniveau wie für die COMP 3-Bewertung zu erreichen.

Durch die Anpassungen verschiedener Vertragsstaaten wird sichergestellt, dass die im Rahmen der Common Procedure verwendeten Schwellenwerte seewärts der 1-Seemeilen-Grenze mit den im Rahmen der WRRL verwendeten Grenzen für "gut" und "mäßig" in Übergangs- und Küstengewässern harmonisiert sind und ein plausibler Gradient von der Küste zur offenen See vorliegt, der die Verdünnung der Einträge aus den Flüssen berücksichtigt. Die in verschiedenen Gebieten vorgenommenen Anpassungen der Schwellenwerte sind in Abbildung 5 zusammengestellt und zeigen wo die Schwellenwerte nach oben oder unten (ambitionierteres Bewertungsniveau) korrigiert wurden basierend auf den von der ICG-EMO Gruppe modellierten Schwellenwertvorschlägen. Teilweise wurden nur geringfügige Anpassungen vereinbart, um die Schwellenwerte benachbarter Gebiete anzugleichen, aber in einigen Flussfahnen wurden die Schwellenwerte auch deutlich nach oben korrigiert und sind damit weniger ambitioniert als die modellierten Werte.

Abbildung 5: Verwendung der von der ICG-EMO Gruppe modellierten Schwellenwerte und die nach oben oder unten vorgenommenen Anpassungen in den verschiedenen COMP4-Bewertungsgebieten.



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

Die vereinbarten Schwellenwerte für die Bewertungsgebiete, an denen Deutschland einen Anteil hat, sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Ein direkter Vergleich mit den nationalen Schwellenwerten der letzten Anwendung der OSPAR Common Procedure (COMP 3) ist nicht möglich, da sich die Bewertungsgebiete stark unterscheiden.

Tabelle 2: Neue Schwellenwerte der 4. Anwendung der OSPAR Common Procedure (COMP4) für die Bewertungsgebiete, an denen Deutschland einen Anteil hat. Nährstoffe in $\mu\text{mol l}^{-1}$, Chl-a in $\mu\text{g l}^{-1}$, Sichttiefe in m. Für TN, TP und Sichttiefe wurden Schwellenwerte mit Dänemark für die Gebiete Elbefahne und Äußeres Küstenwasser DEDK vereinbart sowie für die rein deutschen Gebiete Emsfahne und Zentrale Deutsche Bucht festgelegt.

Bewertungsgebiet	DIN	DIP	Chl-a	TN	TP	Sichttiefe
Äußeres Küstenwasser DEDK	9,3	0,59	1,6	13,7	0,85	7,0
Doggerbank	7,2	0,76	1,3	-	-	-
Östliche Nordsee	7,3	0,60	1,2	-	-	-
Elbefahne	18,2	0,72	3,7	21,4	0,95	4,1

Bewertungsgebiet	DIN	DIP	Chl-a	TN	TP	Sichttiefe
Emsfahne	15,1	0,61	3,7	16,1	0,86	5,7
Zentrale Deutsche Bucht	10,1	0,62	1,9	13,1	0,82	7,2
Nördliche Nordsee	10,3	0,71	1,1	-	-	-
Südliche Nordsee	13,0	0,70	3,8	-	-	-

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

Der Modellierungsansatz hat grundsätzlich nur Schwellenwerte für die Eutrophierungsparameter Nährstoffkonzentrationen und Chlorophyll-a abgeleitet. Für die bodennahen Sauerstoffkonzentrationen wird einheitlich ein Zielwert von 6mg/l genutzt. Für die Einbeziehung weiterer Parameter wie z.B. Gesamtnährstoffe (Gesamtstickstoff (TN), Gesamtphosphor (TP)) oder Sichttiefe war die Vereinbarung von Schwellenwerten mit den beteiligten Ländern außerhalb des Modellierungsansatzes erforderlich. Es konnten Schwellenwerte für die Gesamtnährstoffe und die Sichttiefe mit Dänemark in den geteilten Gebieten der Elbefahne und Äußeres Küstenwasser DEDK vereinbart werden, so dass die zusätzlichen Parameter in diesen beiden Gebieten sowie in den deutschen Gebieten Emsfahne und Zentrale Deutsche Bucht genutzt werden konnten. Für Deutschland dienten die in der letzten COMP3-Bewertung verwendeten Schwellenwerte basierend auf dem MONERIS-Modellansatz für die Nährstoffeinträge aus den Flüssen und der Extrapolation entlang des Salzgehaltsgradienten ins Meer als Grundlage, während die dänischen Schwellenwerte auf einem mechanistischen Modellansatz beruhen, bei dem die Ergebnisse aus angrenzenden WRRL-Gebieten extrapoliert wurden. Für TN und TP wurden die dänischen und deutschen Schwellenwertvorschläge gemittelt, da die Schwellenwertschätzungen in beiden Gebieten recht ähnlich waren. Da diese Vorgehensweise für die Sichttiefe zu erheblichen Unterschieden zwischen den dänischen und deutschen Schwellenwertvorschlägen führte, wurde gemäß Vorsorgeprinzip beschlossen, die höheren (ambitionierteren) Schwellenwerte für die Sichttiefe zu verwenden. Zudem wird die mechanistische Modellierung der Lichtabschwächung in stark getrübbten Gewässern wie der Elbefahne als unsicher eingeschätzt, so dass Dänemark dem deutschen Schwellenwertvorschlag gefolgt ist.

Für weitere Gebiete war die Verwendung der zusätzlichen Parameter und eine Abstimmung von Schwellenwerten nicht möglich, da die beteiligten Länder der Verwendung nicht zugestimmt haben und/oder keine ausreichende Datenbasis für eine Bewertung vorhanden war. Für die nächste COMP5-Bewertung wird eine Erweiterung der Gebiete mit zusätzlichen Bewertungsparametern angestrebt, wenn dies bei ausreichender Datengrundlage mit den beteiligten Ländern abgestimmt werden kann.

2.1.4 Bewertungsregeln

Aus den jährlichen Bewertungsergebnissen der verwendeten gemeinsamen Indikatoren (Winter-Nährstoffkonzentrationen DIN, DIP, Konzentrationen von Chlorophyll-a und gelöstem Sauerstoff) oder zusätzlicher Parameter (Gesamtnährstoffe, Sichttiefe) werden durch Mittelwertbildung Bewertungsergebnisse pro Parameter für die festgelegte Bewertungsperiode aggregiert (COMP4 Zeitraum 2015-2020).

Die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor werden innerhalb der Kategorie 1 zur Nährstoffanreicherung getrennt bewertet, damit der Nährstoff ermittelt werden kann, der durch

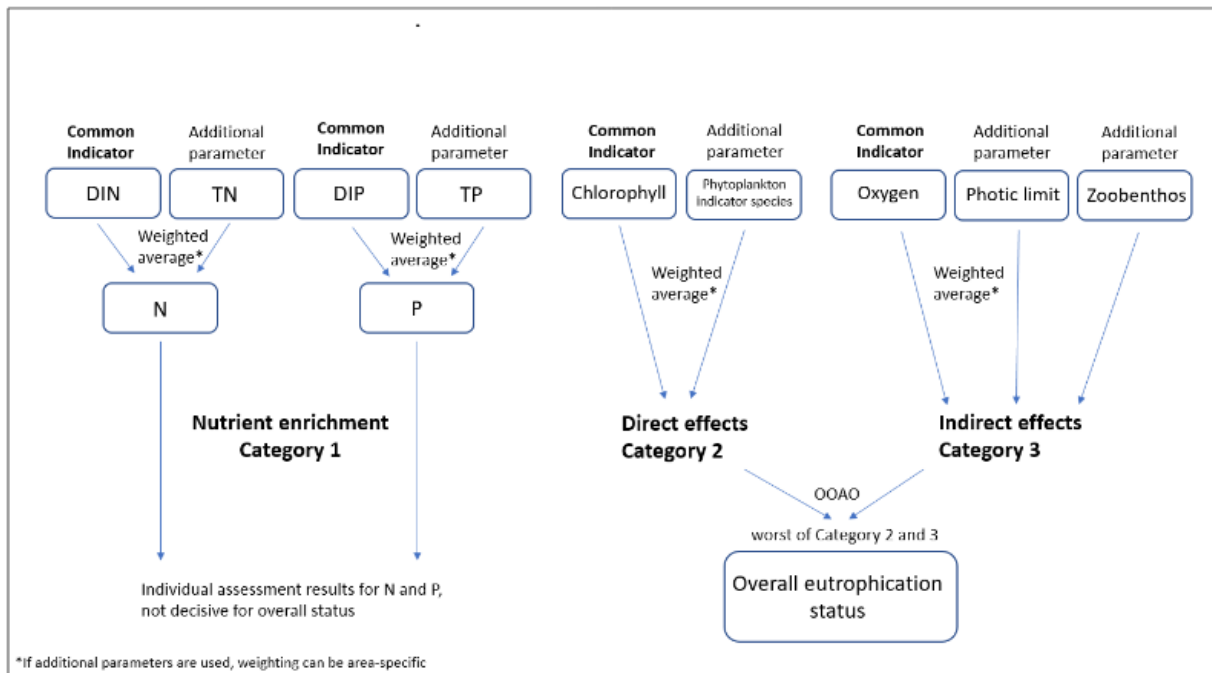
Überschreiten der jeweiligen Bewertungsschwelle möglicherweise Eutrophierungseffekte verursacht. Auf diese Weise soll verhindert werden, dass weiterhin zu hohe Konzentrationen eines Nährstoffs (z.B. Stickstoff) durch eine einfache Mittelwertbildung zu einem Erreichen des guten Zustands führen kann, weil der jeweils andere Nährstoff (z.B. Phosphor) bereits stärker reduziert wurde und schon deutlich unter dem Schwellenwert liegt.

Innerhalb der Kategorien erfolgt bisher eine einfache Mittelwertbildung, wenn mehr als ein Parameter bewertet wird. So ist zwischen DIN und TN bzw. DIP und TP in den Gebieten, für die eine Bewertung mit den zusätzlichen Parametern für Gesamtnährstoffe vereinbart wurde, jeweils ein Ergebnis für Stickstoff und für Phosphor aus den jeweiligen Komponenten gemittelt worden. Es kann zukünftig aber auch eine gebietsspezifische Gewichtung mit den beteiligten Ländern vereinbart und im COMPEAT-Tool entsprechend berechnet werden. Wenn zusätzlich die Nährstoffverhältnisse (DIN:DIP, TN:TP) bewertet werden, so wird das Bewertungsergebnis nicht mit den Ergebnissen der Nährstoffkonzentrationen integriert, sondern als zusätzliche Information für die Bewertung verwendet. Weitere zusätzliche Parameter wie die Sichttiefe oder Phytoplanktonindikatorarten können mit einer geringeren Gewichtung verwendet werden, um gebietsspezifische Besonderheiten wie eine hohe natürliche Trübung oder schwache Zusammenhänge von Phytoplankton mit Nährstoffkonzentrationen zu reflektieren. Damit kann der Einfluss zusätzlicher Parameter auf das Gesamtergebnis in Relation zu den gemeinsamen Indikatoren begrenzt werden.

Die Sichttiefe wurde von den direkten zu den indirekten Effekten verschoben wie bereits in Kapitel 2.1.1 erläutert und wird bei Verwendung dieses zusätzlichen Parameters mit dem Ergebnis für die gelösten Sauerstoffkonzentrationen zusammengebracht und nicht wie in der vorangegangenen COMP3-Bewertung mit der Konzentration von Chlorophyll-a integriert. Dies kann in einzelnen Fällen zu Änderungen in den Kategorie-Ergebnissen und des Gesamtzustands führen.

Für die Integration zwischen den Kategorien wird das vorsorgliche One-out-all-out-Prinzip (OOAO) angewendet, wobei das jeweils schlechteste Ergebnis aus den Kategorien 2 und 3 der direkten und indirekten Effekte das Gesamtergebnis bestimmt. Die Nährstoffe gehen nicht in die Gesamtbewertung ein, geben aber einen Anhaltspunkt, dass in Gebieten mit erhöhten Nährstoffkonzentrationen oder auch in den umgebenden Gebieten Eutrophierungsprobleme auftreten können, selbst wenn aktuell keine Effekte festgestellt werden konnten. Deshalb sollten diese Gebiete entsprechend ausgewiesen werden, auch wenn sie als „Nicht-Problem“ Gebiet klassifiziert werden. Durch diese Vorgehensweise wird das Risiko von grenzüberschreitenden Nährstofftransporten und der möglichen Verlagerung von Eutrophierungsauswirkungen berücksichtigt. Nur Gebiete ohne erhöhten Grad der Nährstoffanreicherung, die keine direkten und indirekten Effekte aufweisen, werden als eindeutige „Nicht-Problem“-Gebiete eingestuft. In Abbildung 6 sind die Integrationsregeln der Common Procedure zur Ermittlung des Eutrophierungszustands im Überblick dargestellt.

Abbildung 6: Überblick zu den in der OSPAR Common Procedure angewendeten Integrationsregeln innerhalb der Kategorien 1, 2 und 3 sowie zwischen den drei Kategorien für die Gesamtbewertung. OOA: One-Out-All-Out Integrationsregel.



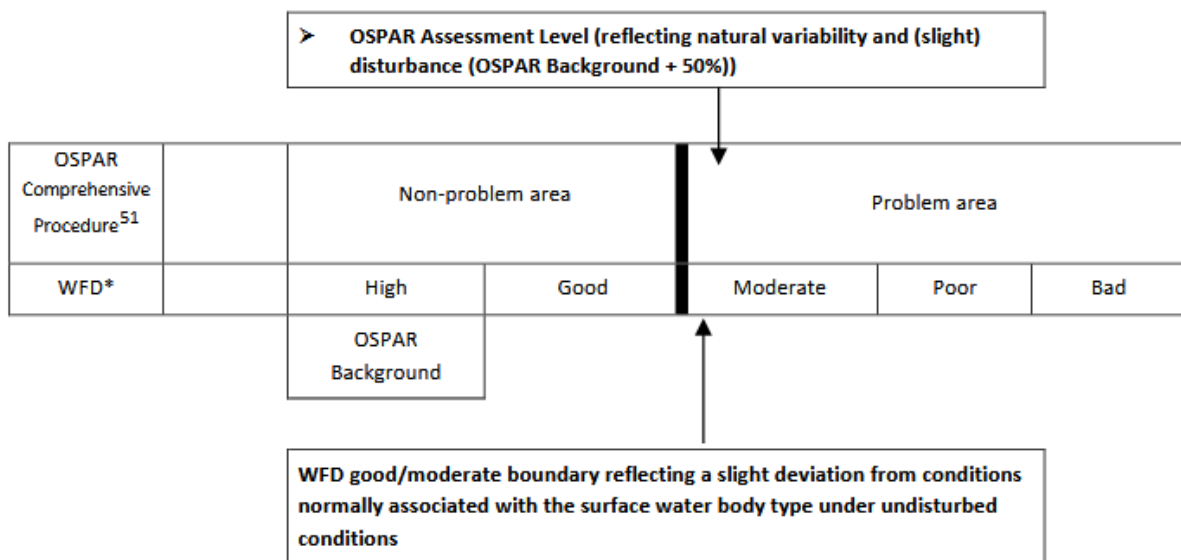
Quelle: OSPAR Agreement 22-07 Common Procedure

2.1.5 Skalierung der Indikatoren – Klasseneinstufung

Die bisherige Einstufung der Bewertungsergebnisse wie sie in der COMP3-Bewertung verwendet wurde, erfolgte in drei verschiedene Klassen: „Nicht-Problem“- , „Problem“- und „Potenzielle Problem“-Gebiete. Die Klasse der „Potenziellen Problem“-Gebiete, die in COMP3 vor allem für datenarme Gebiete mit einer unsicheren Einstufung verwendet wurde, wird in der vierten Anwendung der Common Procedure nicht mehr genutzt. Einstufungen als „Potenzielle Problem“-Gebiete konnten auch nicht gemäß MSRL berichtet werden, da sie weder dem guten Zustand noch einem eindeutig nicht-gutem Zustand entsprechen und deshalb letztlich als „unbewertet“ eingestuft werden mussten. Die Vertrauenswürdigkeit der Bewertung, z.B. eine nicht ausreichende Datenlage, wird inzwischen durch eine überarbeitete Konfidenzbewertung berücksichtigt, die neben zeitlichen und räumlichen Konfidenzaspekten auch die Genauigkeit der Klasseneinstufung in Bezug auf den Schwellenwert untersucht.

Für COMP4 wurde eine neue Skalierung der Indikatoren eingeführt, die eine bessere Vergleichbarkeit der verschiedenen Bewertungsergebnisse gewährleistet. Die Klassifizierung entspricht dem in der WRRL verwendeten System mit fünf Klassen von „sehr gut“ bis „schlecht“. Die Beziehung der Klasseneinstufung der Common Procedure und der WRRL ist in Abbildung 7 dargestellt. Die Hintergrundwerte (OSPAR Background) stellen die natürlichen oder vorindustriellen Bedingungen um 1900 dar und wurden von der OSPAR Modellierungsgruppe ICG-EMO auf Basis von Ensemble-Modellen abgeleitet. Sie sind entscheidend für das Verständnis der durch menschliche Aktivitäten verursachten Veränderungen und für die Festlegung realistischer Zielwerte (OSPAR Assessment Level = Background +50%).

Abbildung 7: Beziehung zwischen der Einstufung gemäß Common Procedure und der WRRL.



Quelle: OSPAR Agreement 2022-07 Common Procedure.

Durch die fünfstufige Bewertung kann die Entfernung zur gut/mäßig-Grenze und damit zum guten Zustand besser visualisiert werden verglichen mit der zweistufigen Bewertung. Im ersten Schritt wird eine „Ecological Quality Ratio“ (EQR) aus Referenzwerten und Messwerten für die Bewertung der Indikatoren berechnet. Da einige biologische Qualitätskomponenten der WRRL wie Makrophyten und Makrozoobenthos ebenfalls mit EQRs bewertet werden, können WRRL-Bewertungsergebnisse direkt im COMPEAT-Tool verwendet werden durch die Umstellung auf das fünfstufige System. In einem zweiten Schritt werden die EQR-Ergebnisse auf eine einheitliche Skala normiert, da sie durch die unterschiedliche Reaktion auf Eutrophierung (positiv wie bei Nährstoffen und Chlorophyll-a oder negativ wie bei der Sichttiefe) und unterschiedliche prozentuale Abweichungen zwischen dem Referenzwert und dem Schwellenwert nicht direkt vergleichbar sind. Dafür wird eine „Ecological Quality Ratio Scaled“ (EQRS) berechnet mit fünf äquidistanten Klassen im Abstand von 0.2 zwischen 0 und 1. Tabelle 3 zeigt die Skalierung der EQRS-Werte in fünf Klassen und die im COMPEAT Tool verwendete Farbgebung für die Bewertungskarten.

Tabelle 3: Klasseneinteilung der EQRS-Werte. Die Grenze zwischen "gut" und "mäßig" markiert die Grenze zwischen Problem- und Nicht-Problem-Gebieten nach OSPAR und dem guten und nicht-guten Zustand gemäß MSRL.

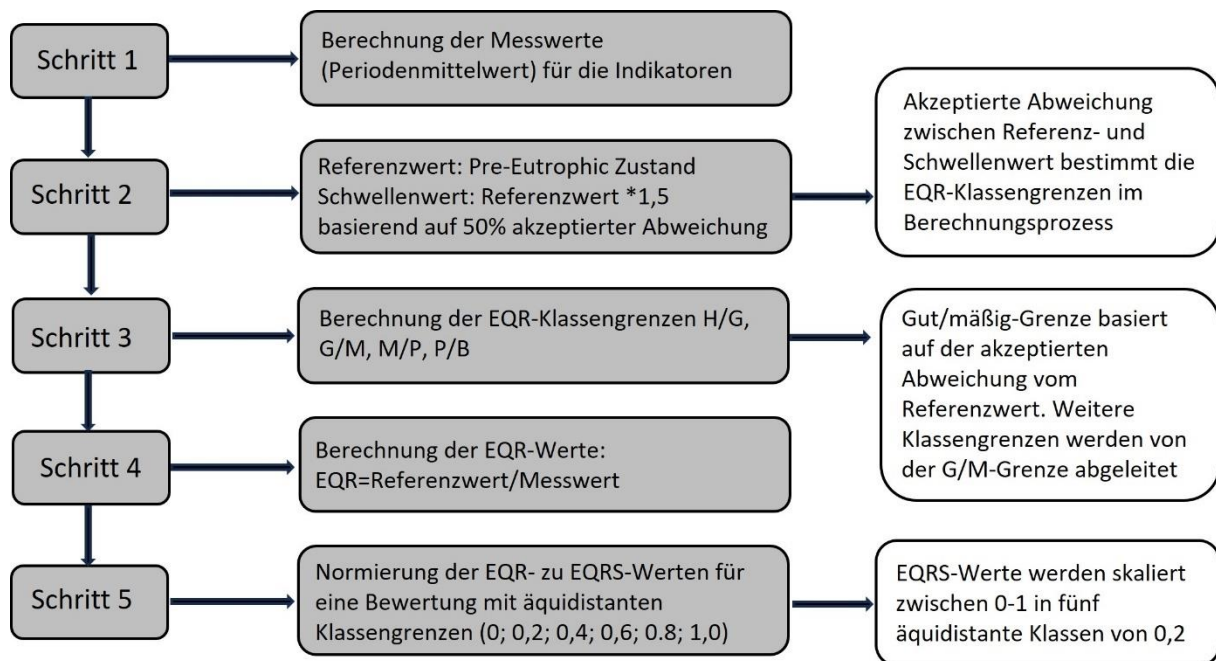
Klassengrenzen für EQRS-Werte	Zustandsklassen	OSPAR-Bewertung bzw. MSRL-Zustandseinstufung
0.0 - < 0.2	schlecht	Problem-Gebiet = guter Zustand nicht erreicht
≥ 0.2 – < 0.4	unbefriedigend	
≥ 0.4 – < 0.6	mäßig	
≥ 0.6 – < 0.8	gut	Nicht-Problem-Gebiet = guter Zustand erreicht
≥ 0.8 – 1.0	sehr gut	

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Farben gemäß OSPAR-Klassifizierung.

Durch die Normierung werden die verschiedenen Indikatorergebnisse und ihre ursprünglich sehr unterschiedlichen Mess-Einheiten auf die gleiche Skala gebracht, was im COMPEAT-Tool

auch die folgenden Berechnungen für die Integration zum Gesamtergebnis erleichtert. Die verschiedenen Schritte für die Berechnung der EQR-Werte und ihrer Klassengrenzen sowie die Normierung zu EQRS-Werten sind in Abbildung 8 dargestellt. Eine exemplarische Berechnung für EQR-Werte und die entsprechenden Klassengrenzen zur Bewertungseinstufung ist in Annex 11 der Common Procedure (OSPAR Agreement 2022-07) beschrieben.

Abbildung 8: Berechnung von EQR-Werten, Klassengrenzen und der Normierung zu EQRS-Werten im Prozess der Eutrophierungsbewertung im COMPEAT-Tool am Beispiel der Berechnungen für Nährstoffe und Chlorophyll-a.



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Darstellung basiert auf Annex 11 der OSPAR Common Procedure (OSPAR Agreement 2022-07), Abbildung angepasst und in deutscher Übersetzung.

2.1.6 Konfidenzbewertung

Die Konfidenzbewertung ist ein wichtiger Teil der Eutrophierungsbewertung zur Einschätzung der ermittelten Ergebnisse und wurde seit der letzten COMP3-Bewertung grundlegend überarbeitet, um die bisher national und indikatorspezifisch sehr unterschiedliche vorgenommene Einschätzung der Vertrauenswürdigkeit zu harmonisieren. Dafür wurden verschiedene Aspekte der Konfidenz eingeführt, die die zeitliche und räumliche Verteilung der Messdaten sowie die Genauigkeit der Klasseneinstufung bewertet. Die verschiedenen Konfidenzaspekte werden für alle gemeinsamen Indikatoren und die zusätzlichen Parameter bewertet und zu einem Gesamtergebnis integriert, wobei die Konfidenz in drei Klassen von „hoch“, über „mäßig“ bis „gering“ eingestuft wird. Die Konfidenzklassengrenzen wurden indikatorspezifisch festgelegt und berücksichtigen sowohl die unterschiedliche Bewertungssaison (Winter, Wachstumsperiode), als auch die natürliche Variabilität der verschiedenen Parameter durch unterschiedlich hohe Anforderungen, soweit möglich. Alle Berechnungsschritte sind im COMPEAT Tool implementiert, um eine einheitliche und transparente Bewertung zu gewährleisten. Für Fernerkundungsdaten oder andere Datenprodukte können aber auch außerhalb des COMPEAT Tools ermittelte

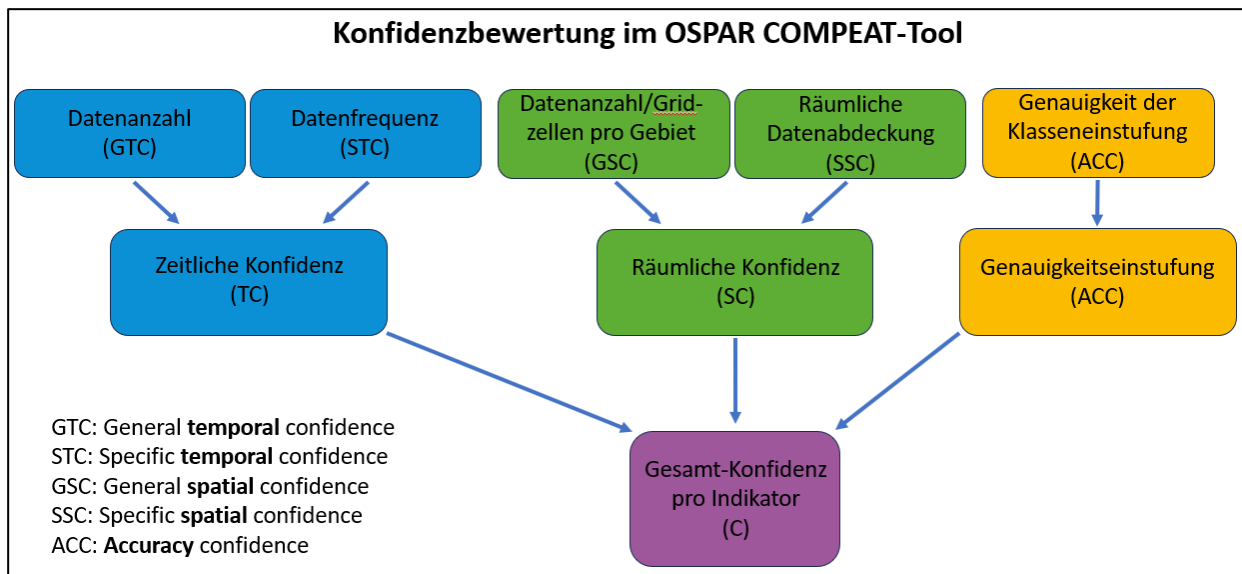
Konfidenzerggebnisse zur Verfügung gestellt werden, die in die Gesamtbewertung in COMPEAT einbezogen werden können.

Um die zeitliche Abdeckung der Monitoringdaten abzuschätzen, werden sowohl die Anzahl der Beobachtungen als auch die Häufigkeit der Probenahmen während der indikatorspezifischen Bewertungszeiträume bzw. die Anzahl fehlender Monate berücksichtigt. Um die räumliche Abdeckung der Monitoringdaten zu dokumentieren, wird in COMPEAT ein Rasteransatz verwendet, um den Anteil der beprobten Bereiche der verschiedenen Bewertungsgebiete in Bezug auf gebietsspezifisch vordefinierte Gitterzellgrößen zwischen 10K (100 km²), 30K (900 km²) und 60K (3600 km²) zu bewerten, je nach Größe oder Lage (küstennah oder Offshore) der Bewertungsgebiete. Die zeitliche und räumliche Abdeckung der Monitoringdaten wird bewertet, um festzustellen, ob die zugrunde liegende Datenbasis für die Bewertung ausreicht oder verbessert werden muss, wenn eine geringe Konfidenz festgestellt wird. Sowohl die zeitliche als auch die räumliche Konfidenz werden jeweils mit einem generellen und einem spezifischen Aspekt ermittelt, um eine umfassende Konfidenzeinschätzung der Daten zu gewährleisten.

Die Genauigkeit der Klasseneinstufung berücksichtigt die Variabilität der zugrundeliegenden Daten durch die Einbeziehung des Standardfehlers bei der Berechnung des variablen Konfidenzniveaus. Das variable Konfidenzniveau wird auf Basis des Messwertes, des Schwellenwerts und des Standardfehlers des jeweiligen Bewertungsindikators pro Bewertungsgebiet auf der Grundlage der Normalverteilungsfunktion berechnet. Das berechnete Konfidenzniveau wird direkt als Wahrscheinlichkeit für die korrekte Einstufung in einen guten oder nicht guten Zustand verwendet. Für jeden Indikator wird auf diese Weise die Wahrscheinlichkeit oder Sicherheit der Einstufung ermittelt, ob das Bewertungsergebnis klar ober- oder unterhalb des jeweiligen gebietsspezifischen Schwellenwertes liegt. Ein Bewertungsergebnis in der Nähe des Schwellenwertes wird bei einem relativ hohen Standardfehler keine hohe Genauigkeit in der Klasseneinstufung aufweisen, so dass unsicher ist, ob der Indikator tatsächlich im guten oder nicht-guten Zustand ist. Durch eine Erhöhung der Datenanzahl für den nächsten Bewertungszeitraum könnte in solchen Fällen der Standardfehler reduziert und gleichermaßen die Genauigkeit in der Einstufung des Bewertungsergebnisses erhöht werden.

In Abbildung 9 wird das Schema der Konfidenzbewertung im COMPEAT-Tool mit allen verwendeten Teilaspekten in einer Übersicht dargestellt. Für die COMP4-Bewertung wurde eine einfache Mittelwertbildung zwischen den verschiedenen Konfidenzaspekten für die Integration der zeitlichen und räumlichen sowie der Gesamt-Konfidenz vorgenommen. Für die nächste COMP5-Bewertung könnten über gewichtete Mittelwerte einzelne Aspekte stärker bewertet werden, falls sich aus der Analyse der ersten Anwendung der Konfidenzbewertung entsprechende Anpassungsanforderungen ergeben sollten.

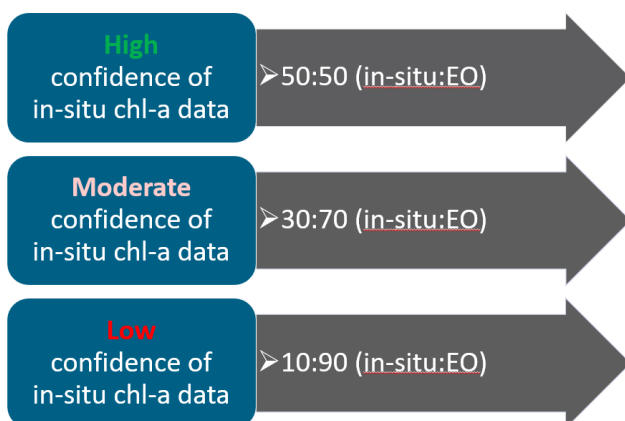
Abbildung 9: Schema der Konfidenzbewertung im OSPAR COMPEAT-Tool für die Ermittlung der Vertrauenswürdigkeit pro Indikator.



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

Die Konfidenzergebnisse werden in der Chlorophyll-a-Bewertung auch genutzt, um die unterschiedlichen Datentypen (in-situ und Satellitendaten) zusammen zu bringen. Die beiden Datentypen werden unterschiedlich gewichtet in Abhängigkeit von der zeitlichen und räumlichen Konfidenz der in-situ-Daten, um ein Gesamtergebnis zu erreichen. Eine geringe Konfidenz der in-situ-Daten führt dabei zu einer höheren Gewichtung der Satellitendaten. Eine Übersicht zu der Gewichtung von Chlorophyll in-situ und Satellitendaten ist Abbildung 10 zu entnehmen.

Abbildung 10: Übersicht zur Gewichtung von Chlorophyll-a in-situ und Satellitendaten (EO=Earth Observation Data) in Abhängigkeit von den Bewertungsergebnissen der räumlichen und zeitlichen Konfidenz der in-situ-Daten.



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

Dieser pragmatische Ansatz wurde gewählt, um eine generelle einfache Mittelwertbildung unabhängig von der Anzahl verfügbarer in-situ-Daten zu vermeiden. Zukünftig soll auch für die Satellitendaten eine quantitative Konfidenzbewertung erfolgen, um die Methode für die Kombination der verschiedenen Datentypen für die nächste COMP5-Bewertung zu verbessern.

Eine detaillierte Beschreibung der Konfidenzbewertung inklusive der in der COMP4-Bewertung verwendeten Klassengrenzen der verschiedenen Konfidenzaspekte und der Integrationsregeln für das Gesamtergebnis ist in Anhang 13 der überarbeiteten Common Procedure enthalten (OSPAR Agreement 2022-07).

2.1.7 Operationalisierung COMPEAT-Tool

Im Rahmen der Überarbeitung der Common Procedure und zur Umsetzung des operativen Ziels S1.01 der Nordost-Atlantikstrategie (NEAES 2030) wurde für die Eutrophierungsbewertung das automatische Werkzeug COMPEAT entwickelt und für COMP4 angewendet. COMPEAT wird von ICES im Rahmen des OSPAR-Vertrags und des jährlichen Arbeitsprogramms betrieben. Der für die Bewertung erstellte R-Code ist auf GitHub ([COMPEAT Master](#)) frei verfügbar und erfüllt damit die Voraussetzungen für eine transparente Bewertung. Die OSPAR-Eutrophierungsdaten werden im Rahmen des Gemeinsamen Bewertungs- und Überwachungsprogramms (JAMP) erhoben und von allen Vertragsstaaten jährlich an den ICES gemeldet, der für die Verarbeitung und Speicherung der Daten verantwortlich ist. Aus den ICES-Datenbanken werden die relevanten Eutrophierungsdaten extrahiert und stellen in COMPEAT die Datenbasis für die Bewertung der verschiedenen Indikatoren dar. Daten, die außerhalb des OSPAR Überwachungsprogramms erhoben werden oder auf Basis besonderer Vereinbarungen für Satellitendatenprodukte zur Verfügung gestellt werden (OSPAR-Vertrag mit RBINS und Brockmann Consult für Chlorophyll-Fernerkundungsdaten) oder auch Daten, die im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie bewertet wurden, können auf verschiedenen Ebenen in COMPEAT als Messdaten, EQR-Werte oder bereits normierte EQRS-Werte einbezogen werden. Auf Basis der verfügbaren Daten wird ein großer Datenfile zusammengestellt, der die Grundlage für die Stationszuordnung in die verschiedenen Bewertungsgebiete und die indikator-spezifischen Berechnungen bildet. So werden für die Nährstoffe und Chlorophyll-a Mittelwerte der Konzentrationen an der Oberfläche (0-10m der Wassersäule) oder das 5. Perzentil für bodennahe Sauerstoffkonzentrationen für die jeweils festgelegte Bewertungssaison berechnet. Wenn ein signifikanter Zusammenhang zwischen Nährstoffen und Salzgehalten in den Bewertungsgebieten besteht, so wird dies durch entsprechend normierte Nährstoffkonzentrationen in den weiteren Berechnungsschritten der Bewertung berücksichtigt.

Neben dem COMP4-Bewertungszeitraum ist auch eine rückwärtige Bewertung der früheren COMP-Perioden möglich unter den aktuell vereinbarten Bedingungen für die Gebietseinteilung und die verwendeten Schwellenwerte. Das R-Skript wurde entsprechend angepasst, so dass die verschiedenen COMP-Zeiträume und ihre jeweiligen Datenzusammenstellungen aus der ICES-Datenbank ausgewählt werden können für die Bewertung. Auf diese Weise können Entwicklungen im Verlauf der verschiedenen COMP-Perioden untersucht werden.

Das COMPEAT-Tool wurde basierend auf dem bei HELCOM für die Eutrophierungsbewertung verwendeten HEAT-Tool entwickelt und für OSPAR-spezifische Aspekte der Bewertung wie z.B. die Integrationsregeln der verwendeten Indikatoren angepasst. Der Prozess der Weiterentwicklungen von HEAT und COMPEAT lief weitestgehend parallel in den regionalen Übereinkommen von OSPAR und HELCOM, so dass Anpassungen für die Ostsee auch für die Nordsee aufgenommen wurden und umgekehrt und entsprechende Synergie-Effekte genutzt werden konnten, soweit dies relevant war. Dies betraf vor allem die Skalierung der Bewertungsergebnisse und die Konfidenzbewertung. Insbesondere die Vertragsstaaten mit Anteilen in beiden Meeren wie Deutschland, Dänemark und Schweden profitieren von dieser gemeinsamen Entwicklung und einer so weit wie möglich harmonisierten

Eutrophierungsbewertung für eine bessere Vergleichbarkeit der Bewertungsergebnisse in den verschiedenen Regionen.

In Tabelle 4 sind die verschiedenen Bewertungsparameter (gemeinsame Indikatoren und zusätzliche Parameter) mit ihrer spezifischen Bewertungssaison und Angaben zu den relevanten Tiefenbereichen zusammengestellt. In COMP4 wurde pro Bewertungsparameter eine einheitliche Bewertungssaison für alle Gebiete verwendet. Für COMP5 soll im Zusammenhang mit einer Überarbeitung der Schwellenwerte eine gebietsspezifische Anpassung erfolgen, um den regionalen Unterschieden in dem großen OSPAR-Bewertungsgebiet (OSPAR Regionen II, III und IV) gerecht zu werden und z.B. die unterschiedliche Entwicklung von Algenblüten in den verschiedenen Gebieten zu berücksichtigen.

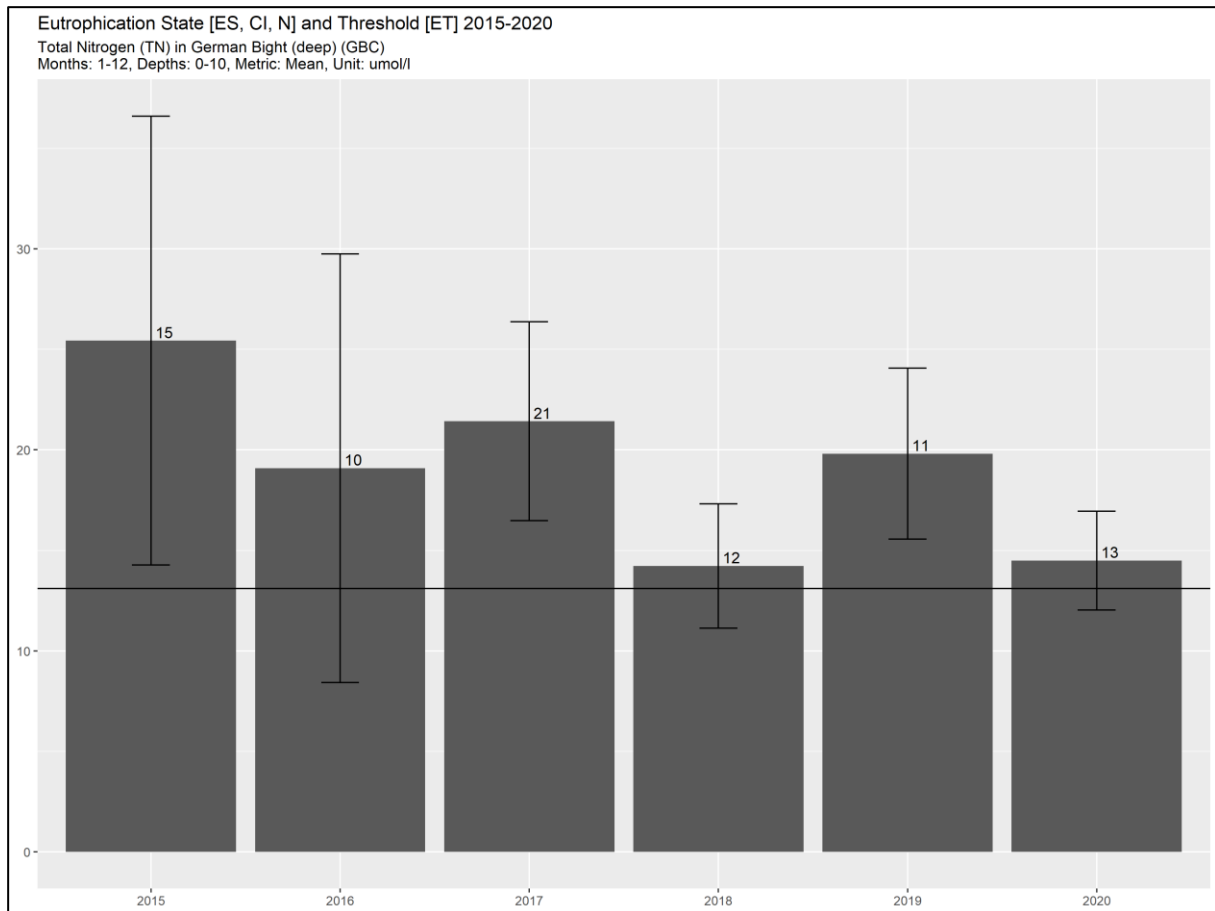
Tabelle 4: Bewertungsparameter mit parameter-spezifischen Informationen zum Tiefenbereich und der Bewertungssaison wie im COMPEAT-Tool für COMP4 angewendet.

Bewertungsparameter	Tiefenbereich	Bewertungssaison
Gelöste anorganische Nährstoffe (DIN, DIP)	0-10m	Dezember-Februar
Gesamtnährstoffe (TN, TP)	0-10m	Januar-Dezember
Chlorophyll-a	0-10m	März-September
Gelöster Sauerstoff	bis maximal 10m über Boden	Juli-Oktober
Sichttiefe	Oberfläche	März-September

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Zusammenstellung basiert auf OSPAR Agreement 22-07 Common Procedure, Annex 5.

Für die Eutrophierungsbewertung in COMPEAT werden verschiedene Ausgabedateien und Karten zur Verfügung gestellt, die nach Durchlaufen des R-Skriptes in einem „Output“-Ordner gesammelt werden. Neben den verschiedenen Daten der Indikatorbewertung (jährlich und für den gesamten Bewertungszeitraum) und den integrierten Ergebnissen in Form von Excel-Tabellen, werden auch Säulendiagramme für die verschiedenen Indikatoren pro Bewertungsgebiet und farbige Karten mit den Zustandseinstufungen erstellt. Das in Abbildung 11 dargestellte Beispiel zeigt die TN-Konzentrationen im Gebiet Zentrale Deutsche Bucht im COMP4-Zeitraum 2015-2020. Die TN-Konzentrationen lagen in allen Jahren über dem Schwellenwert und wurden in die Klasse „unbefriedigend“ eingestuft wie der Kartendarstellung in Abbildung 12 zu entnehmen ist (blaue Markierung).

Abbildung 11: Säulendiagramm aus COMPEAT für die TN-Konzentrationen im COMP4-Zeitraum 2015-2020 im Gebiet Zentrale Deutsche Bucht. Der gebietsspezifische Schwellenwert für TN ist als schwarze Linie dargestellt. Über den Säulen ist die Anzahl der jährlichen Messdaten angegeben sowie die Fehlerbalken der Standardabweichung.



Quelle: COMPEAT-Tool verfügbar bei [GitHub](#), Durchführung des R-Skripts für die Bewertungsperiode 2015-2020.

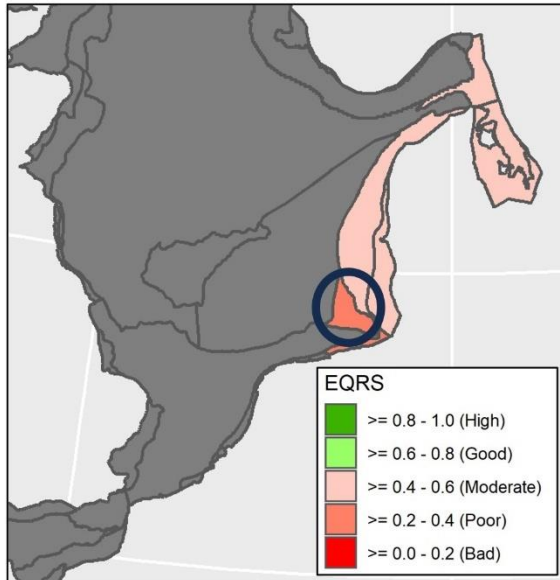
Durch die Einführung der neuen Skalierung und die fünfstufige Klassifizierung ist auch eine bessere Einschätzung der Entfernung zum Schwellenwert (distance to target) möglich mit einer entsprechenden Visualisierung in den Ergebniskarten, die im COMPEAT-Tool auf verschiedenen Ebenen für die Indikatoren, Kategorie-Ergebnisse und die Gesamtbewertung erzeugt werden (s. Abbildung 18 und weitere Abbildungen im Ergebnisteil in Kapitel 4).

Abbildung 12: Zustandseinstufung für TN im COMP4-Zeitraum 2015-2020 in den Gebieten, für die gemeinsame Schwellenwerte vereinbart werden konnten. Die blaue Markierung zeigt das Gebiet Zentrale Deutsche Bucht an.

Eutrophication Status 2015-2020

Total Nitrogen (TN)

Months: 1-12, Depths: 0-10, Metric: Mean

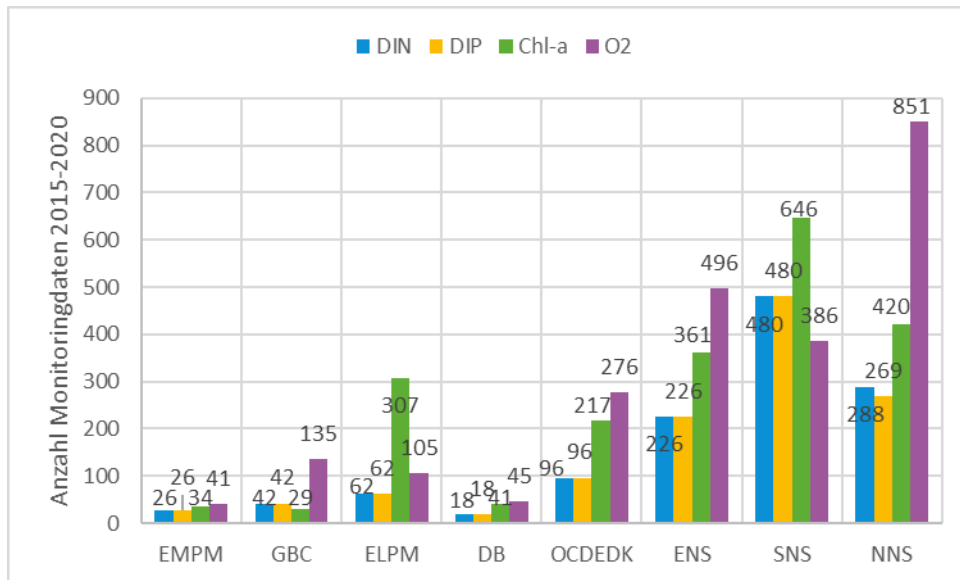


Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Abbildung basiert auf Ergebnissen des COMPEAT-Tools für die Bewertungsperiode 2015-2020.

2.2 Datengrundlagen

Für die COMP4-Bewertung wurden aus der ICES-Datenbank alle verfügbaren Daten für die verwendeten Indikatoren in einem großen Datenfile zusammengestellt. Je nach indikatorspezifischer Anforderung an den Tiefenbereich und die Bewertungsaison wurden die relevanten Daten den verschiedenen Bewertungsgebieten zugeordnet. Für die gemeinsamen Indikatoren DIN, DIP, Chlorophyll-a und Sauerstoff ist die Anzahl der Monitoringdaten, die in die COMPEAT-Bewertung eingegangen sind, in Abbildung 13 dargestellt.

Abbildung 13: Anzahl der Monitoringdaten für die gemeinsamen Indikatoren (DIN, DIP, Chlorophyll-a (in-situ-Daten), Sauerstoff) im COMP4-Bewertungszeitraum (2015-2020) in den Gebieten, an denen Deutschland einen Anteil hat. Die Gebiete sind nach ihrer Größe aufsteigend von links nach rechts sortiert. Die Anzahl der Monitoringdaten ist über den Säulen der verschiedenen Indikatoren angegeben.

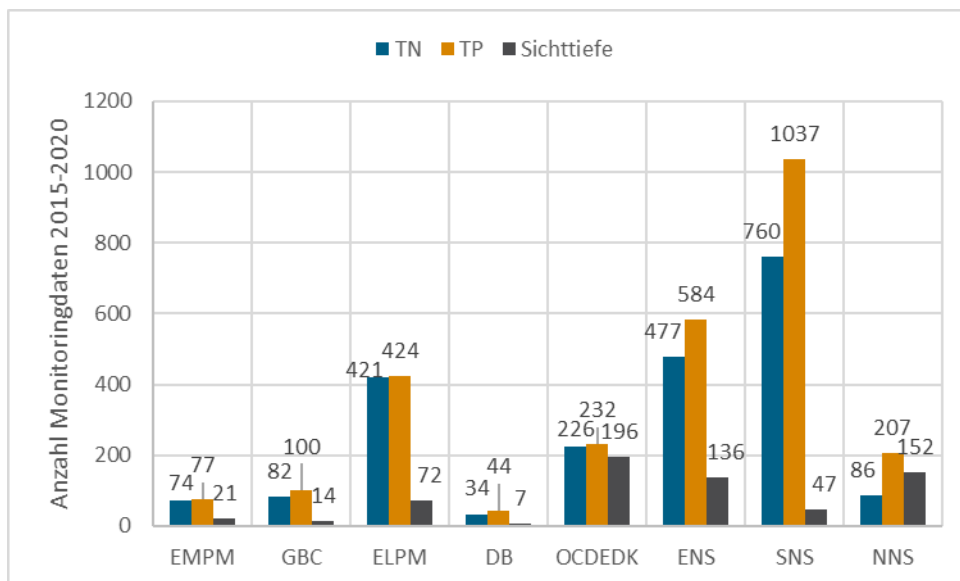


Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

Grundsätzlich ist die Datenmenge in den größeren Gebieten höher als in den kleineren Gebieten, aber die Anzahl der Daten nimmt nicht einheitlich mit der Gebietsgröße zu. So ist die Anzahl der Monitoringdaten in der Doggerbank vergleichsweise gering in Relation zur Gebietsgröße. Auch in der nördlichen Nordsee ist die Datenmenge geringer als im kleineren benachbarten Gebiet der südlichen Nordsee, mit Ausnahme der Sauerstoffmessungen. Das liegt vermutlich in erster Linie an der Lage dieser Gebiete im Bereich der offenen, zentralen Nordsee, die am weitesten von den Küsten entfernt sind und damit auch ein geringes Risiko im Hinblick auf Eutrophierung aufweisen. Die Anzahl der Chlorophyll- und Sauerstoffmessungen ist in der Regel deutlich größer als für Nährstoffe und spiegelt damit auch eine entsprechend der natürlichen Variabilität angepasste Monitoringstrategie wider.

In Abbildung 14 ist eine Übersicht zur Anzahl der verfügbaren Monitoringdaten für die zusätzlichen Parameter TN, TP und Sichttiefe dargestellt. Daran wird deutlich, dass diese zusätzlichen Parameter in einigen Gebieten nur in geringerem Maße gemessen werden und sich dementsprechend für die Einbeziehung in die Bewertung auch nur in einigen Gebieten eignen. Die Einbeziehung der zusätzlichen Parameter wurde bisher nur für die Flussfahnen von Elbe und Ems sowie für die Gebiete Zentrale Deutsche Bucht und OC DEDK vereinbart. Für die nördliche Nordsee liegen im Vergleich zu den umgebenden Gebieten der südlichen und östlichen Nordsee nur wenige Messungen für Gesamtnährstoffe vor. Die Sichttiefe wird in vielen Gebieten generell seltener bestimmt im Vergleich zu den Gesamtnährstoffen. In der nördlichen, östlichen und südlichen Nordsee liegt eine deutlich höhere Anzahl an TP-Messungen vor im Vergleich zu TN, während das Verhältnis in den anderen Gebieten etwa gleich verteilt ist.

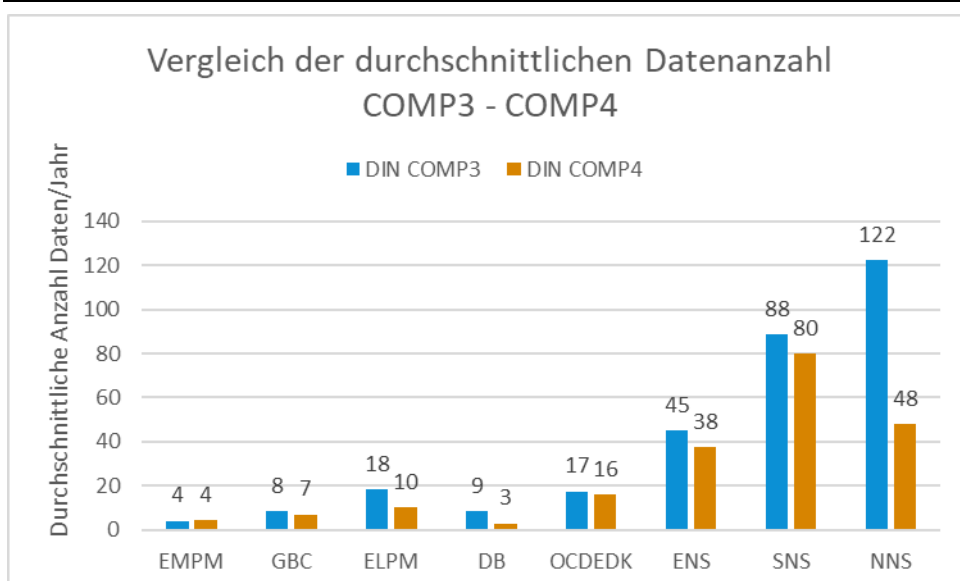
Abbildung 14: Anzahl der Monitoringdaten für die zusätzlichen Parameter (TN, TP, Sichttiefe) im COMP4-Bewertungszeitraum (2015-2020) in den Gebieten, an denen Deutschland einen Anteil hat. Die Gebiete sind nach ihrer Größe aufsteigend von links nach rechts sortiert. Die Anzahl der Monitoringdaten ist über den Säulen der verschiedenen Indikatoren angegeben.



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

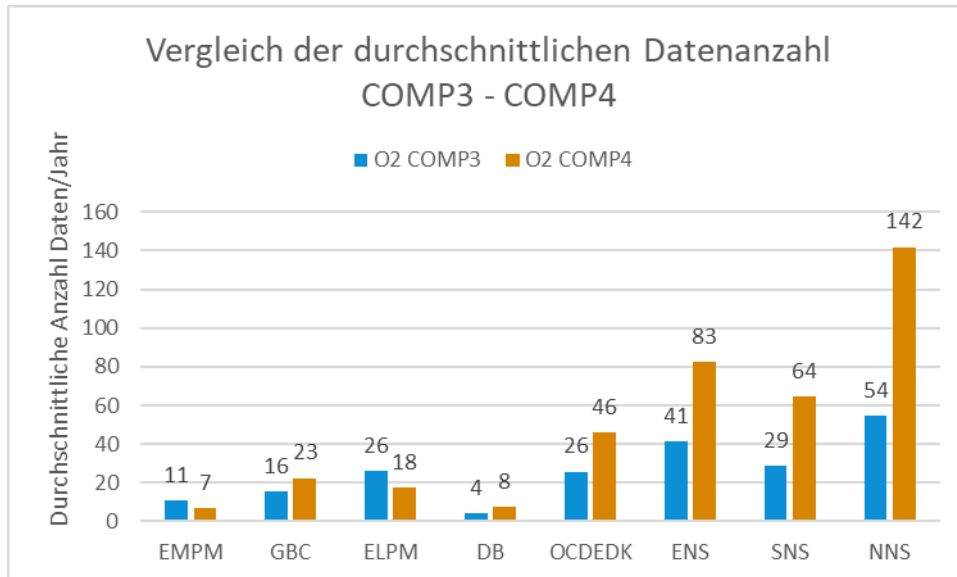
Um einen Vergleich zwischen den unterschiedlich langen COMP3- und COMP4-Bewertungsperioden (9 Jahre vs. 6 Jahre) zur Anzahl der verfügbaren Monitoringdaten vornehmen zu können, wurde die durchschnittliche Datenanzahl pro Jahr ermittelt. In der Abbildung 15 ist exemplarisch für DIN und in Abbildung 16 für Sauerstoff der Vergleich zwischen den beiden Bewertungsperioden dargestellt. Während die Datenanzahl für DIN insgesamt abnimmt im COMP4-Zeitraum, ist die durchschnittliche Anzahl der Daten für Sauerstoff seit dem COMP3-Zeitraum gestiegen. In der östlichen, südlichen und nördlichen Nordsee hat sich die Datenanzahl mehr als verdoppelt, während insbesondere in den Flussfahnen von Elbe und Ems weniger Sauerstoffdaten für COMP4 vorliegen verglichen mit der COMP3-Periode.

Abbildung 15: Vergleich der durchschnittlichen Datenanzahl pro Jahr für DIN-Monitoringdaten zwischen der COMP3- und COMP4-Bewertungsperiode. Die Gebiete sind nach ihrer Größe aufsteigend von links nach rechts sortiert. Die Anzahl der Monitoringdaten ist über den Säulen angegeben.



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

Abbildung 16: Vergleich der durchschnittlichen Datenanzahl pro Jahr für Sauerstoff-Monitoringdaten zwischen der COMP3- und COMP4-Bewertungsperiode. Die Gebiete sind nach ihrer Größe aufsteigend von links nach rechts sortiert. Die Anzahl der Monitoringdaten ist über den Säulen angegeben.

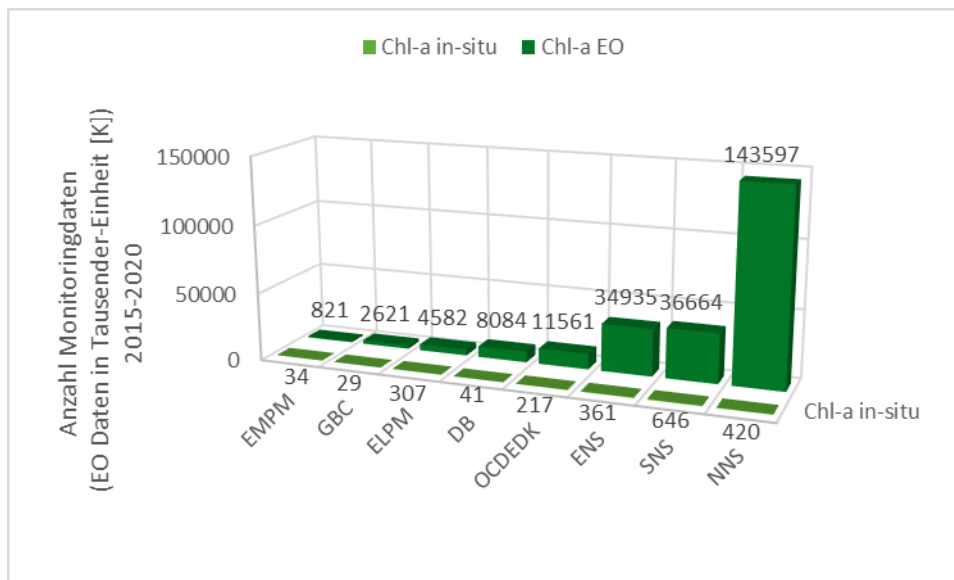


Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

Die Datenanzahl für Chlorophyll-a hat sich durch die Einbeziehung von Satellitendaten im Vergleich zu den vorangegangenen OSPAR-Bewertungen signifikant erhöht und wird in Kapitel 2.3.2 zu den Ergebnissen der direkten Effekte genauer beschrieben. Auf Basis einer Vereinbarung zwischen OSPAR und des Royal Belgian Institute of Natural Sciences (RBINS) in Kooperation mit Brockmann Consult aus Deutschland wurden für die COMP4-Bewertung verschiedene Datenprodukte für Chlorophyll-a-Konzentrationen pro Bewertungsgebiet in täglicher, monatlicher und jährlicher/saisonaler Auflösung für den Zeitraum 1998-2020 zur Verfügung gestellt. Die Satellitendaten wurden mit in-situ Messungen validiert und durch die Anwendung verschiedener Algorithmen wurde eine gebietspezifische Anpassung im Hinblick auf unterschiedliche Trübungsverhältnisse sichergestellt (klares Wasser, Küstengewässer mit unterschiedlich hoher Trübung, Gewässer mit hohen Chlorophyll-Gehalten (z.B. Kattegat)). Die saisonalen Mittelwerte wurden in das COMPEAT-Tool einbezogen und mit den Chlorophyll-a in-situ Daten zu einem Gesamtergebnis kombiniert. Die prozentuale Gewichtung von in-situ und Satellitendaten ist dabei abhängig von der räumlichen und zeitlichen Konfidenz der in-situ-Daten. Je geringer die Konfidenz der in-situ-Daten, umso geringer ist der Anteil am Chlorophyll-a Gesamtergebnis. Die genauen Integrationsregeln sind in Kapitel 2.1.6 zur Konfidenzbewertung dargestellt. In Abbildung 17 werden die verfügbaren Chlorophyll-a in-situ und Satellitendaten für den COMP4-Bewertungszeitraum 2015-2020 in den Gebieten mit deutschem Anteil dargestellt, um die sehr unterschiedliche Anzahl der beiden verschiedenen Datentypen zu veranschaulichen. Die Datenanzahl für die Satellitendaten ist für eine bessere Übersichtlichkeit in Tausender-Einheiten (K) im Diagramm angegeben. Entsprechend ist die Datenanzahl von 821 in der Emsfahne gleichzusetzen mit 821.000 Satellitendaten, die für die Bewertung in diesem Gebiet verwendet wurden, sowie 34 in-situ Daten im gesamten Bewertungszeitraum. Die Anzahl

der Satellitendaten steigt mit zunehmender Gebietsgröße, während dies für die Chlorophyll-a in-situ Daten nicht der Fall ist.

Abbildung 17: Anzahl der Chlorophyll-a Monitoringdaten für in-situ und Satellitendaten (EO) in den Gebieten mit deutschem Anteil im COMP4-Bewertungszeitraum 2015-2020. Die Gebiete sind nach ihrer Größe aufsteigend von links nach rechts sortiert. Die Anzahl der Monitoringdaten ist über bzw. unter den Säulen der verschiedenen Chlorophyll-a Datentypen angegeben.



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

2.3 Bewertungsergebnisse offene See – Regionale Anwendung der COMP

Nach der gemeinsamen Überarbeitung der COMP-Methode und der Abstimmung neuer Bewertungsgebiete und Schwellenwerte auf OSPAR-Ebene wurden aus der ICES-Datenbank die verfügbaren Daten zusammengestellt und von den Vertragsstaaten vor der Anwendung im COMPEAT-Tool geprüft. Nach verschiedenen Korrekturen wurde der finale Bewertungslauf im COMPEAT-Tool im Sommer 2022 durchgeführt. Da die automatisierte Bewertung in COMPEAT nur wenig Zeit in Anspruch nimmt, können bei festgestellten Fehlern oder notwendigen Datenanpassungen schnell weitere Bewertungsläufe erfolgen.

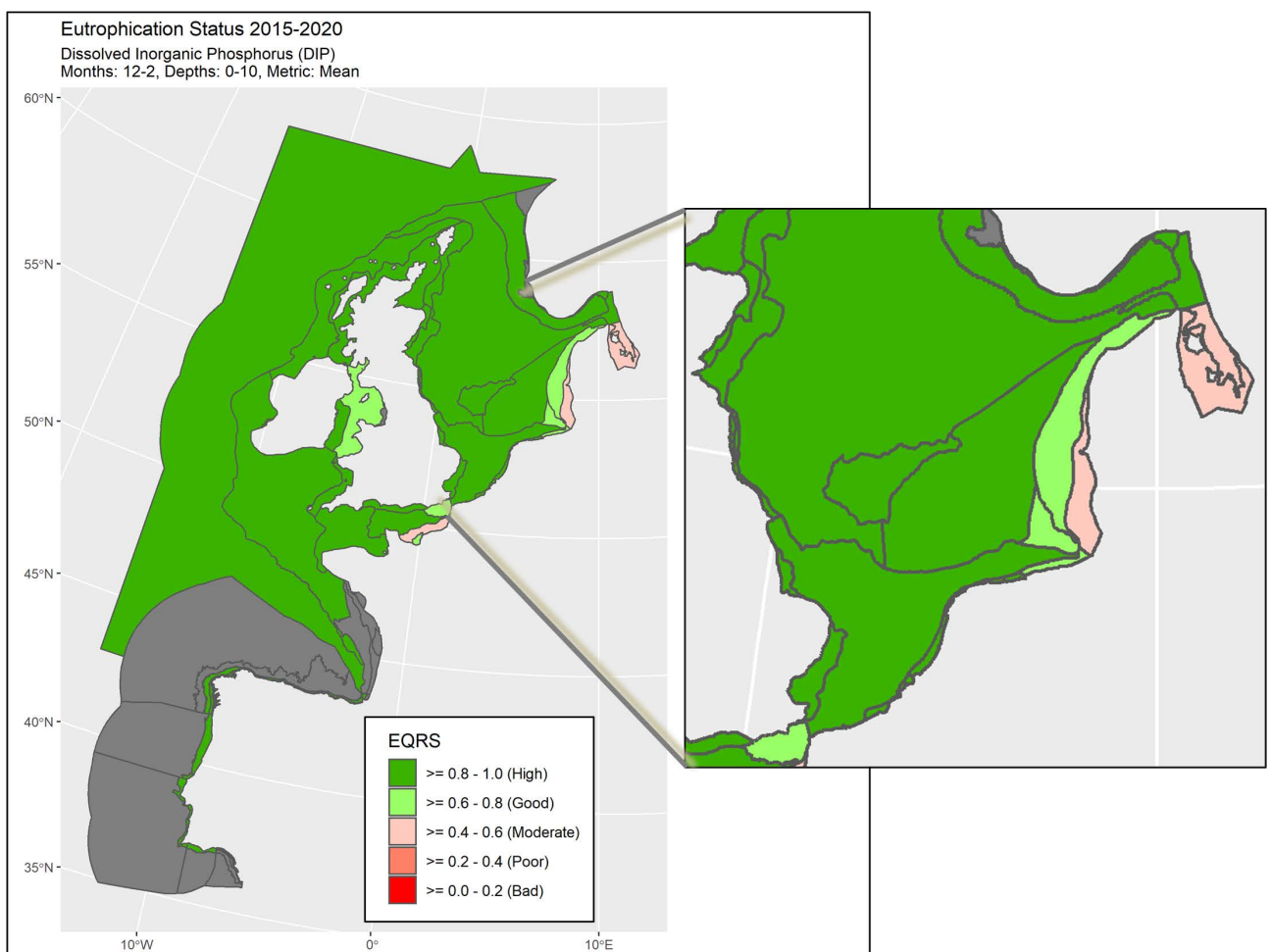
2.3.1 Nährstoffanreicherung (Kategorie 1)

In der Kategorie der Nährstoffanreicherung werden bei OSPAR neben den Nährstoffkonzentrationen auch die Nährstoffeinträge berücksichtigt. Der Common Indicator zu den Nährstoffeinträgen für Stickstoff und Phosphor wird aber nicht direkt in das integrierte Gesamtergebnis im COMPEAT-Tool einbezogen, sondern dient der Interpretation der Eutrophierungsbewertungsergebnisse. Insgesamt sind die Nährstoffeinträge im COMP4-Bewertungszeitraum 2015-2020 weiter zurückgegangen, wobei für Stickstoff in erster Linie die atmosphärischen Einträge abgenommen haben. Die wasserbasierten Stickstoffeinträge zeigten dagegen größere interannuelle Schwankungen, aber keine klare Abnahme. Detaillierte Ergebnisse zu den Nährstoffeinträgen sind auf der OSPAR Webseite unter den Indikatorbewertungen des QSR 2023 verfügbar ([OSPAR Common Indicator Nutrient Inputs](#)).

Für den Indikator Nährstoffkonzentrationen wurden die gelösten anorganischen Winternährstoffe DIN und DIP sowie in einigen Gebieten auch die ganzjährigen Gesamtnährstoffe TN und TP bewertet. Von den acht Bewertungsgebieten mit deutschem Anteil wiesen vier Gebiete (Elbe- und Ems-Flussfahnen sowie die Küstengewässer Äußeres Küstenwasser DEDK und Zentrale Deutsche Bucht) DIN-Konzentrationen über den Schwellenwerten auf, während die großen Gebiete in der zentralen, östlichen und südlichen Nordsee die Schwellenwerte unterschritten und damit für DIN einen guten Zustand anzeigten (Abbildung 18).

Die DIP-Konzentrationen lagen in fast allen Gebieten im Zeitraum 2015-2020 unterhalb der Schwellenwerte und zeigten einen guten Zustand (gut oder sehr gut) an. Nur in der Elbefahne wurde der Schwellenwert noch überschritten und der Zustand als „mäßig“ eingestuft ().

Abbildung 18: Bewertungsergebnisse für Winter-DIP im Zeitraum 2015-2020 in den OSPAR-Regionen II, III und IV sowie ein Zoom-In für die zentrale Nordsee. Bewertungsgebiete, in denen aufgrund mangelnder Daten keine DIP-Bewertung möglich war, sind grau dargestellt.



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Abbildung basiert auf Ergebnissen des COMPEAT-Tools für die Bewertungsperiode 2015-2020.

In vier Bewertungsgebieten wurden zusätzlich zu DIN und DIP auch die Gesamtnährstoffe TN und TP bewertet, da in den mit Dänemark geteilten Gebieten die Festlegung von gemeinsamen Schwellenwerten möglich war. Überwiegend folgten die Bewertungsergebnisse der

Gesamtnährstoffe denen der gelösten Nährstoffe. Nur in der Emsfahne war die Klasseneinstufung für DIP bereits gut, während TP noch als mäßig eingestuft wurde. Die Ergebnisse aller Parameter in den Bewertungsgebieten, an denen Deutschland einen Anteil hat, sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: Übersicht der Bewertungsergebnisse für die Nährstoffe DIN, DIP, TN und TP im Zeitraum 2015-2020 in den Gebieten mit deutschem Anteil.

Name	Gewässer-kategorie	DIN	DIP	TN	TP
Elbefahne	Flussfahne	unbefriedigend	mäßig	mäßig	mäßig
Emsfahne	Flussfahne	unbefriedigend	gut	unbefriedigend	mäßig
Zentrale Deutsche Bucht	Küste	unbefriedigend	gut	unbefriedigend	sehr gut
Äußeres Küstenwasser DEDK	Küste	mäßig	gut	mäßig	sehr gut
Südliche Nordsee	Küste	gut	sehr gut	-	-
Doggerbank	Schelf	sehr gut	sehr gut	-	-
Östliche Nordsee	Schelf	sehr gut	sehr gut	-	-
Nördliche Nordsee	Schelf	sehr gut	sehr gut	-	-

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Farben gemäß OSPAR-Klassifizierung.

Zusammenfassend ergaben sich für die integrierten Ergebnisse für Stickstoff aus DIN und TN sowie für Phosphor aus DIP und TP die in Tabelle 6 zusammengestellten Stufeneinstufungen. In COMP4 wurden die Ergebnisse für Stickstoff und Phosphor durch einfache Mittelwertbildung der gelösten und Gesamtnährstoff-Komponenten ermittelt. Für die nächste COMP5-Bewertung könnte für die Einbeziehung der Gesamtnährstoffe in weiteren Gebieten auch eine Gewichtung vereinbart werden, um z.B. eine unterschiedliche Datenverfügbarkeit oder gebietspezifische Charakteristika zu berücksichtigen.

Tabelle 6: Integrierte Bewertungsergebnisse für Stickstoff (DIN und TN) und Phosphor (DIP und TP) in der Kategorie 1 für die Nährstoffanreicherung im Zeitraum 2015-2020 in den Gebieten mit deutschem Anteil.

Name	Gewässer-kategorie	Kategorie 1 (N)	Kategorie 1 (P)
Elbefahne	Flussfahne	unbefriedigend	mäßig
Emsfahne	Flussfahne	unbefriedigend	mäßig
Zentrale Deutsche Bucht	Küste	unbefriedigend	gut
Äußeres Küstenwasser DEDK	Küste	mäßig	sehr gut
Südliche Nordsee	Küste	gut	sehr gut
Doggerbank	Schelf	sehr gut	sehr gut
Östliche Nordsee	Schelf	sehr gut	sehr gut

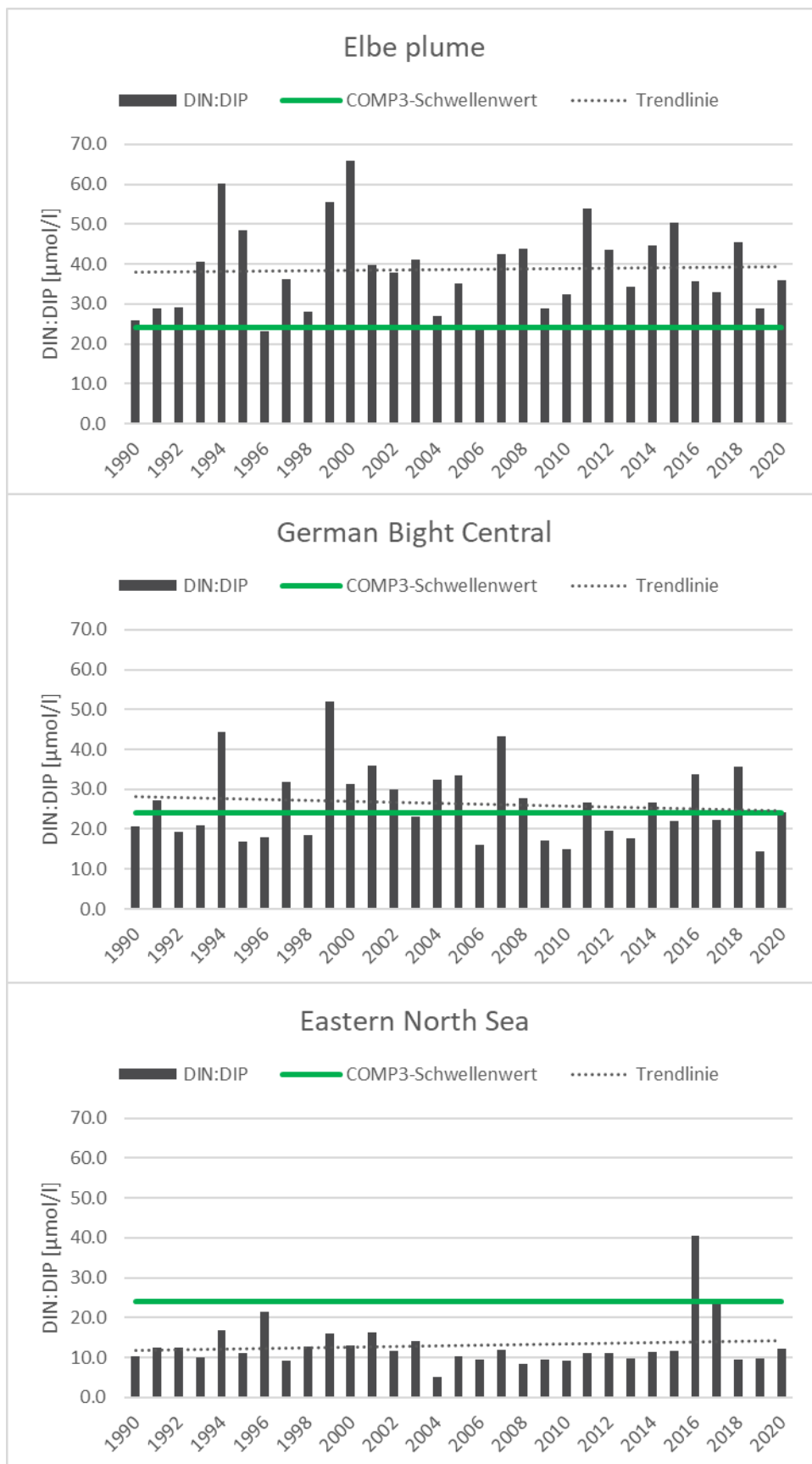
Name	Gewässer-kategorie	Kategorie 1 (N)	Kategorie 1 (P)
Nördliche Nordsee	Schelf	sehr gut	sehr gut

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Farben gemäß OSPAR-Klassifizierung.

Das N:P Nährstoffverhältnis wurde in der letzten COMP3-Bewertung in der Kategorie 1 der Nährstoffanreicherung berücksichtigt und mit einem Schwellenwert von 24 (50% über dem Redfield-Verhältnis von 16:1) zusammen mit den Nährstoffkonzentrationen in die Bewertung einbezogen. Für die COMP4-Bewertung konnte keine Vereinbarung auf OSPAR-Ebene für die N:P Bewertung auf Basis dieses Schwellenwerts erreicht werden, so dass das Nährstoffverhältnis zwar im COMPEAT-Tool berechnet, aber nicht direkt in das integrierte Bewertungsergebnis einbezogen worden ist. Der Verlauf der N:P Verhältnisse ist in Abbildung 19 für ausgewählte Gebiete für den gesamten Bewertungszeitraum von 1990-2020 dargestellt. Die Entwicklung der Nährstoffverhältnisse in den verschiedenen Gebieten kann für die Interpretation der Eutrophierungsergebnisse genutzt werden, aber sie ist insbesondere für die Verknüpfung mit den pelagischen Indikatoren in Bezug auf die Auswirkungen von Belastungen und veränderten Umgebungsbedingungen auf die Planktongemeinschaften wichtig.

Es wurden drei verschiedene Gebiete exemplarisch für die Kategorien von Flussfahnen, Küstengewässern und Schelfgebieten ausgewählt entlang des Gradienten von der Elbe über die Zentrale Deutsche Bucht bis in die östlichen offenen Nordseegewässer (Abbildung 19). Während die Nährstoffverhältnisse in der Zentralen Deutschen Bucht eine Abnahme über den gesamten Zeitraum 1990-2020 zeigen, wurde sowohl in der Elbefahne als auch im Gebiet Östliche Nordsee eine leichte Zunahme der DIN:DIP Verhältnisse ermittelt. Dabei wurde die Zunahme im Gebiet Östliche Nordsee im Wesentlichen durch zwei Jahre mit außergewöhnlich hohen Nährstoffverhältnissen in den Jahren 2016 und 2017 bestimmt. Die vergleichsweise hohen DIN:DIP Verhältnisse dieser beiden Jahre wurden nicht durch überdurchschnittlich hohe DIN-Konzentrationen, sondern durch sehr niedrige DIP-Konzentrationen beeinflusst. Ohne Berücksichtigung dieser beiden außergewöhnlichen Jahre würde sich für das Gebiet Östliche Nordsee eine deutliche Abnahme im DIN:DIP Verhältnis über den gesamten Zeitraum ergeben. Wenn der Mittelwert der DIN:DIP Verhältnisse für den COMP4-Bewertungszeitraum 2015-2020 in den verschiedenen Gebieten in Relation zum bisher verwendeten COMP3-Schwellenwert gesetzt würde, so würden sich in den Gebieten der Elbefahne mit 38,2 und der zentralen Deutschen Bucht mit 25,4 Überschreitungen ergeben, während das N:P Verhältnis in der östlichen Nordsee mit 17,9 klar unterhalb des Schwellenwerts liegen würde. Die deutlich stärkeren interannuellen Schwankungen in der Elbefahne und der zentralen Deutschen Bucht im Vergleich zum Gebiet der östlichen Nordsee spiegeln die deutlich höhere Variabilität im Einflussbereich der Elbe wider, während die jährlichen Unterschiede mit zunehmender Entfernung von der Küste entlang des Gradienten in Richtung offene See geringer werden. Zukünftig sollten die Nährstoffverhältnisse genauer analysiert werden in Bezug auf die verursachenden Faktoren und stärker in die Eutrophierungsbewertung und auch in die pelagische Bewertung einbezogen und für die Interpretation der Ergebnisse genutzt werden.

Abbildung 19: Entwicklung der Nährstoffverhältnisse (DIN:DIP) in ausgewählten Gebieten im Zeitraum 1990-2020. Der für COMP3 verwendete Schwellenwert ist zur Orientierung als grüne gestrichelte Linie markiert.



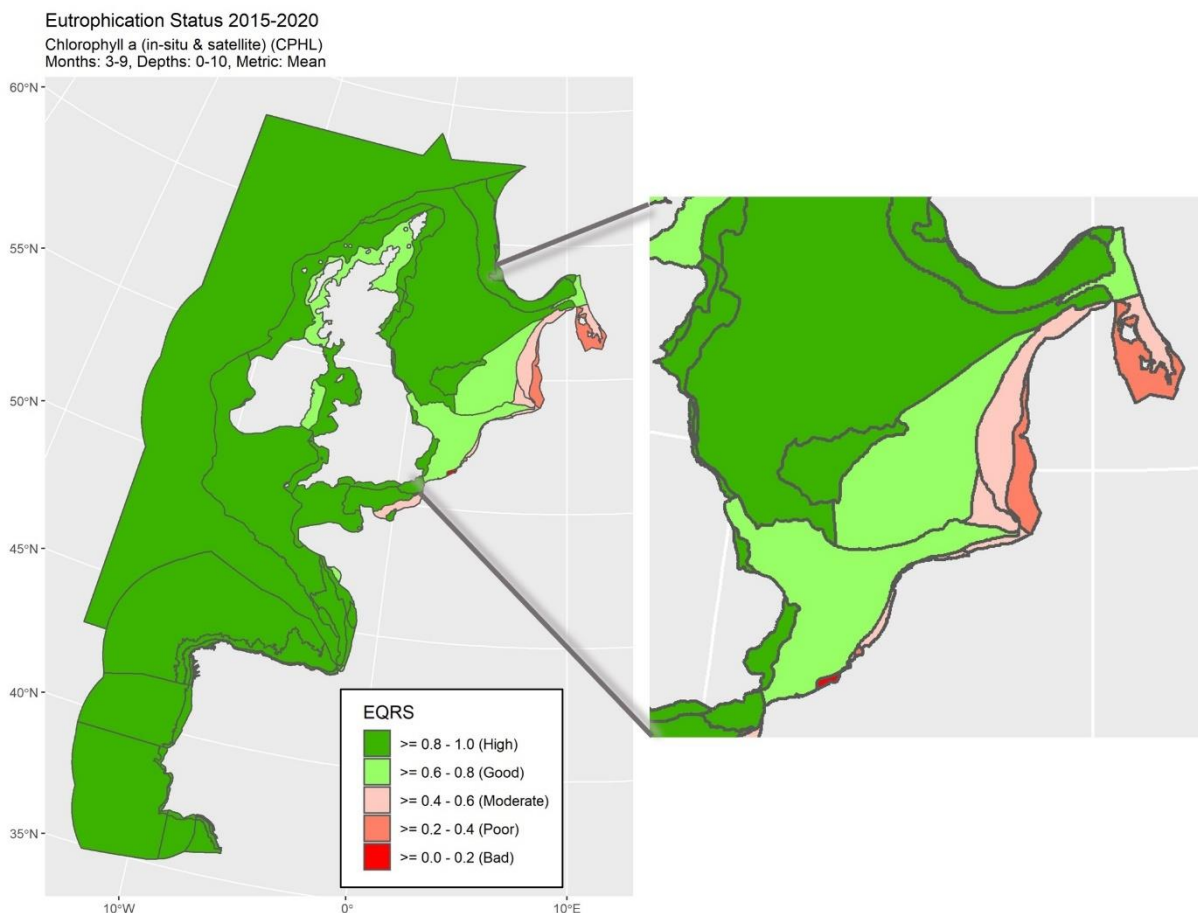
Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

2.3.2 Direkte Effekte (Kategorie 2)

Die Chlorophyll-a-Bewertung hat sich seit der letzten COMP3-Bewertung durch die Einbeziehung von Satellitendaten zusätzlich zu in-situ-Daten deutlich verbessert. Dadurch wurde eine solide Datengrundlage erreicht, die der hohen natürlichen Variabilität dieses Parameters besser gerecht wird als die in einigen Gebieten mitunter nur sporadisch vorliegenden in-situ-Messungen, die die Wachstumsperiode weder zeitlich noch räumlich adäquat abdecken können.

Im COMP4-Bewertungszeitraum wurden die Chlorophyll-a Schwellenwerte im OSPAR-Gebiet überwiegend eingehalten und der gute Zustand erreicht wie in Abbildung 20 anhand der grünen Farbgebung in der Karte erkennbar ist. In der südöstlichen Nordsee entlang der kontinentalen Küste von den Niederlanden bis in die skandinavischen Regionen von Kattegat und Skagerrak wurden dagegen Überschreitungen der Schwellenwerte ermittelt und diese Gebiete als Problemgebiete eingestuft. In den meisten Gebieten wurden übereinstimmend mit erhöhten Chlorophyll-a Konzentrationen auch Überschreitungen der Nährstoffe ermittelt, vor allem für Stickstoff.

Abbildung 20: Bewertungsergebnisse für Chlorophyll-a-Konzentrationen im Zeitraum 2015-2020 in den OSPAR-Regionen II, III und IV sowie ein Zoom-In für die zentrale Nordsee.



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Abbildung basiert auf Ergebnissen des COMPEAT-Tools für die Bewertungsperiode 2015-2020.

In Tabelle 7 sind die Bewertungsergebnisse für Chlorophyll-a in den Gebieten mit deutschem Anteil zusammengestellt. In allen Gebieten wurden in-situ Messungen mit Satellitendaten

kombiniert, wobei die Gewichtung der verschiedenen Datentypen abhängig war von der ermittelten Konfidenz der in-situ Daten. Gemäß der vereinbarten Vorgehensweise ist der prozentuale Anteil der Satellitendaten am integrierten Gesamtergebnis umso größer, je geringer die räumliche und zeitliche Konfidenz der in-situ Daten ist. So hatten die in-situ Daten nur einen Anteil von 10% am Chlorophyll-a Gesamtergebnis in der Emsfahne, der zentralen Deutschen Bucht, der nördlichen Nordsee und der Doggerbank aufgrund der geringen zeitlichen und räumlichen Konfidenz. In der Elbefahne, dem Gebiet Äußeres Küstenwasser DEDK und der östlichen und südlichen Nordsee wurden die in-situ Daten aufgrund der hohen zeitlichen und räumlichen Konfidenz dagegen mit 50% berücksichtigt. Die Bewertungsergebnisse für die Chlorophyll-a-Konzentrationen sind gleichermaßen das Ergebnis für die Kategorie 2 der direkten Effekte, weil bisher keine weiteren Parameter wie z.B. schädliche Algenblüten für die Bewertung genutzt wurden.

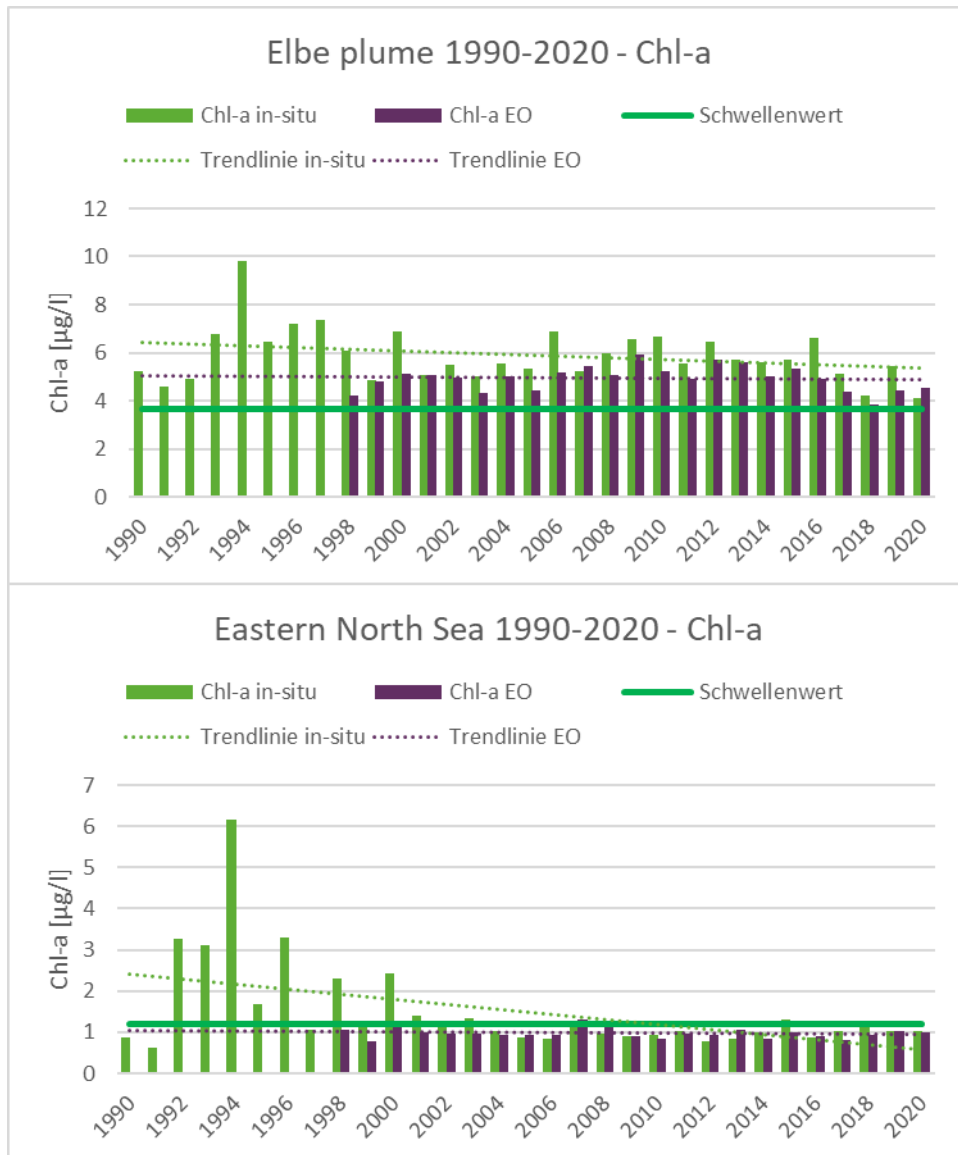
Tabelle 7: Übersicht der Bewertungsergebnisse für Chlorophyll-a im Zeitraum 2015-2020 in den Gebieten mit deutschem Anteil.

Name	Gewässerkategorie	Chl-a (in-situ+EO)	Gewichtung in-situ:EO
Elbefahne	Flussfahne	unbefriedigend	50:50
Emsfahne	Flussfahne	mäßig	10:90
Zentrale Deutsche Bucht	Küste	mäßig	10:90
Äußeres Küstenwasser DEDK	Küste	unbefriedigend	50:50
Südliche Nordsee	Küste	gut	50:50
Doggerbank	Schelf	sehr gut	10:90
Östliche Nordsee	Schelf	gut	50:50
Nördliche Nordsee	Schelf	sehr gut	10:90

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Farben gemäß OSPAR-Klassifizierung.

Der Vergleich saisonaler Mittelwerte zwischen in-situ Daten und Satellitendaten in verschiedenen Gebieten zeigte grundsätzlich eine gute Übereinstimmung der beiden unterschiedlichen Datentypen. In einzelnen Jahren kam es aber auch zu Abweichungen, wobei die Satellitendaten überwiegend niedriger lagen als die in-situ Messungen. Nur in wenigen Jahren zeigten die Satellitendaten höhere Chlorophyll-a Konzentrationen an als die in-situ Messungen. Abbildung 21 zeigt den Verlauf der Chlorophyll-a-Konzentrationen auf Basis von in-situ Daten und Satellitendaten in der Elbefahne und der östlichen Nordsee für den Zeitraum 1990-2020. Da Satellitendaten erst ab 1998 vorliegen ist für die früheren Jahre kein Vergleich möglich. Die jeweiligen Trendlinien für in-situ und Satellitendaten beziehen sich daher auf unterschiedliche Zeiträume und erklären damit auch zum Teil den unterschiedlichen Verlauf der Trendlinien, da die höheren Chlorophyll-a-Konzentrationen vor allem in den Jahren vor 1998 ermittelt wurden. Aus diesem Grund zeigen die Trendlinien für die in-situ Daten in beiden Gebieten eine stärkere Abnahme an als die Satellitendaten.

Abbildung 21: Verlauf der Chlorophyll-a Konzentrationen auf Basis von in-situ und Satellitendaten in den Gebieten Elbefahne und Östliche Nordsee im Zeitraum 1990-2020 (Satellitendaten erst ab 1998 verfügbar).



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

Die verschiedenen Datenprodukte der Satellitendaten ermöglichten eine genauere Analyse der Chlorophyll-a-Konzentrationen in den verschiedenen Bewertungsgebieten und den Entwicklungen im Jahresverlauf. Anhand der monatlichen Mittelwerte der Satellitendaten wurde festgestellt, dass in den Monaten außerhalb der Wachstumsperiode (März-September) in einigen Jahren in verschiedenen Gebieten Chlorophyll-a Maxima ermittelt wurden, die aufgrund der einheitlichen Festlegung des Chlorophyll-a-Bewertungszeitraums nicht in den saisonalen Mittelwert einbezogen wurden. Für die nächste COMP5 Bewertung sollen deshalb gebietsspezifische Anpassungen der Bewertungsaison geprüft werden, um z.B. in der südlichen Nordsee durch eine Ausdehnung des Bewertungszeitraums höhere Chlorophyll-a-Konzentrationen in den Monaten Januar/Februar und Oktober/November mit einzubeziehen. Auf diese Weise könnte auch eine Angleichung an das Bewertungskonzept des pelagischen Indikators PH2 für die Bewertung der Phytoplanktonbiomasse anhand von Chlorophyll-a-Konzentrationen erreicht werden und damit eine bessere Vergleichbarkeit der

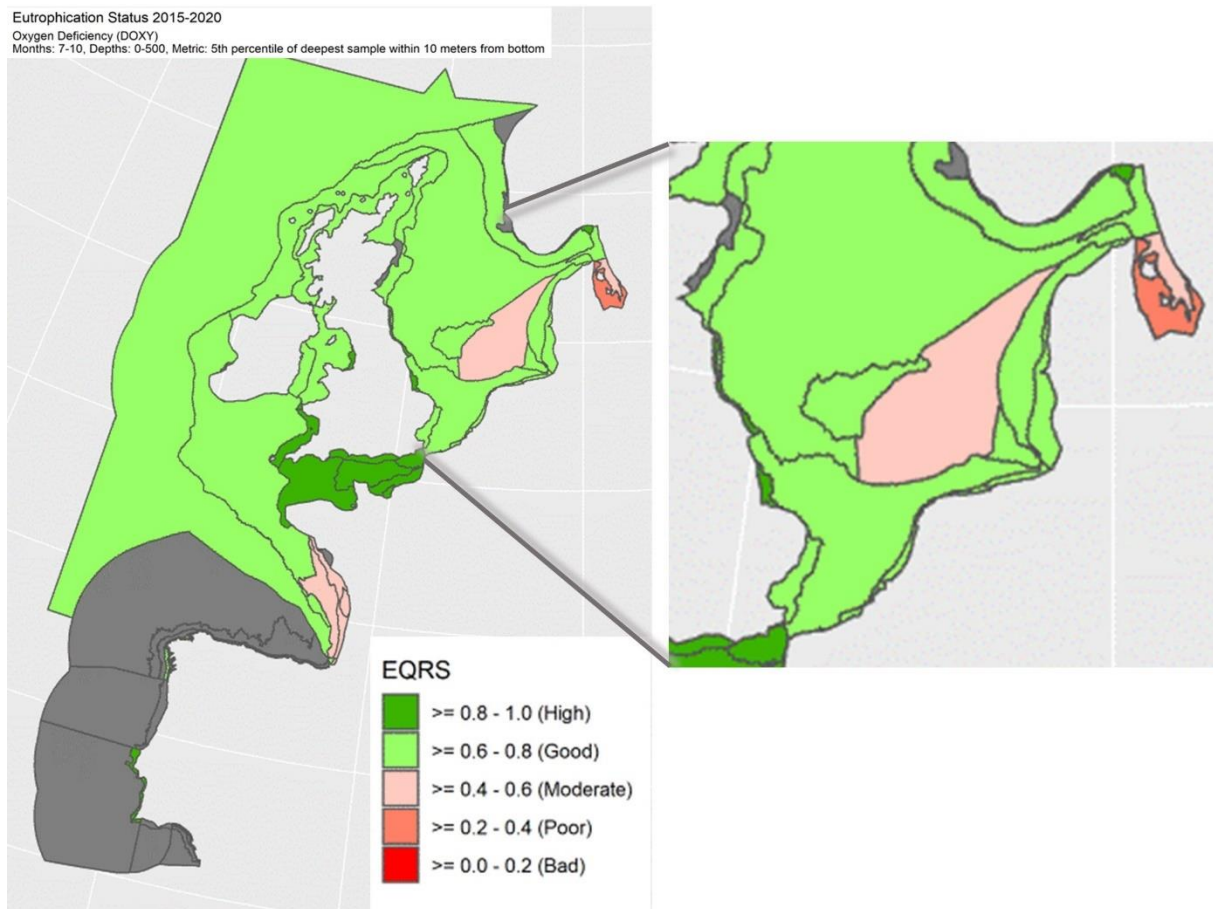
Bewertungsergebnisse unten den verschiedenen Indikatoren der pelagischen Habitatbewertung und der Eutrophierungsbewertung.

2.3.3 Indirekte Effekte (Kategorie 3)

In der Kategorie der indirekten Effekte wurden für die COMP4-Bewertung bodennahe Sauerstoffkonzentrationen und die Sichttiefe berücksichtigt. Für weitere Parameter wie Makrozoobenthos liegen auf OSPAR-Ebene bisher keine abgestimmten Bewertungskonzepte vor.

Das Bewertungskonzept für die Sauerstoffkonzentrationen wurde seit der letzten COMP3-Bewertung überarbeitet und verwendet nun einheitlich die 5. Perzentile für bodennahe Sauerstoffkonzentrationen in allen Gebieten statt der bisher genutzten 25. Perzentile für den Common Indicator und national unterschiedlichen Vorgehensweisen (saisonale Minima, ganzjährige Mittelwerte, Sauerstoffsättigung oder keine Bewertung). Durch die Anwendung der 5. Perzentile ist eine ambitioniertere Sauerstoffbewertung erreicht worden, die zusammen mit der Vereinbarung der neuen Bewertungsgebiete und eines einheitlichen Schwellenwerts zu einer deutlich besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse beiträgt, verglichen mit der COMP3-Bewertung. Eine genaue Beschreibung der Bewertungsmethode ist dem OSPAR Common Indicator Report für Sauerstoff zu entnehmen ([OSPAR Common Indicator Dissolved Oxygen](#)). Es wurde ein einheitlicher Schwellenwert von 6 mg/l für bodennahe Sauerstoffkonzentrationen in allen Gebieten vereinbart. Eine Unterschreitung dieses Schwellenwerts wurde nur in wenigen Gebieten festgestellt (Abbildung 22). Die östliche Nordsee ist das einzige Gebiet mit deutschem Anteil, das als Problemgebiet in der COMP4-Bewertung eingestuft wurde, da die Sauerstoffkonzentration mit 5,7 mg/l knapp unterhalb des Schwellenwerts lag.

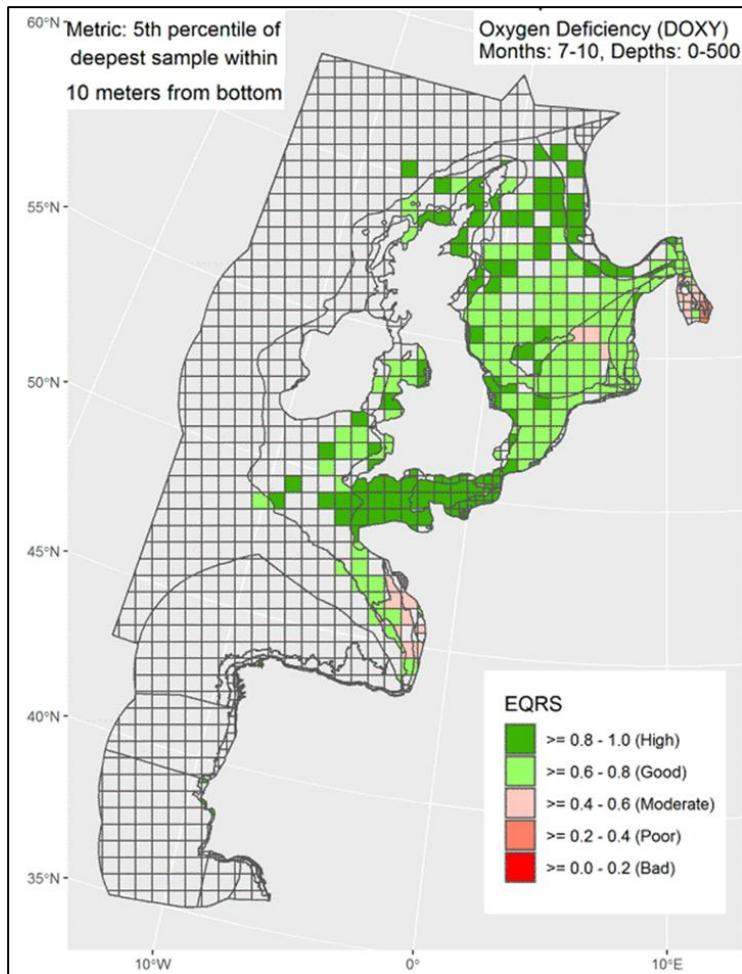
Abbildung 22: Bewertungsergebnisse für bodennahe Sauerstoffkonzentrationen im Zeitraum 2015-2020 in den OSPAR-Regionen II, III und IV sowie ein Zoom-In für die zentrale Nordsee. Bewertungsgebiete, in denen aufgrund mangelnder Daten oder zu großer Tiefe (>500 m) keine Sauerstoffbewertung möglich war, sind grau dargestellt.



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Abbildung basiert auf Ergebnissen des COMPEAT-Tools für die Bewertungsperiode 2015-2020.

Zusätzlich zu der Bewertung der Sauerstoffkonzentrationen auf Ebene der Bewertungsgebiete wurde eine Gitterzellen basierte Bewertung (Gitterzellengröße 60K oder 3600 km²) durchgeführt, um insbesondere in größeren Gebieten Informationen zu den von Sauerstoffmangel betroffenen Teilbereichen zu bekommen. In Abbildung 23 ist die Ergebniskarte dieser Gitterzellen basierten Bewertung dargestellt. Im Gebiet der östlichen Nordsee wurden nur in wenigen Gitterzellen Sauerstoffkonzentrationen unter 6 mg/l ermittelt, während größere Gebietsanteile nicht von Sauerstoffmangel betroffen waren. Durch diese zusätzliche Bewertungsmethode können „Hot Spots“ oder Risikogebiete mit geringen Sauerstoffkonzentrationen identifiziert werden. Diese Informationen können auch für mögliche Anpassungen der Monitoringstrategie für Sauerstoff hilfreich sein.

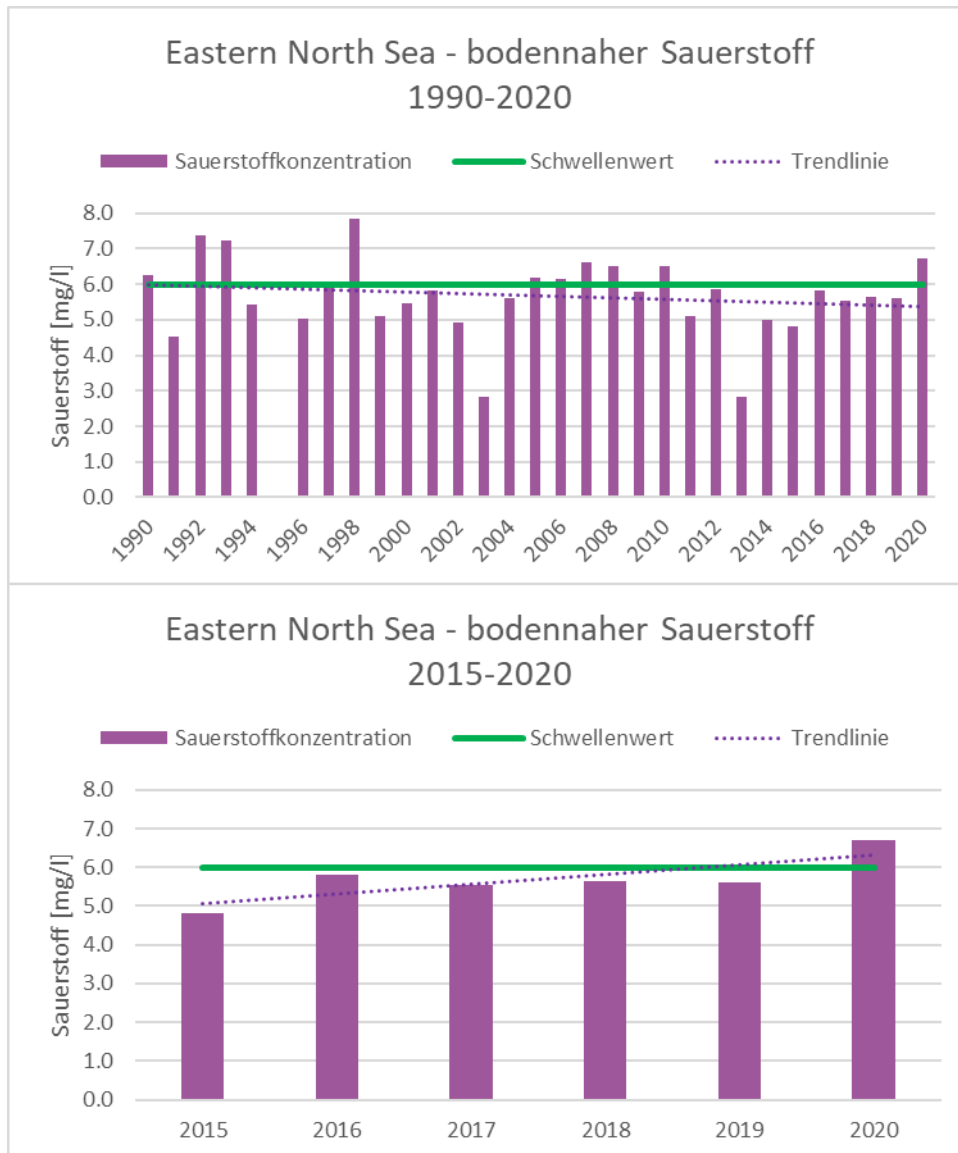
Abbildung 23: Gitterzellen basierte Bewertung der bodennahen Sauerstoffkonzentrationen (5th Perzentile) für den COMP4-Bewertungszeitraum 2015-2020. Die Klasseneinstufung basiert auf dem Schwellenwert von 6 mg/l.



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Abbildung basiert auf Ergebnissen des COMPEAT-Tools für die Bewertungsperiode 2015-2020.

Der Verlauf der Sauerstoffkonzentrationen in der östlichen Nordsee (Abbildung 24) im gesamten Bewertungszeitraum von 1990-2020 zeigt interannuelle Schwankungen, wobei in den meisten Jahren der Schwellenwert von 6 mg/l unterschritten wurde. Der stärkste Sauerstoffmangel mit Konzentrationen von 2,8 mg/l wurde in den Jahren 2003 und 2013 ermittelt. Der Trend der Sauerstoffkonzentrationen über den Gesamtzeitraum ist leicht abnehmend, während die Entwicklung bezogen auf die letzten 6 Jahre im COMP4 Bewertungszeitraum 2015-2020 einen leichten Anstieg zeigt und damit eine Verbesserung der Sauerstoffsituation. Im Jahre 2020 wurde der Schwellenwert von 6 mg/l erstmals seit 2010 mit einer Sauerstoffkonzentration von 6,7 mg/l wieder erreicht.

Abbildung 24: Verlauf der Sauerstoffkonzentrationen im Gebiet Östliche Nordsee im Zeitraum 1990-2020 (oben) und im COMP4-Zeitraum 2015-2020 (unten).



Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology.

Zusätzlich zu bodennahen Sauerstoffkonzentrationen wurde in einigen Gebieten mit deutschem Anteil auch die Sichttiefe unter den indirekten Eutrophierungseffekten bewertet. In diesen Gebieten erfolgte eine einfache Mittelwertbildung der Ergebnisse aus Sauerstoff und Sichttiefe für das Kategorie-Ergebnis der indirekten Effekte. In Tabelle 8 ist eine Übersicht zu den Bewertungsergebnissen zusammengestellt. Für die Flussfahnen von Elbe und Ems sowie für das Gebiet Zentrale Deutsche Bucht ergab sich durch die Einbeziehung der Sichttiefe eine Verschlechterung der Zustandsbewertung verglichen mit der alleinigen Sauerstoffbewertung. Das Gesamtergebnis wurde in diesen Gebieten aber ohnehin von der schlechteren oder gleichwertigen Klasseneinstufung der direkten Effekte bestimmt.

Tabelle 8: Übersicht der Bewertungsergebnisse für Sauerstoff und Sichttiefe und das integrierte Ergebnis für die Kategorie der indirekten Effekte im Zeitraum 2015-2020 in den Gebieten mit deutschem Anteil.

Name	Gewässer-kategorie	Sauerstoff	Sichttiefe	Kategorie 3
Elbefahne	Flussfahne	gut	mäßig	mäßig
Emsfahne	Flussfahne	gut	unbefriedigend	mäßig
Zentrale Deutsche Bucht	Küste	gut	unbefriedigend	mäßig
Äußeres Küstenwasser DEDK	Küste	gut	gut	gut
Südliche Nordsee	Küste	gut	-	gut
Doggerbank	Schelf	gut	-	gut
Östliche Nordsee	Schelf	mäßig	-	mäßig
Nördliche Nordsee	Schelf	gut	-	gut

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Farben gemäß OSPAR-Klassifizierung.

2.3.4 Integriertes Gesamtergebnis

Für das integrierte Gesamtergebnis wurde gemäß One-out-all-out-Prinzip (OOAO) das jeweils schlechteste Bewertungsergebnis der direkten und indirekten Effekte herangezogen. In Tabelle 9 sind die Kategorie-Ergebnisse und das integrierte Gesamtergebnis sowie die Anzahl der verwendeten Parameter zusammengestellt.

Tabelle 9: Übersicht der Bewertungsergebnisse für die Kategorien der direkten und indirekten Effekte und das integrierte Gesamtergebnis der Eutrophierungsbewertung im COMP4-Zeitraum 2015-2020 in den Gebieten mit deutschem Anteil. Als zusätzliche Information ist die Anzahl der insgesamt verwendeten Parameter (inklusive Nährstoffe) angegeben.

Name	Gewässer-kategorie	Kategorie 2	Kategorie 3	Anzahl Parameter	Gesamt
Elbefahne	Flussfahne	unbefriedigend	mäßig	7	unbefriedigend
Emsfahne	Flussfahne	mäßig	mäßig	7	mäßig
Zentrale Deutsche Bucht	Küste	mäßig	mäßig	7	mäßig
Äußeres Küstenwasser DEDK	Küste	unbefriedigend	gut	7	unbefriedigend
Südliche Nordsee	Küste	gut	gut	4	gut
Doggerbank	Schelf	sehr gut	gut	4	gut
Östliche Nordsee	Schelf	gut	mäßig	4	mäßig
Nördliche Nordsee	Schelf	sehr gut	gut	4	gut

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Farben gemäß OSPAR-Klassifizierung.

Während das Gesamtergebnis in den Flussfahnen von Elbe und Ems und auch in den Küstengewässern von der Bewertung der Kategorie der direkten Effekte bestimmt wurde oder

dem jeweiligen Ergebnis der indirekten Effekte entsprach, wurde das Bewertungsergebnis in den Schelfgebieten (Doggerbank, Östliche Nordsee und Nördliche Nordsee) von den indirekten Effekten bestimmt. Die Ergebnisse der indirekten Effekte in den Schelfgebieten waren einheitlich eine Klasse schlechter als die direkten Effekte, wobei nur das Gebiet Östliche Nordsee als Problemgebiet ausgewiesen wurde. In den anderen Schelfgebieten wurde der gute Zustand erreicht und diese als Nicht-Problemgebiet eingestuft.

2.3.5 Trendentwicklungen

Trendentwicklungen im Zeitraum 1990-2020 wurden mit dem in OSPAR vereinbarten TTA-Verfahren (Temporal Trend Analysis) von Devreker & Lefebvre (2014) untersucht. Aufgrund der Komplexität und Vielfalt der statistischen Instrumente und damit verbundener Unterschiede wurde das TTAinterfaceTrendAnalysis-Paket als Routineverfahren für die Ermittlung zeitlicher Trends mit Hilfe der R-Programmiersoftware entwickelt, um eine nichtparametrische Trendtestanalyse (Kendall-Testfamilie) über eine interaktive grafische Benutzeroberfläche (GUI) durchzuführen, die auch für Nicht-Statistiker leicht zu bedienen ist. Dieses Verfahren wurde sowohl für die Nährstoffe DIN und DIP als auch für Chlorophyll-a und Sauerstoff angewendet, so dass Datenanalyse und Trendergebnisse zwischen den verschiedenen Indikatoren vergleichbar sind. Die Ergebnisse für DIN, DIP, Chlorophyll-a und Sauerstoff sind in Tabelle 10 zusammengestellt. Die Pfeile orientieren sich an den Sens Slope-Werten der Trendanalyse, wobei negative Werte einer Abnahme der Konzentrationen entsprechen. Zu beachten ist hierbei, dass abnehmende Konzentrationen für die Nährstoffe und Chlorophyll-a eine Verbesserung darstellen, während abnehmende Sauerstoffstoffkonzentrationen eine Verschlechterung bedeuten. Nur die dunkel markierten Pfeile zeigen dabei einen statistisch signifikanten Trend an, während die weißen Pfeile zwar die Richtung anzeigen, aber der Trend nicht signifikant war. Die Farbgebung in der Tabelle entspricht den fünf verschiedenen Klassen der Zustandseinstufung im COMP4-Zeitraum 2015-2020, damit deutlich wird in welchen Gebieten für die Erreichung des guten Zustands eine weitere Abnahme erforderlich ist.

Tabelle 10: Trendentwicklungen im Zeitraum 1990-2020 für DIN, DIP, Chlorophyll-a und Sauerstoff in den Bewertungsgebieten mit deutschem Anteil. Signifikante Trends sind mit dunkelgrauen Pfeilen markiert. Weiße Pfeile zeigen die Entwicklungsrichtung an (nach unten bedeutet abnehmende Konzentrationen), aber die ermittelten Trends sind in diesen Fällen nicht statistisch signifikant. Die Farbgebung entspricht der Zustandseinstufung des COMP4-Zeitraums 2015-2020.

Name	Gewässer-kategorie	DIN	DIP	Chl-a	Sauerstoff
Elbefahne	Flussfahne	↓	↓	↓	↑
Emsfahne	Flussfahne	↓	↓	↓	↑
Zentrale Deutsche Bucht	Küste	↓	↓	↓	↑
Äußeres Küstenwasser DEDK	Küste	↓	↓	↓	↓
Südliche Nordsee	Küste	↓	↓	↓	↓
Doggerbank	Schelf	↓	↔	↓	↓
Östliche Nordsee	Schelf	↓	↓	↓	↓
Nördliche Nordsee	Schelf	↓	↓	↓	↓

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Farben gemäß OSPAR-Klassifizierung.

Überwiegend zeigte sich eine Abnahme in den Konzentrationen von DIN, DIP und Chlorophyll-a, wobei die ermittelten Trends nur in einigen Gebieten statistisch signifikant waren. Für DIP wurden in den Flussfahnen von Elbe und Ems sowie im Gebiet Äußeres Küstenwasser DEDK signifikant abnehmende Trends ermittelt, während für DIN nur in der südlichen Nordsee signifikant abnehmende Konzentrationen festgestellt wurden. Für Chlorophyll-a wurden für die beiden Küstengewässergebiete Zentrale Deutsche Bucht und Äußeres Küstenwasser DEDK signifikant abnehmende Trends ermittelt. In den anderen Gebieten wurde zwar ebenfalls ein abnehmender Trend festgestellt, allerdings in deutlich geringerem Maße als dies für die Nährstoffe der Fall war. Ein linearer Zusammenhang zwischen abnehmenden Nährstoffkonzentrationen und vergleichbar geringeren Chlorophyll-a-Konzentrationen wurde nicht ermittelt. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die Biomasse des Phytoplanktons nicht nur durch Nährstoffe, sondern durch ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Prozesse, einschließlich Lichtlimitierung und Fraß, gesteuert wird. Die Sauerstoffkonzentrationen zeigten in den Schelfgebieten und Küstengewässern überwiegend einen abnehmenden Trend, während in den Flussfahnen von Elbe und Ems und im Gebiet Zentrale Deutsche Bucht eine Zunahme der Sauerstoffkonzentrationen und damit eine Verbesserung festgestellt wurde. In keinem der Bewertungsgebiete mit deutschem Anteil wurde ein statistisch signifikanter Trend ermittelt.

Im COMPEAT-Tool wurden Bewertungen für die verschiedenen COMP-Perioden (COMP1-COMP4) unter den aktuell vereinbarten Bedingungen für die Gebietseinteilung und die Schwellenwerte durchgeführt, um die Entwicklung in den verschiedenen Gebieten zu dokumentieren. Der genaue Verlauf der Bewertungsergebnisse in den verschiedenen COMP-Bewertungsperioden auf Ebene der einzelnen Indikatoren oder der integrierten Gesamtergebnisse kann den verschiedenen OSPAR Indicator Assessments und dem Eutrophication Thematic Assessment auf der OSPAR Webseite entnommen werden. Dabei wurde aber kein direkter Vergleich der Bewertungsergebnisse zwischen der vorherigen COMP3-Bewertung und der aktuellen COMP4-Bewertung vorgenommen in Bezug auf Verbesserungen oder Verschlechterungen zwischen diesen beiden Perioden. Im Rahmen der holistischen HELCOM HOLAS3 Bewertung wurden Vergleiche zwischen verschiedenen Bewertungsperioden anhand eines vereinfachten Verfahrens durchgeführt, welches bei Unterschieden von >15% zwischen den Bewertungen auf Basis von EQRS-Werten klar positive oder negative Veränderungen definiert. Nach Anwendung dieser HELCOM-Methode ergeben sich für einzelne Indikatoren und auch für einige Kategorie-Ergebnisse Verbesserungen insbesondere in den Flussfahnen und Küstengewässern, während in den Schelfgebieten nur geringe Veränderungen festgestellt wurden. In Abbildung 25 sind die Veränderungen zwischen COMP3 und COMP4 in einer Übersicht zusammengestellt.

Abbildung 25: Übersicht der Bewertungsergebnisse in den Gebieten mit deutschem Anteil für die verwendeten Indikatoren, zusammenfassende Kategorien und das Gesamtergebnis. Die Pfeile zeigen Veränderungen zwischen der COMP3- und COMP4-Periode an: Zunahme der EQRS-Werte > 15%, Abnahme der EQRS-Werte > 15%, keine Veränderung (Zu- oder Abnahme ≤ 15%). Die Farbgebung folgt der fünfstufigen Klasseneinteilung von COMPEAT und bezieht sich auf die aktuellen COMP4-Bewertungsergebnisse.

Name	Gewässer-kategorie	DIN	DIP	TN	TP	Chl-a	Sauer-stoff	Sicht-tiefe	Kat. 1 N	Kat. 1 P	Kat. 2	Kat. 3	Gesamt-bewertung
Elbe Plume	Flussfahne	↗	↗	↗	↗	↗	↔	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Ems Plume	Flussfahne	↔	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↔	↗	↗	↗	↗
German Bight Central	Küste	↔	↗	↔	↔	↗	↔	↘	↔	↗	↗	↔	↔
Outer Coastal DEDK	Küste	↗	↗	↔	↔	↗	↔	↗	↗	↗	↗	↔	↗
Southern North Sea	Küste	↗	↗			↔	↔		↗	↗	↔	↔	↔
Dogger Bank	Schelf	↔	↗			↔	↔		↔	↗	↔	↔	↔
Eastern North Sea	Schelf	↔	↗			↔	↔		↔	↗	↔	↔	↔
Northern North Sea	Schelf	↔	↗			↗	↔		↔	↗	↗	↔	↔

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Farben gemäß OSPAR-Klassifizierung.

In den Flussfahnen von Elbe und Ems sowie in den Küstengewässern (Zentrale Deutsche Bucht und Äußeres Küstenwasser DEDK) wurden überwiegend Verbesserungen (zunehmende EQRS-Werte) zwischen COMP3 und COMP4 für die einzelnen Indikatoren und die Kategorie-Ergebnisse ermittelt, auch wenn die Gesamtbewertung weiterhin als nicht gut eingestuft wird. Bei Fortsetzung dieser Entwicklungen sind zukünftig weitere Verbesserungen des Zustands zu erwarten, allerdings sind die aktuellen EQRS-Werte in allen vier Gebieten noch relativ weit von der gut/mäßig Grenze entfernt. Abnehmende EQRS-Werte und damit eine Verschlechterung wurde nur für die Sichttiefe im Gebiet Zentrale Deutsche Bucht ermittelt. In allen Schelfgebieten wurden zunehmende EQRS-Werte für DIP festgestellt (abnehmende DIP-Konzentrationen) bei bereits sehr guter Zustandseinstufung. In der nördlichen Nordsee wurden außerdem abnehmende Chlorophyll-a-Konzentrationen ermittelt. Zusammenhänge mit Veränderungen in den Nährstoffkonzentrationen und den Nährstoffverhältnissen im Nordost-Atlantik sowie Verknüpfungen zur pelagischen Bewertung und den einzelnen PH-Indikatoren von OSPAR sollen für die nächste COMP5-Bewertung genauer untersucht werden.

2.4 Bewertungsergebnisse Küstengewässer – Nationale Anwendung der COMP

Die Bewertung der Küstengewässer sollte nach ursprünglicher Planung im COMPEAT-Tool erfolgen, wobei verschiedene Optionen für die Bewertung der WRRL-Gebiete vorgesehen waren, basierend auf den unterschiedlichen Entscheidungen der einzelnen Vertragsstaaten für die Vorgehensweise zur Einbeziehung in COMPEAT. Die Bewertungsergebnisse der WRRL-Gebiete können entweder direkt übernommen werden oder die verschiedenen national verwendeten Indikatoren können teilweise berechnet (z.B. für Nährstoff und Chlorophyll-a) und teilweise berichtet werden (wie die Ergebnisse der biologischen WRRL-Qualitätskomponenten Makrophyten, Makrozoobenthos) und gemäß OSPAR COMP-Regeln in COMPEAT zu einem Gesamtergebnis integriert werden. Aus Zeitgründen konnte auf OSPAR-Ebene keine Einigung mehr für die Bewertung der Küstengewässer in COMPEAT erreicht werden. Deshalb wurden die Küstengewässer national außerhalb von COMPEAT bewertet, aber gemäß den COMP-Regeln zu einem Gesamtergebnis integriert. Der gute Zustand wurde in keinem der WRRL-Wasserkörper erreicht. Im Vergleich zu den Ergebnissen der WRRL-Bewertung waren die Ergebnisse gemäß OSPAR COMP-Regeln in zwei Gebieten um eine Klasse besser (polyhalines Wattenmeer der Ems,

östliches Wattenmeer der Weser), aber es wurden keine Unterschiede in Bezug auf die gut/mäßig-Grenze festgestellt. Die Unterschiede in der Klasseneinstufung gehen auf die unterschiedlichen Integrationsregeln zurück und basieren auf dem integrierten Bewertungsergebnis der direkten Effekte (Mittelwert aus Chlorophyll-a und Makrophyten), während in der WRRL das OOA-Prinzip zwischen den einzelnen Qualitätskomponenten Phytoplankton, Makrophyten und Makrozoobenthos angewendet wird. Tabelle 11 gibt eine Übersicht für die verschiedenen Bewertungsergebnisse in den einzelnen Wasserkörpern der WRRL-Gebiete.

Tabelle 11: Übersicht der Bewertungsergebnisse der WRRL-Wasserkörper gemäß WRRL und nach OSPAR COMP-Regeln.

WRRL-Wasserkörper	Name	Klasseneinstufung gemäß OSPAR COMP-Regeln	WRRL-Klasseneinstufung
DE_CW_N1_3100_01	Euhalines offenes Küstengewässer der Ems	Schlecht	Schlecht
DE_CW_N2_3100_01	Euhalines Wattenmeer der Ems	Unbefriedigend	Unbefriedigend
DE_CW_N3_3990_01	Polyhalines offenes Küstengewässer des Ems-Ästuars	Unbefriedigend	Unbefriedigend
DE_CW_N4_3100_01	Polyhalines Wattenmeer der Ems	Unbefriedigend	Schlecht
DE_CW_N1_4900_01	Offenes Küstengewässer vor Jadebusen	Mäßig	Mäßig
DE_CW_N2_4900_01	Wattenmeer Jadebusen & angrenzende Küstenabschnitte	Mäßig	Mäßig
DE_CW_N3_4900_01	Offenes Küstengewässer der Weser	Mäßig	Mäßig
DE_CW_N4_4900_01	Westliches Wattenmeer der Weser	Unbefriedigend	Unbefriedigend
DE_CW_N4_4900_02	Östliches Wattenmeer der Weser	Mäßig	Unbefriedigend
DE_CW_N4_5900_01	Westliches Wattenmeer der Elbe	Mäßig	Mäßig
DE_CW_N3.5000.04.01	Außenelbe Nord	Schlecht	Schlecht
DE_CW_N4.5000.04.02	Hakensand	Schlecht	Schlecht
DE_CW_N5.5000.04.03	Helgoland	Mäßig	Mäßig
DE_CW_N3.9500.03.01	Piep Tidebecken	Mäßig	Mäßig
DE_CW_N4.9500.03.02	Dithmarscher Bucht	Unbefriedigend	Unbefriedigend
DE_CW_N3.9500.02.01	Eider Tidebecken	Mäßig	Mäßig
DE_CW_N4.9500.02.02	Außeneider	Unbefriedigend	Unbefriedigend
DE_CW_N1.9500.01.02	Rummelloch	Mäßig	Mäßig
DE_CW_N2.9500.01.06	Hever Tidebecken	Mäßig	Mäßig
DE_CW_N1.9500.01.01	Vortrapptief	Mäßig	Mäßig
DE_CW_N2.9500.01.05	Aue Tidebecken	Mäßig	Mäßig

WRRL-Wasserkörper	Name	Klasseneinstufung gemäß OSPAR COMP-Regeln	WRRL-Klasseneinstufung
DE_CW_N2.9500.01.04	Hörnum Tidebecken	Mäßig	Mäßig
DE_CW_N2.9500.01.03	Lister Tidebecken	Mäßig	Mäßig

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Farben gemäß OSPAR-Klassifizierung.

2.5 Ausblick – Zukunftsanforderungen

Es wurden deutliche Fortschritte in der Eutrophierungsbewertung erreicht im Vergleich zu früheren OSPAR-Bewertungen, insbesondere durch die Einigung auf grenzübergreifende ökologisch kohärente Bewertungsgebiete und damit verbundene neue Schwellenwerte. Im Verlauf der Überarbeitung der Common Procedure und der ersten Anwendung des COMPEAT-Tools wurden aber auch Wissenslücken und Defizite festgestellt, die bis zur nächsten COMP5-Bewertung überarbeitet werden sollen. Im „Lessons Learnt“ Prozess nach dem QSR 2023 wurden verschiedene Punkte zusammengestellt, die auch in die Aktualisierung der OSPAR Science Agenda einbezogen werden sollen. In der folgenden Aufzählung sind verschiedene Aspekte aufgelistet, die zukünftig zur weiteren Verbesserung der Eutrophierungsbewertung beitragen sollen.

Weiterentwicklung der Eutrophierungsbewertung

- ▶ Überarbeitung der Schwellenwerte auf Basis neuer Modellergebnisse, Prüfung und Anpassung des bisherigen Konzepts mit 50% Aufschlag auf Referenzwerte, Berücksichtigung der unterschiedlichen Response der Indikatoren
- ▶ Überarbeitung der Bewertungssaison, indikator- und gebietsspezifische Anpassungen (Verkürzung Winterperiode, Verlängerung Wachstumsperiode)
- ▶ Überarbeitung der Konfidenzbewertung, Berücksichtigung großer Gebiete mit geringem Eutrophierungsrisiko, Anpassung Konfidenzklassengrenzen, Entwicklung einer spezifischen Konfidenzbewertung für Satellitendaten und weitere Datentypen (Ferrybox-Daten)
- ▶ Verbesserung der Datengrundlage durch Einbeziehung von zusätzlichen Satellitendaten (z.B. für Sichttiefe), weiteren Datentypen (Smart Buoys, automatische Sampler) und modellierten Daten, soweit möglich
- ▶ Überarbeitung COMPEAT-Tool: Einbeziehung Küstengewässer (WRRL-Gebiete), Entwicklung einer Shiny App für verbesserte Anwendung, Datennutzung und Datenüberprüfung
- ▶ Testen einer Gitterzellen basierten Bewertung zusätzlich zu vereinbarten Bewertungsgebieten zur Verbesserung der räumlichen Auflösung für Informationen zu lokalen Eutrophierungsproblemen
- ▶ Prüfung der Einbeziehung der Nährstoffe in das integrierte Gesamtergebnis
- ▶ Untersuchung zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Nährstoffeinträge und Berücksichtigung von Extremwetterereignissen (Fluten, Starkregen, Dürre) in der Bewertung (Gewichtung einzelner Jahre statt einfacher Mittelwertbildung), Anpassung der Indikatorbewertungen und des Monitorings an klimawandelbedingte Veränderungen

- ▶ Einbeziehung zusätzlicher Parameter wie TN, TP und Sichttiefe in weiteren Gebieten bei ausreichender Datenlage
- ▶ Prüfung zur Verwendung pelagischer Indikatorergebnisse (qualitativ, quantitativ) in der Eutrophierungsbewertung, Entwicklung alternativer Phytoplanktonindikatoren (Indikatorarten)
- ▶ Bessere Verknüpfung von Auswirkungen der Eutrophierung mit dem Zustand pelagischer und benthischer Lebensräume
- ▶ Verbessertes Verständnis für Zusammenhänge zwischen Nährstoffeinträgen und Nährstoffkonzentrationen im Meer, stärkere Verknüpfung mit Common Indicator zu Nährstoffeinträgen

Für die verschiedenen Weiterentwicklungen sind der Austausch und eine gute Verknüpfung mit den relevanten OSPAR-Arbeitsgruppen eine wichtige Grundlage. Die enge Zusammenarbeit mit der ICG-EMO Gruppe soll fortgesetzt werden für die Arbeiten zur Ableitung von maximalen Nährstoffeinträgen im OSPAR-Gebiet und der damit verbundenen Überarbeitung der Schwellenwerte auf Basis der Ensemble Modellierung. Dabei sollen auch grenzübergreifende Nährstofftransporte stärker berücksichtigt werden.

Mit der pelagischen Expertengruppe unter ICG COBAM wird ein intensiver Austausch angestrebt, um für die verschiedenen Indikatoren der pelagischen Habitatbewertung und der Eutrophierungsbewertung zukünftig möglichst identische Datengrundlagen zu verwenden (z.B. Chlorophyll-Satellitendaten oder Nährstoffdaten), Bewertungskonzepte zu harmonisieren soweit möglich und die wechselseitige Nutzung von Indikatorergebnissen unter den verschiedenen Bewertungen voranzubringen.

3 AP 2: Weiterentwicklung von Bewertungsansätzen und Indikatoren für pelagische Habitate der Nordsee

Die Bewertung der pelagischen Habitate in der Nordsee weist auf regionaler Ebene von OSPAR und in Verbindung damit auch auf nationaler Ebene für die Umsetzung des Deskriptors 1 Biodiversität der MSRL noch deutliche Lücken auf wie die letzte regionale Bewertung bei OSPAR (OSPAR IA 2017) und die nationale MSRL-Berichterstattung 2018 gezeigt haben.

Weiterentwicklungsbedarf besteht vor allem für die Verfeinerung der Methodik, die Integration der einzelnen Indikatoren zu einem Gesamtergebnis für die pelagische Zustandsbewertung und die Interpretation der Ergebnisse im Zusammenhang mit vorherrschenden Belastungen wie Eutrophierung und Klimawandel. Die Bewertung der pelagischen Indikatoren im Rahmen des OSPAR IA 2017 hat gezeigt, dass es Veränderungen in der Planktongemeinschaft gibt, aber noch weitere Arbeiten erforderlich sind, um Schlussfolgerungen über das Ausmaß, Trendentwicklungen (abnehmend oder zunehmend) und die wichtigsten Belastungen oder Umweltfaktoren zu ziehen. Für die Bewertung pelagischer Lebensräume werden bei OSPAR drei Indikatoren auf der Grundlage von einzelnen Arten (PH3), funktionellen Gruppen (PH1) und der Biomasse bzw. Abundanz der Phyto- und Zooplanktongemeinschaft (PH2) verwendet. Jeder Indikator liefert auf unterschiedlicher Ebene spezifische und einander ergänzende Informationen über den Zustand sowie die Veränderung und die Funktionsweise von Planktongemeinschaften.

Trotz der für die holistischen Bewertungen bei OSPAR durchgeführten Data Calls für Planktondaten gibt es weiterhin Datenlücken, da entweder keine ausreichend langen Zeitserien für die Abdeckung der Bewertungsperiode und des Vergleichszeitraums vorhanden sind oder von den Vertragsstaaten nicht rechtzeitig zur Verfügung gestellt wurden. So fehlen Zooplankton-Daten vor allem in den Flussfahnen und Küstengewässern außerhalb der Routen des Continuous Plankton Recorders (CPR). Durch Änderungen oder Ausfall von Schiffsrouten, bei denen CPR-Daten gesammelt werden, kann es in einigen Gebieten zu einer geringeren Datenabdeckung kommen. So führte die Einstellung der Route nördlich der ostfriesischen Inseln dazu, dass für das Gebiet der zentralen Deutschen Bucht seit 2018 keine CPR-Daten mehr verfügbar sind.

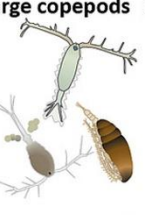
Wesentliche Weiterentwicklungen der pelagischen Indikatoren und der integrierten Gesamtbewertung der pelagischen Habitate seit dem IA 2017 wurden im OSPAR NEA-PANACEA-Projekt erarbeitet. Die Anwendung der weiterentwickelten Bewertungsansätze und die Erstellung aller Indikator- und thematischen Berichte für den OSPAR QSR 2023 für die pelagische Habitatbewertung und das Nahrungsnetz wurden im Rahmen dieses Projekts durchgeführt. Auf der OSPAR Webseite sind sowohl die Bewertungsergebnisse des QSR 2023 ([OSPAR QSR 2023](#)) zur pelagischen Habitatbewertung als auch alle finalen Berichte zu den verschiedenen Arbeitsprodukten des NEA-PANACEA-Projekts verfügbar ([OSPAR NEA-PANACEA](#)).

Erstmalig konnte die Nutzung der gleichen Bewertungsgebiete für die Bewertung pelagischer Habitate und Eutrophierung bei OSPAR vereinbart werden. Dies ermöglicht zukünftig eine noch bessere Verknüpfung oder wechselseitige Verwendung der verschiedenen Indikatoren und ihrer Bewertungsergebnisse (qualitativ für die Interpretation der Bewertungsergebnisse oder quantitativ bei direkter Einbeziehung in das integrierte Ergebnis).

3.1 OSPAR PH1 Indikator

Plankton, bestehend aus Phytoplankton und Zooplankton, bildet die Grundlage der marinen Nahrungsnetze und ist damit ein wichtiger Indikator für den Zustand des Ökosystems. Aufgrund der kurzen Generationszeiten, der geringen Größe und der direkten Abhängigkeit des Phytoplanktons von gelösten Nährstoffen ist das Plankton als Indikator gut geeignet, um Umweltveränderungen zu erkennen. Veränderungen in Planktongemeinschaften können sich auf höhere Ebenen des Nahrungsnetzes auswirken, z. B. auf Muscheln, Fische und Seevögel, für die Plankton eine direkte oder indirekte Nahrungsquelle darstellt. Der PH1-Indikator bewertet Veränderungen der Phytoplankton- und Zooplanktongemeinschaften auf der Grundlage von Plankton-Lebensformen, d. h. planktischen Organismen mit denselben funktionalen Merkmalen. Der PH1-Indikator wird neben der pelagischen Habitatbewertung (MSRL-Deskriptor 1) auch für das Nahrungsnetz (MSRL-Deskriptor 4) genutzt und ist als kombinierter Indikator entsprechend benannt (PH1/FW5). Im Folgenden wird aber nur die Kurzform PH1 verwendet. Beispiele für Lebensformen, die mit dem PH1-Indikator untersucht werden, sind Diatomeen, Dinoflagellaten, kleine und große Copepoden, aber auch Fischlarven und weitere Gruppen (Abbildung 26). Diese funktionellen Gruppen oder Lebensformen können die Reaktionen der Planktongemeinschaft auf Faktoren wie die Nährstoffbelastung durch menschliche Aktivitäten und klimabedingte Veränderungen anzeigen. Veränderungen in der Häufigkeit von Plankton-Lebensformen über kurze Zeiträume können unmittelbare Folgen für höhere trophische Ebenen haben, während allmähliche Veränderungen über Jahrzehnte hinweg auf langfristige Verschiebungen in wichtigen Aspekten der Ökosystemfunktion hinweisen können. In der Praxis ist es oft besser, Arten mit ähnlichen Merkmalen zu funktionalen Gruppen zusammenzufassen als die Dynamik einzelner Arten zu bewerten. Messungen der Abundanz von Arten unterliegen häufig großen interannuellen und regionalen Schwankungen, die oftmals eher auf die natürliche physikalische Dynamik und Habitatpräferenzen als auf anthropogene Belastungen zurückzuführen sind. Die Abundanz funktioneller Gruppen ist dagegen oft weniger variabel, da sich die Schwankungen in der Abundanz der einzelnen Arten der Gruppe ausgleichen.

Abbildung 26: Lebensformen, die im PH1 Indikator für die Bewertung der Veränderungen in der Phytoplankton- und Zooplanktongemeinschaft verwendet werden.

Diatoms	Dinoflagellates	Holoplankton	Meroplankton	Large copepods	Small copepods	Fish larvae/eggs	Gelatinous zooplankton
							
Phytoplankton mit silikatischen Zellen. Verbunden mit hoher Biomasse und Primärproduktion. Wichtige Nahrungsquelle für höhere trophische Ebenen.	Phytoplankton mit zwei Geißeln. Photosynthetisch und/oder pflanzenfressend. Verbunden mit hoher Biomasse und Primärproduktion. Wichtige Nahrungsquelle für höhere trophische Ebenen. Umfassen Organismen, die schädliche Toxine produzieren.	Zooplankton, das seinen gesamten Lebenszyklus in der Planktongemeinschaft verbringt. Wichtige Nahrungsquelle für größere Fauna.	Zooplankton, das den ersten Teil seines Lebenszyklus in der Planktongemeinschaft verbringt. Reproduktionsleistung der benthischen Fauna.	Dominierender Bestandteil des Zooplanktons. Größenabhängige Nahrungsquelle für die größere pelagische Fauna.	Dominierender Bestandteil des Zooplanktons. Größenabhängige Nahrungsquelle für Fischlarven und die pelagische Fauna.	Eier und Larven von beifischten und nicht beifischten Fischarten. Ihr Vorkommen hängt mit der Rekrutierung erwachsener Fischbestände zusammen.	Zooplankton mit gallertartigem Körper. Wichtige Räuberfunktion für Krebstiere und Fischlarven.

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Abbildung basiert auf OSPAR PH1 Indicator Assessment, Grafik angepasst und teilweise übersetzt.

Neben der Untersuchung von Veränderungen einzelner Lebensformen können auch ökologisch relevante Lebensformpaare (Diatomeen/Dinoflagellaten oder gelatinöses Zooplankton/Fischlarven) und ein Planktonindex untersucht werden. Die Kombination der

Lebensformpaare hängt sowohl vom pelagischen Habitat als auch dem Ziel des Indikators ab. So können z.B. Veränderungen beim Lebensformpaar Diatomeen/Dinoflagellaten, und hierbei insbesondere die Dominanz von Dinoflagellaten, mit Eutrophierung verknüpft sein, während das Verhältnis von Holoplankton (vollständig planktonisch) und Meroplankton (nur ein Teil des Lebenszyklus ist planktonisch, der Rest ist benthisch) Hinweise zur benthisch-pelagischen Kopplung liefern kann. Die Veränderung der Abundanz ökologisch verbundener Lebensformen im Laufe der Zeit kann auch auf Veränderungen im Nahrungsnetz und Verschiebungen bei verschiedenen Ökosystemfunktionen hinweisen. Dazu gehören beispielsweise der Energietransfer von Primär- zu Sekundärproduzenten (Veränderungen im Phytoplankton und Zooplankton) oder die Energieflüsse zu den höheren trophischen Stufen (Veränderungen im gelatinösen Zooplankton und bei Fischlarven). Eine detaillierte Beschreibung des PH1-Bewertungskonzepts ist McQuatters-Gollop et al. (2019) zu entnehmen.

Auf regionaler Ebene des Nordostatlantiks sind die Veränderungen der Planktongemeinschaft eng mit den Umweltbedingungen verknüpft. Pelagische Lebensräume können anhand wichtiger Merkmale der Wassersäule wie Tiefe, Süßwassereinfluss und Schichtung sowie anhand räumlich konsistenter Muster in der Phytoplanktodynamik definiert werden. Die Untersuchung der Richtung und des Ausmaßes von Veränderungen in der Häufigkeit von Lebensformen im Laufe der Zeit kann räumliche Muster von Umweltveränderungen in pelagischen Lebensräumen aufzeigen. Ebenso können Trends, die aus der regelmäßigen Überwachung von Langzeit-Stationen ermittelt werden, mit Trends in umliegenden und angrenzenden pelagischen Lebensräumen verglichen werden. Im Rahmen der OSPAR Arbeiten für den QSR 2023 wurden erstmalig plausible Zusammenhänge zwischen Umweltbelastungen und langfristigen Veränderungen in Planktongemeinschaften untersucht.

3.1.1 Indikatorkonzept

In Ergänzung zu dem bisherigen Bewertungskonzept auf Basis von Lebensformpaaren und einem zusammenfassenden Plankton-Index (PI), das beim letzten OSPAR IA 2017 durchgeführt wurde, sind für den QSR 2023 Anpassungen in der Bewertung vorgenommen worden. Der Fokus lag dabei auf einzelnen funktionellen Gruppen ohne Bildung von Lebensformpaaren, um Zusammenhänge mit Belastungen besser ermitteln zu können. Ergebnisse gemäß des bisherigen Bewertungskonzepts mit Lebensformpaaren und einem Planktonindex wurden parallel ermittelt und im PH1-Indikatorbericht zur Verfügung gestellt ([OSPAR PH1 Indicator Assessment](#)).

Während die Untersuchung von Lebensformenpaaren hilfreich sein kann, um Veränderungen im Jahreszyklus der Lebensformen festzustellen, ist die getrennte Bewertung von Lebensformen besser geeignet, um allmähliche Veränderungen im Laufe der Zeit zu bewerten. Korrelationen zwischen der Abundanz von Lebensformen und Umweltbelastungen sind bei einzelnen Lebensformen einfacher zu interpretieren als die Ergebnisse eines integrierten Indizes von Lebensformenpaaren und Umweltbelastungen (Bedford et al., 2020a). Es wurde eine Methode entwickelt, um die potenziellen Zusammenhänge zwischen Umweltbelastungen und Veränderungen in der Abundanz von Lebensformen im Laufe der Zeit zu erkennen. Die wichtigsten Schritte hierbei sind:

1. die Gruppierung planktonischer Taxa in funktionelle Gruppen oder Lebensformen;
2. die räumliche Aufteilung von Planktonprobenahmen, um getrennte Zeitreihen der Abundanz von Lebensformen pro Bewertungsgebiet zu erstellen;

3. die Verwendung eines robusten nichtparametrischen Tests zur Quantifizierung langfristiger Veränderungen der Abundanz von Lebensformen (Kendall-Statistik);
4. die Verknüpfung von Veränderungen der Abundanz von Lebensformen mit Trends bei Umweltbelastungen und Klimaindizes.

Der erste Schritt für die Zuordnung der Plankton-Taxa zu funktionellen Gruppen wird mit Hilfe einer Masterliste durchgeführt, die eine Reihe von taxonomischen Informationen und artspezifischen Merkmalen zur Verfügung stellt. In Tabelle 12 werden ausgewählte Beispiele für die Zuordnung verschiedener Taxa zu funktionellen Gruppen auf Basis ihrer Merkmale für Zooplankton dargestellt. So werden die Zooplanktonarten *Oithona spp.* und *Calanus helgolandicus* beide dem Holoplankton zugeordnet, unterscheiden sich aber in der Größe. *Echinodermata* (Larven von Stachelhäutern) zählen dagegen zum Meroplankton, da sie nur einen Teil ihres Lebens planktonisch verbringen. Die Beispielarten für das Phytoplankton (Tabelle 13) gehören entweder zu den Diatomeen oder Dinoflagellaten, unterscheiden sich aber in der Ernährungsweise und hinsichtlich möglicher schädlicher Effekte und der Produktion von Toxinen.

Tabelle 12: Zuordnung einzelner beispielhaft ausgewählter Taxa zu funktionellen Gruppen auf Basis von taxonomischen Informationen und zugewiesenen Merkmalen der zugrundeliegenden Masterliste für Zooplankton.

Taxon	Aphia ID	Plankton type	Copepod	Habitat	Zooplankton type	Zooplankton size
<i>Oithona spp.</i>	106485	Zooplankton	Yes	Holoplankton	Crustacean	Small (<2 mm)
<i>Calanus helgolandicus</i>	104466	Zooplankton	Yes	Holoplankton	Crustacean	Large (>2 mm)
<i>Echinodermata</i>	1806	Zooplankton	No	Meroplankton	Echinoderm	Not yet assigned

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Zuordnung basiert auf der Masterliste des Plankton Lifeform Extraction Tools (PLET).

Tabelle 13: Zuordnung einzelner beispielhaft ausgewählter Taxa zu funktionellen Gruppen auf Basis von taxonomischen Informationen und zugewiesenen Merkmalen der zugrundeliegenden Masterliste für Phytoplankton.

Taxon	Aphia ID	Plankton type	Feeding mechanism	Toxic/ Nuisance*	Phytoplankton type	Phytoplankton size
<i>Ceratium fusus</i>	109951	Phyto-plankton	Auto/Mixo	Non-toxic	Dinoflagellate	Large (>20 µm)
<i>Noctiluca scintellans</i>	109921	Phyto-plankton	Hetero	Nuisance	Dinoflagellate	Large (>20 µm)
<i>Odontella aurita</i>	149050	Phyto-plankton	Auto	Non-toxic	Diatom	Large (>20 µm)
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	149152	Phyto-plankton	Auto	Ambiguous **	Diatom	Large (>20 µm)

*Taxa either toxic or producing detrimental effects

** Taxa can be assigned to more than one trait category

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Zuordnung basiert auf der Masterliste des Plankton Lifeform Extraction Tools (PLET).

Das PLET-Tool (Plankton Lifeform Extraction Tool) ermöglicht eine Zuordnung der Planktondaten zu Lebensformen und ist die erste zentrale Datenbank, in der viele unterschiedliche europäische Planktondatensätze aus UK, Schweden, den Niederlanden, vielen weiteren Ländern und auch Deutschland enthalten sind. Allerdings sind nicht alle Datensätze frei verfügbar. Für jeden Datensatz wird eine DOI erstellt, die bei der Nutzung zu zitieren ist. Bestehende Datensätze können erweitert und neue Zeitreihen hinzugefügt werden, um die Datenmenge beständig zu vergrößern. Wird bei einer neuen Plankton-Zeitreihe beim Abgleich mit der Masterliste anhand der Aphia ID festgestellt, dass bestimmte Planktonarten in der Masterliste fehlen, so werden diese inklusive der biologischen Merkmale (traits) in Abstimmung mit dem Datenprovider und einer Expertengruppe ergänzt. Durch den konsistenten Prozess der Datenaufbereitung und der anschließenden Extraktion zu Plankton-Lebensformen wird sichergestellt, dass verschiedene Planktondatensätze mit unterschiedlichen Probenahme- und Analyse-Methoden den Lebensformen auf Basis der Masterliste und den biologischen Merkmalen in vergleichbarer Weise zugeordnet werden. Eine genaue Beschreibung des PLET-Tools ist Ostle et al. (2021) zu entnehmen.

Gegenüber der letzten Bewertung im OSPAR IA 2017 wurde der Vergleichszeitraum für den QSR 2023 angepasst. Bisher wurde die aktuelle Bewertungsperiode mit einem 6-jährigen Vergleichszeitraum direkt vor dem Bewertungszeitraum verglichen. Im IA 2017 wurde die Bewertungsperiode 2009-2014 mit dem Zeitraum 2004-2008 verglichen, um Veränderungen zu ermitteln. Dabei gingen insbesondere die weit zurückreichenden CPR-Daten für die Erfassung von Langzeit-Trends verloren. Aus diesem Grund wurde der Vergleichszeitraum angepasst und kann je nach Datenverfügbarkeit der verschiedenen Plankton-Zeitreihen unterschiedlich sein. CPR-Daten werden zurück bis 1960 im Vergleichszeitraum berücksichtigt, während für andere Zeitserien die Vergleichszeiträume entsprechend des jeweiligen Beginns der Probenahmen kürzer sein können. So wurde für die vom LfU im Rahmen des OSPAR Data Calls zur Verfügung gestellten Daten im Gebiet der Elbefahne ein Vergleichszeitraum von 2010-2014 berücksichtigt, um Veränderungen zur aktuellen Bewertungsperiode 2015-2019 zu ermitteln.

Im zweiten Schritt erfolgt die räumliche Zuordnung der Planktondaten zu den verschiedenen Bewertungsgebieten. Erstmalig wurde für die pelagische Habitatbewertung und die Eutrophierungsbewertung die gleiche Gebietseinteilung (OSPAR COMP4-Gebiete) verwendet. In einer späteren Analyse soll die zeitliche und räumliche Abdeckung dieser neuen Gebiete mit den verfügbaren Planktondaten genauer untersucht werden, um mögliche Anpassungen von Bewertungsgebieten und Monitoringstrategien vorzunehmen. Gegenüber den bisher in der pelagischen Bewertung verwendeten großen Einheiten der öko-hydrodynamischen Regionen (Eco-hydrodynamic areas, EHDs) ist die Nutzung der differenzierten COMP4-Gebiete ein deutlicher Fortschritt. Durch die Kombination der verschiedenen COMP4-Gebiete zu pelagischen Biotopklassen/Lebensraumtypen (variable Salinität (Flussfahnen), Küste, Schelf, Schelfmeer) wird sichergestellt, dass die Bewertungsergebnisse gemäß MSRL-Anforderungen für die Berichterstattung genutzt werden können. Die genaue Zuordnung der COMP4-Bewertungsgebiete zu den verschiedenen pelagischen Lebensraumtypen ist dem PH1 Indicator Assessment für den QSR 2023 auf der OSPAR-Webseite zu entnehmen.

Im dritten Schritt werden mit Hilfe der Kendall-Statistik Trends in der Abundanz der Lebensformen im Laufe der Zeit ermittelt. Für den Trendtest werden die mittleren jährlichen Abundanz-Werte verwendet (log10 logarithmiert), und keine monatlichen oder saisonalen Werte, um die für Planktonzeitreihen typischen saisonalen Schwankungen zu entfernen. Mit

diesem nichtparametrischen Test wird eine Statistik erstellt, die durch den Vergleich jedes Wertes in einer Zeitreihe mit jedem der ihm vorausgehenden Werte abgeleitet wird. Ist ein letzter Wert größer als ein vorhergehender, erhält der paarweise Vergleich den Wert 1. Ist er kleiner, wird ihm der Wert -1 zugewiesen, wobei 0 für Fälle gilt, in denen es keinen Unterschied zwischen den Werten gibt. Die Summe der paarweisen Vergleiche für die Zeitreihe ergibt die S-Statistik von Kendall. Die Varianz in der S-Statistik wird verwendet, um einen Z-Score mit einer annähernden Normalverteilung abzuleiten. Das Vertrauen in diese Statistik kann mit einem zugehörigen p-Wert bewertet werden, wobei $p \leq 0,05$ im Allgemeinen als statistisch signifikante Veränderung akzeptiert wird. Das Vorzeichen der Teststatistik gibt die Richtung des Trends an, wobei eine positive Statistik auf einen zunehmenden Trend und eine negative Statistik auf einen abnehmenden Trend hindeutet. Das Ausmaß der Statistik ist proportional zur Stärke des Trends. Die in Kapitel 3.1.3 dargestellten Ergebniskarten (Abbildung 28) zeigen die Trends der verschiedenen Lebensformen im aktuellen Bewertungszeitraum 2015-2019 nach Anwendung der Kendall-Statistik.

Ein großer Vorteil dieses nichtparametrischen Tests ist, dass er unabhängig von der Methode der Datentransformation identische Ergebnisse liefert und weder auf Datenlücken noch auf nichtlineare oder unregelmäßige Trends anspricht. Außerdem hat er den Vorteil, dass die Abundanz-Trends über Datensätze, Lebensformen und Bewertungseinheiten hinweg vergleichbar sind.

Im vierten Schritt werden die ermittelten Veränderungen in der Abundanz der Lebensformen mit Umweltbelastungen wie Nährstoffen und Klimaindizes verknüpft, soweit dies auf Basis der verfügbaren Daten möglich ist. Im QSR 2023 wurden hierbei verschiedene Nährstoffe (Nitrat, Phosphat, N:P Verhältnis, Gesamtphosphor), Salzgehalt, Oberflächentemperatur, pH, Windgeschwindigkeit, Niederschlagsrate als Proxy für Süßwassereintrag, Strömungsgeschwindigkeit und weitere Parameter berücksichtigt.

Für die verschiedenen Bewertungsschritte wurde ein R-Skript entwickelt, das auf GitHub verfügbar ist ([PH1 Lifeform Indicator Code](#)). Das Verzeichnis auf GitHub enthält den Code zur Ausführung des PH1-Indikators, mit dem Planktondatensätze auf Lebensformebene aggregiert und mehrere Parameter erzeugt werden, um Veränderungen in der Planktongemeinschaft im Laufe der Zeit zu erkennen.

Erstmalig wurde eine Konfidenzbewertung für die Einschätzung der zeitlichen und räumlichen Vertrauenswürdigkeit der Daten angewendet, die auf dem für die Eutrophierungsbewertung entwickelten Prinzip der Konfidenz beruht. Sowohl für die zeitliche als auch für die räumliche Konfidenz werden dabei jeweils ein genereller und ein spezifischer Aspekt verwendet. Die generelle zeitliche Konfidenz (GTC) wurde als Anteil der Monate mit erfassten Proben an der Gesamtzahl der potenziellen Monate in der Zeitreihe berechnet, während die spezifische zeitliche Konfidenz (STC) auf jährlicher Basis als der Anteil der Monate berechnet wurde, für die Proben von insgesamt 12 möglichen Monaten verfügbar waren. Für die räumliche Konfidenz wird die Ausdehnung bzw. Verteilung der Proben in einem Bewertungsgebiet auf der Grundlage des Anteils der Längen- und Breitengrade berechnet und basiert nicht wie in der Eutrophierungsbewertung auf einem Gitterzellenraster definierter Größe. Wenn sich beispielsweise ein Bewertungsgebiet über den Längengrad von 1 bis 5° Ost erstreckt und die Verteilung der in diesem Gebiet in einem bestimmten Jahr entnommenen Proben zwischen 2 und 4° Ost liegt, wäre der Anteil der durch die Proben abgedeckten Spanne für den Längengrad 0,5. Dasselbe Verfahren wird auch auf den Breitenbereich angewendet. Die spezifische räumliche Konfidenz für ein bestimmtes Jahr ergibt sich aus dem Mittelwert der durch die räumliche Ausdehnung der Proben abgedeckten Anteile in Längs- und Breitenrichtung. Die

generelle räumliche Konfidenz (GSC) wird auf alle Proben einer Zeitreihe in einem Bewertungsgebiet angewendet, während die spezifische räumliche Konfidenz (SSC) auf jährlicher Basis berechnet und anschließend für den Bewertungszeitraum gemittelt wird. Die Gesamt-Konfidenz wird als Mittelwert der zeitlichen und räumlichen Konfidenz berechnet. Für die in vielen Bewertungsgebieten verwendeten CPR-Daten werden sowohl die zeitliche als auch die räumliche Konfidenz bewertet und ermöglichen dadurch eine Einschätzung zur Frequenz der Probenahmen und der Abdeckung der verschiedenen Bewertungsgebiete mit Fahrrouten. Für Daten von einzelnen festen Stationen wie z.B. die Langzeitstation Norderney vom NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) wird dagegen nur die zeitliche Konfidenz berücksichtigt.

Für die Zustandseinstufung der einzelnen Lebensformen und der verschiedenen pelagischen Biotopklassen im PH1-Indikator und auch für die spätere Integration mit den weiteren pelagischen Indikatoren PH2 und PH3 zu einem Gesamtstatus wird die in McQuatters-Gollop et al. (2022) beschriebene Methode zur Biodiversitätsbewertung verwendet. Dabei werden vier verschiedene Kategorien unterschieden: gut, nicht gut, unsicher und nicht bewertet. In Tabelle 14 werden die Kategorien und ihre Zuordnungskriterien näher beschrieben. Die Einstufung basiert neben den ermittelten Veränderungen und den Verknüpfungen mit anthropogenen Einflüssen inklusive Klimawandel auf Experteneinschätzungen und kann auch ohne vereinbarte Schwellenwerte vorgenommen werden.

Tabelle 14: Kategorien für die Zustandseinstufung in der Biodiversitätsbewertung basierend auf McQuatters-Gollop et al. (2022).

Nicht gut	Der Indikatorwert liegt unter dem Schwellenwert, oder die Veränderung des Indikators bedeutet eine Verschlechterung des Zustands, oder die Veränderung des Indikators hängt mit den zunehmenden Auswirkungen anthropogener Einflüsse (einschließlich des Klimawandels) zusammen, oder der Indikator zeigt keine Veränderung, aber der Zustand wird als unbefriedigend eingestuft.
Unsicher	Kein Schwellenwert und/oder unklar, ob die Veränderung eine Verschlechterung oder eine Verbesserung des Zustands darstellt, oder der Indikator zeigt keine Veränderung an, aber es ist unklar, ob der Zustand zufriedenstellend ist.
Gut	Der Indikatorwert liegt über dem Schwellenwert, oder der Indikator zeigt eine Verbesserung des Zustands an, oder der Indikator zeigt keine Veränderung, aber der Zustand ist zufriedenstellend.
Nicht bewertet	Der Indikator wurde in einer Region nicht bewertet, weil keine Daten vorliegen, keine Experten zur Verfügung stehen oder keine politische Unterstützung vorhanden ist.

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Zusammenstellung basiert auf OSPAR PH1 Indicator Assessment, 2022 (in deutscher Übersetzung).

Der aktuelle Zustand der Planktongemeinschaft wird nach Experteneinschätzung standardmäßig als unsicher eingestuft, da er in keinem Fall als gut eingeschätzt wird. Es wurden verschiedene Kriterien definiert mit Mindestanforderungen zur Konfidenz, der räumlichen Repräsentativität und dem Zusammenhang mit ausgewählten anthropogenen Belastungen

(Oberflächentemperatur, pH-Wert und Nährstoffen), die bei Erfüllung eine Zuordnung in die Kategorie nicht-gut ermöglichen. Details dieser Vorgehensweise können dem PH1 Indicator Assessment auf der OSPAR Webseite entnommen werden.

3.1.2 Datengrundlagen und Datenanforderungen

Für alle drei pelagischen Indikatoren PH1, PH2 (nur Copepoden-Abundanz) und PH3 sind Phytoplankton- und Zooplanktondaten erforderlich, die mittels Lichtmikroskopie oder Bildanalyse analysiert wurden. Die Daten sollten der höchstmöglichen taxonomischen Klassifizierung entsprechen. Aufgrund des flexiblen Charakters der pelagischen Indikatoren sind aber alle Ebenen der taxonomischen Identifizierung nützlich, so dass alle Daten, auch wenn sie nicht auf Gattung oder Art aufgelöst sind, einbezogen werden können. Es können verschiedene Datentypen aus klassischen Planktonnetzzügen oder Wasserschöpfern mit anschließender lichtmikroskopischer Analyse (in-situ Daten) und CPR-Daten der verschiedenen Fahrrouten für den PH1 Indikator genutzt werden. Wichtig ist, dass die unterschiedlichen Datentypen als getrennte Zeitreihen analysiert und bewertet werden. Während in-situ-Probenahmen für Phyto- und Zooplankton in der Regel auf wenige Einsätze mit teuren Forschungsschiffen mit begrenzter räumlicher und zeitlicher Abdeckung beschränkt sind, können sehr viele CPR-Daten auf normalen Handelsrouten verschiedener Schiffe mit dem einfachen und robusten Planktonrekorder gesammelt werden ohne Begleitung von wissenschaftlichem Personal. Allerdings können die Schiffsrouten nicht wie Monitoringstrategien an gebiets-spezifische Anforderungen angepasst werden, so dass größere Teile von Bewertungsgebieten unbeprobt bleiben oder Planktondaten des Rekorders durch Ausfallzeiten der Schiffe oder vollständige Einstellung von Routen nur für einen begrenzten Zeitraum verfügbar sind.

Generell sind CPR-Daten aufgrund der kontinuierlichen Beprobungen seit 1960 und der räumlichen Ausdehnung über die gesamte Nordsee und den Nordost-Atlantik sehr gut für die Planktonbewertung geeignet. Im Zusammenhang mit der verwendeten Technik des an den Schiffen mitgeschleppten Rekorders gibt es allerdings eine Reihe von Einschränkungen hinsichtlich der Vergleichbarkeit mit anderen Plankton-Probenahmen und den lichtmikroskopischen Analysen, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen. Der Rekorder wird in einer Standard-Wassertiefe von etwa 7m mitgeschleppt, während Planktonproben mit Netzen üblicherweise in größeren Tiefen genommen werden, insbesondere für Zooplankton. Der Größenbereich der erfassten Planktonarten ist durch die Größenunterschiede zwischen der Porengröße des verwendeten Filtervlieses aus Seide beim Rekorder und den üblicherweise verwendeten Planktonnetzen nicht direkt vergleichbar, so dass kleinere Planktonarten <270 µm zwar erfasst werden mit dem Planktonrekorder, aber nicht in repräsentativem Maße. Das Plankton im Wasser wird im Rekorder auf ein sich ständig bewegendes Band aus Seide gefiltert, über ein zweites Band eingeschlossen und dann auf eine Spule in einem mit Formalin gefüllten kleinen Lagertank aufgewickelt. Durch diese Prozedur im Planktonrekorder können empfindliche Arten wie athekate Dinoflagellaten ohne intrazelluläre Verstärkungen mit Platten (z.B. *Gyrodinium*) durch den Druck zerstört werden, so dass sie in der Analyse unterrepräsentiert sein können. Eine detaillierte lichtmikroskopische Analyse erfolgt nur bei einem Teil der CPR-Daten, während der größte Teil nach einem vereinfachten Verfahren ausgewertet wird und daher nur semi-quantitativ ist. Aus diesen Gründen werden CPR-Daten und Planktondaten aus verschiedenen nationalen Monitoringprogrammen jeweils separat analysiert, um die Unterschiede in den Probenahmen und anschließenden Analysen zu berücksichtigen und Bewertungsergebnisse nicht zu verfälschen. Die Aggregation der

verschiedenen Daten erfolgt in monatlichen Mittelwerten für die verschiedenen Bewertungsgebiete. Genauere Angaben können der OSPAR CEMP Guideline PH1/FW5 entnommen werden, die erst kürzlich gemäß der für den QSR 2023 angewendeten Methode aktualisiert wurde.

Für den PH1 Indikator können sowohl Abundanz- als auch Biomassedaten für die Erstellung von Zeitreihen von funktionellen Gruppen oder Lebensformen verwendet werden, abhängig von der jeweiligen Lebensform und der Verfügbarkeit von Monitoringdaten. Eine monatliche Probenahme ist für alle pelagischen Indikatoren in den OSPAR CEMP Guidelines als minimale Probenahme-Strategie festgelegt, um die natürliche Variabilität der Planktongemeinschaft und die saisonalen und interannuellen Schwankungen ausreichend in den Bewertungen berücksichtigen zu können.

Bei den taxonomischen Daten muss sichergestellt werden, dass keine Taxa doppelt gezählt werden durch Erfassung in mehreren Zählkategorien (Einzelarten und Gesamtgruppe) und dass taxonomische Identifizierungs- oder Aufzählungsanomalien sowie Unstimmigkeiten beseitigt werden. Es ist grundsätzlich erforderlich, dass alle taxonomischen Daten mit Aphia-IDs verknüpft werden, um die taxonomische Konsistenz zu gewährleisten. Dies kann über ein Werkzeug des World Register of Marine Species (WoRMS) erfolgen oder über spezielle R-Skripte, so dass dieser Prozess teilautomatisiert werden kann.

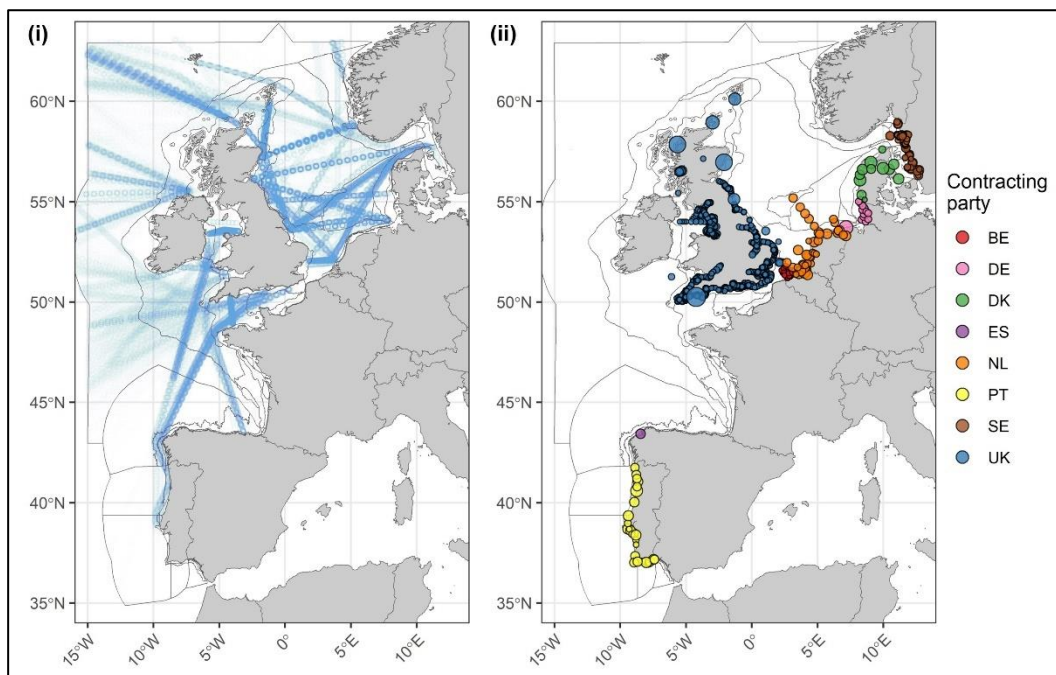
Die für die Bewertung verwendeten Daten sollten keine interpolierten Daten zu den Arten enthalten. Wenn es einen langen Zeitraum ohne Daten für eine bestimmte Art gibt, sollte diese ganze Art aus den Daten für die Bewertung entfernt werden. Datenlücken in den Plankton-Zeitreihen verursachen auch Probleme bei der Zeitreihenanalyse. Die Planktonhäufigkeit folgt einem jahreszeitlichen Zyklus, so dass zumindest annähernd monatliche Beobachtungen erforderlich sind, um beispielsweise aussagekräftige jährliche Durchschnittshäufigkeiten (Abundanten) abzuleiten. Das Bewertungsprotokoll wurde so konzipiert, dass einige fehlende Daten berücksichtigt werden können (Datenlücken in einzelnen Monaten können interpoliert werden), aber es werden keine Ergebnisse berechnet, wenn die zeitliche Datenabdeckung unzureichend ist.

Da das biologische Monitoring in der deutschen AWZ seit 2012 ausgesetzt ist, liegen für die Bewertung der PH-Indikatoren keine aktuellen Daten vor. Die verfügbaren Planktondaten im Zeitraum 2008-2011 stellen keine ausreichend lange Zeitreihe für eine Bewertung zur Verfügung, so dass in der AWZ ausschließlich CPR-Daten für die Bewertung verwendet werden können. Die im Rahmen des UBA-iMonEP-Projekts genommenen Planktonproben wurden für einen Abgleich mit den CPR-Daten genutzt, können aber erst durch weitere regelmäßige Beprobungen in den nächsten Jahren zu einer ausreichend langen Zeitreihe aufgebaut werden, um als Datengrundlage für die Bewertung der PH-Indikatoren nutzbar zu sein. Allerdings kommt erschwerend hinzu, dass sowohl das frühere biologische Monitoring als auch die im UBA-iMonEP-Projekt vorgenommenen Beprobungen nur 3-4 mal im Jahr erfolgten und damit die Anforderung an monatliche Planktondaten nicht erfüllen. Es ergibt sich also eine entsprechende Lücke zwischen den Monitoring Anforderungen und der verfügbaren Datengrundlage. In den deutschen Küstengewässern liegen Planktondaten an den Stationen des regelmäßigen Monitoringprogramms der Küstenbundesländer vor, die aber bis auf wenige Ausnahmen ebenfalls nicht monatlich beprobt werden, und vor allem für Zooplankton noch keine ausreichend langen Zeitreihen aufweisen. Im Rahmen des UBA-iMonEP-Projekts wird auch die räumliche Abdeckung der neu vereinbarten pelagischen Bewertungsgebiete mit Planktondaten untersucht für die Ableitung eines zukünftigen pelagischen Monitoringkonzepts

inklusive erforderlicher Anpassungen und der Nutzung zusätzlicher Datenquellen und Datentypen, um bisherige Lücken zu schließen.

Die im Rahmen des QSR 2023 für die Bewertung des PH1-Indikators verwendeten Daten sind in Abbildung 27 dargestellt. Auf der linken Seite sind die verfügbaren CPR-Daten abgebildet, die von der Marine Biological Association (MBA) in UK zur Verfügung gestellt wurden, während auf der rechten Seite die Daten der verschiedenen Vertragsstaaten aus dem OSPAR Data Call zusammengestellt sind.

Abbildung 27: CPR-Routen (i) und die Standorte der Proben aus allen anderen Datensätzen (ii), die für die PH1-Bewertung verwendet werden. Bei (ii) ist die Punktgröße proportional zur Anzahl der an jedem Ort genommenen Proben. Die Punkte sind je nach Vertragsstaat eingefärbt.



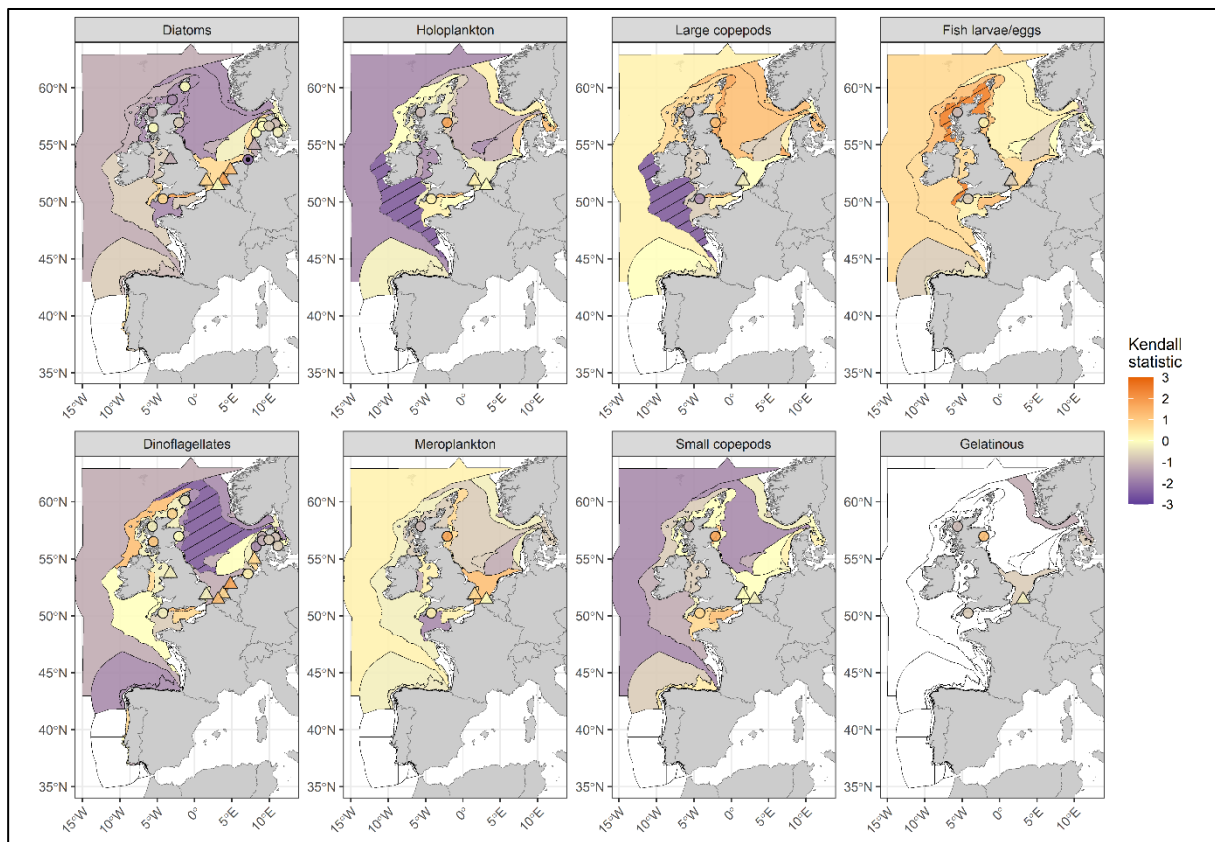
Quelle: OSPAR PH1 Indicator Assessment, 2022.

3.1.3 Regionale Bewertungsergebnisse

In der OSPAR Bewertungsperiode für den QSR 2023 kam es zwischen 2015 und 2019 bei den funktionellen Planktongruppen zu erheblichen Veränderungen der Abundanz verglichen mit dem langen Vergleichszeitraum 1960-2014, was eine Fortsetzung der langfristigen Trends widerspiegelt. Die Larven benthischer Wirbelloser nahmen zu, während andere funktionelle Gruppen wie Diatomeen, Dinoflagellaten, Holoplankton und kleine Copepoden meist abnahmen (Abbildung 28). Die beobachteten Veränderungen sind in erster Linie auf die steigenden Temperaturen in den Offshore-Gebieten im Nordostatlantik und auf Nährstoffe in einigen Küstengebieten zurückzuführen.

Abbildung 28: Bewertungsergebnisse der acht untersuchten Plankton-Lebensformen im OSPAR-Gebiet, dargestellt über COMP4-Bewertungseinheiten, Festpunktstationen (Kreise) und Flussfahnen (Dreiecke). Die Bewertungseinheiten sind nach den Ergebnissen des Kendall-Trendtests eingefärbt, die das Ausmaß des Anstiegs (> 0) und des Rückgangs (< 0) der Abundanz der Lebensformen im Zeitraum 2015-2019 angeben. Gemusterte Bewertungseinheiten, Fixpunktstationen und Flussfahnen mit einem

internen schwarzen Symbol zeigen statistisch signifikante Veränderungen an ($p \leq 0,05$). Weiße Bewertungseinheiten weisen auf unzureichende Daten zur Bewertung eines Trends hin.

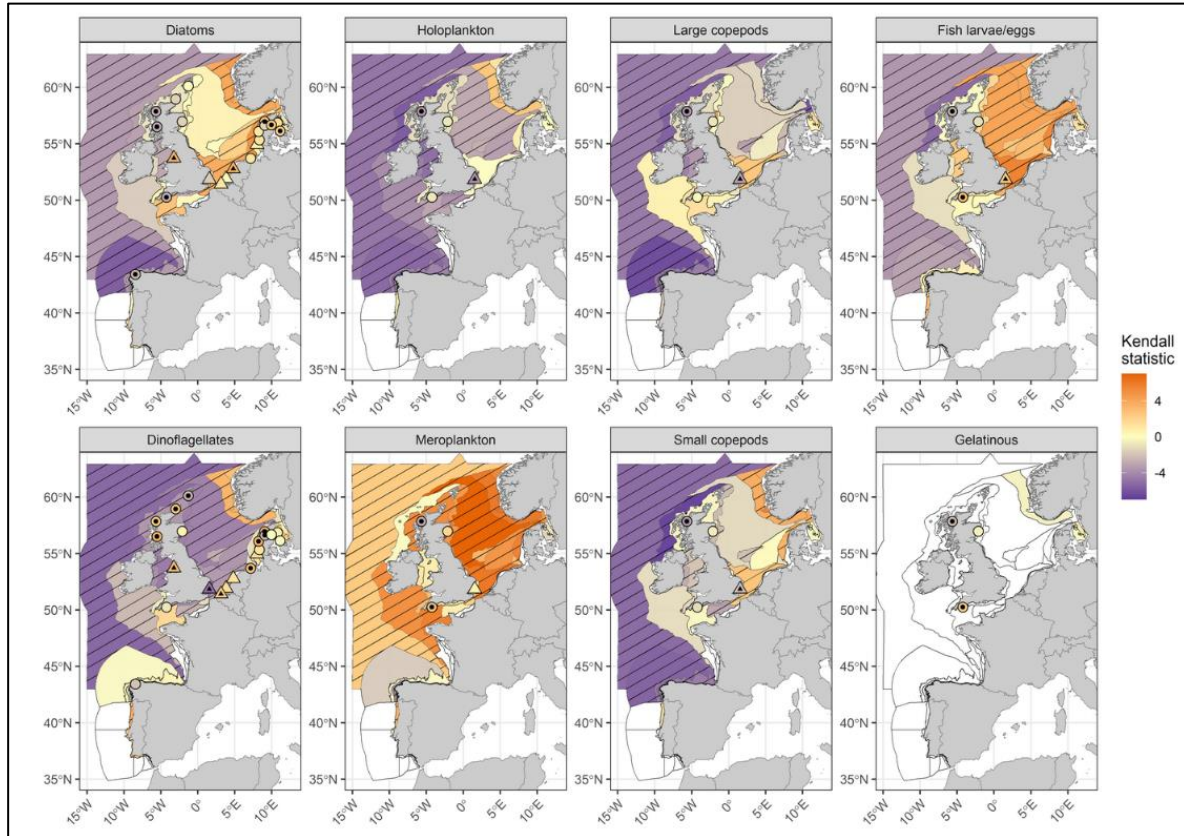


Quelle: OSPAR PH1 Indicator Assessment, 2022.

Zunehmende Trends wurden für große Copepoden vor allem in der nördlichen Nordsee und der zentralen Deutschen Bucht ermittelt, während in den Äußeren Küstengewässern von Deutschland und Dänemark und der südlichen Nordsee keine Trends festgestellt wurden. Dagegen zeigten kleine Copepoden eine Abnahme in der nördlichen Nordsee und keine Trends in der südlichen und östlichen Nordsee. Für Diatomeen wurden insbesondere in der Elbefahne und an der Langzeitstation Norderney abnehmende Trends ermittelt, die für die Station Norderney statistisch signifikant waren. Im Gegensatz dazu wurden in diesen Gebieten für Dinoflagellaten entweder zunehmende oder keine Trends festgestellt. Insgesamt wurden nur wenige statistisch signifikante Trends ermittelt, was zumindest teilweise auf den kurzen Bewertungszeitraum zurückzuführen ist. Die statistische Aussagekraft ist für kurze Zeiträume geringer, während längere Bewertungszeiträume die Erkennung vieler wichtiger Veränderungen bei den Plankton-Lebensformen erhöhen. Das liegt hauptsächlich an der hohen interannuellen Variabilität in der Häufigkeit der Lebensformen und den allmählichen Veränderungsraten im Laufe der Zeit. In der folgenden Abbildung 29 sind die ermittelten Trends der acht Lebensformen für den Gesamtzeitraum von 1960-2019 dargestellt. Daran wird deutlich, dass wesentlich mehr Trends als statistisch signifikant eingestuft wurden.

Abbildung 29: Bewertungsergebnisse der acht untersuchten Plankton-Lebensformen im OSPAR-Gebiet, dargestellt über COMP4-Bewertungseinheiten, Festpunktstationen (Kreise) und Flussfahnen (Dreiecke). Die Bewertungseinheiten sind nach den Ergebnissen des Kendall-Trendtests eingefärbt, die das Ausmaß des Anstiegs (> 0) und des

Rückgangs (< 0) der Abundanz der Lebensformen im Zeitraum 1960-2019 angeben. Gemusterte Bewertungseinheiten, Fixpunktstationen und Flussfahnen mit einem internen schwarzen Symbol zeigen statistisch signifikante Veränderungen an ($p \leq 0,05$). Weiße Bewertungseinheiten weisen auf unzureichende Daten zur Bewertung eines Trends hin.



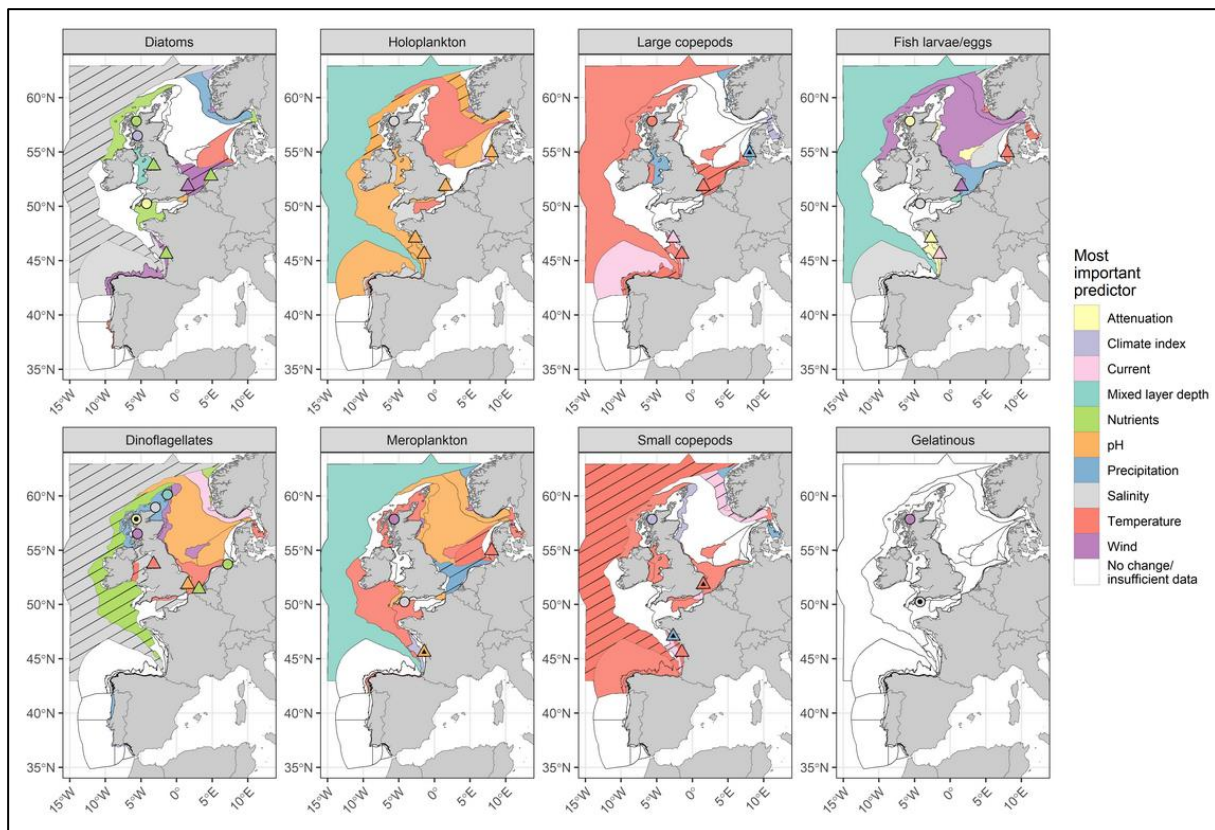
Quelle: OSPAR PH1 Indicator Assessment, 2022.

Für den Gesamtzeitraum zeigten Diatomeen in der östlichen und südlichen Nordsee zunehmende Trends, die in diesen Gebieten auch für Meroplankton und Fischlarven ermittelt wurden. Dagegen wurden für Dinoflagellaten abnehmende Trends in den Schelfgebieten ermittelt, während in den küstennahen Stationen und einigen Flussfahnen zunehmende Trends beobachtet wurden. Diese Diskrepanz könnte auf die geringere Konservierung von athekaten Dinoflagellaten in CPR-Proben zurückzuführen sein, die in den Datenreihen von Fixpunktstationen aufgrund der unterschiedlichen Methoden in der Probenahme besser erhalten bleiben.

Die Untersuchungen für den Zusammenhang der Veränderungen in der Abundanz von Lebensformen mit den Umweltbelastungen haben regionale Unterschiede ergeben. Grundsätzlich können externe (z. B. Niederschlag, Windgeschwindigkeit) und intern (z. B. pH-Wert, Wassertemperatur) Faktoren unterschieden werden, die auf die Meeresumwelt einwirken. Viele dieser Belastungen werden dabei indirekt durch den Klimawandel beeinflusst. Bei der Ermittlung der wichtigsten Umweltvariablen zur Vorhersage der Häufigkeit von Lebensformen wurde in vielen Fällen ein Zusammenhang mit dem Anstieg der Meeresoberflächentemperaturen festgestellt, wie z.B. der Rückgang der Abundanz von kleinen und großen Copepoden im Atlantik sowie dem Anstieg der Abundanz von Diatomeen in der östlichen Nordsee (Abbildung 30). Die Veränderung der Wassertemperatur war ebenfalls stark

mit einer Zunahme des Meroplanktons in der östlichen Nordsee verbunden. Die Auswirkungen des Temperaturanstiegs wurden am häufigsten in den Schelf- und ozeanischen Gebieten festgestellt, aber auch in der südlichen Nordsee, die gemäß der pelagischen Lebensraumtypen den Küstengewässern zugeordnet wird. Dabei können steigende Temperaturen direkte Auswirkungen auf das Plankton haben, aber auch mit indirekten Auswirkungen wie einer stärkeren Schichtung und einer daraus resultierenden Nährstofflimitierung in Verbindung gebracht werden.

Abbildung 30: COMP4-Bewertungseinheiten für acht Plankton-Lebensformen, farblich gekennzeichnet nach der Kategorisierung der wichtigsten Umweltvariablen zur Vorhersage der Abundanz der Lebensformen (siehe Legende). Gemusterte Bewertungseinheiten, Fixpunktstationen und Flussfahnen mit einem internen schwarzen Symbol zeigen eine statistisch signifikante Korrelation zwischen den vorhergesagten und den beobachteten Daten an, was auf eine höhere Zuverlässigkeit der ermittelten Ergebnisse hindeutet. Weiße Bewertungseinheiten zeigen keine Veränderung der Abundanz der Lebensformen oder unzureichende Daten zur Bewertung eines Trends an. Fixpunktstationen und Flussfahnen werden nur angezeigt, wenn ein Trend in der Abundanz der Lebensform vorliegt.



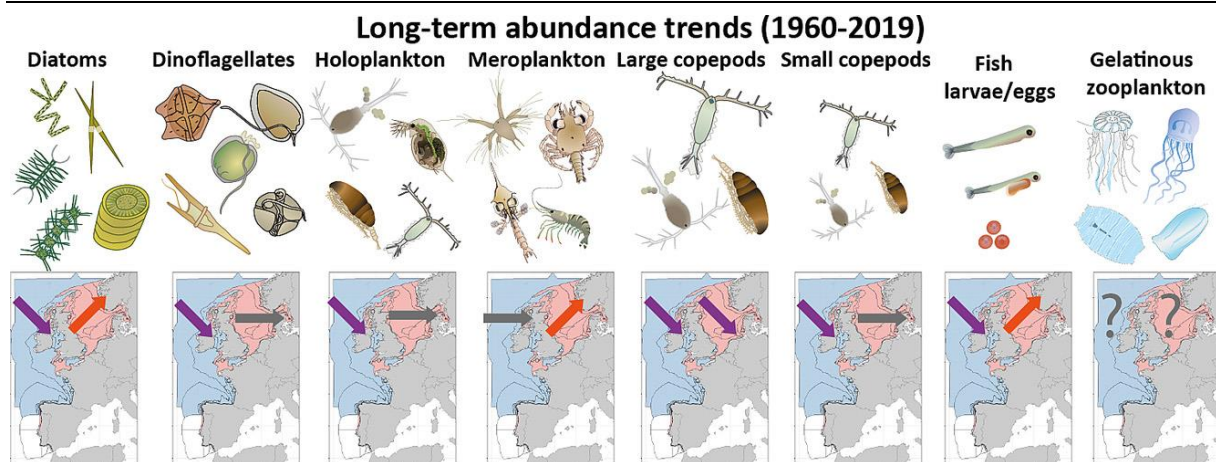
Quelle: OSPAR PH1 Indicator Assessment, 2022.

Der Zusammenhang mit Nährstoffkonzentration war weniger eindeutig, da es aufgrund der zeitlichen Verzögerung zwischen dem Auftreten und der Aufnahme von Nährstoffen durch das Phytoplankton schwierig ist, die Auswirkungen der Nährstoffkonzentrationen auf die Lebensformen zu bewerten. Die Untersuchungsergebnisse zeigten in den Küstenregionen einen deutlicheren Zusammenhang. So standen Veränderungen in der Abundanz von Diatomeen und Dinoflagellaten in Küstengewässern hauptsächlich im Zusammenhang mit einem Anstieg des

N:P-Verhältnisses, verursacht durch einen stärkeren Rückgang der Phosphorkonzentrationen im Vergleich zu Stickstoff. An der Station Norderney wurde ebenfalls ein Zusammenhang zwischen der zunehmenden Abundanz der Dinoflagellaten und Nährstoffen festgestellt.

Räumlich kohärente Muster in langfristigen Entwicklungen der Abundanz über mehrere Lebensformen hinweg deuten auf mögliche Veränderungen auf Gemeinschaftsebene hin. Um diese Muster zu identifizieren, wurde von Holland et al. (2023) eine Clusteranalyse durchgeführt. Die Clusterbildung von Bewertungseinheiten nach Abundanz-Trends ergab für die meisten Lebensformen weitgehend gegensätzliche Trendrichtungen zwischen Schelf- und Ozeanregionen, wobei die Gebiete der Nordsee durch eine zunehmende oder gleichbleibende Abundanz gekennzeichnet waren, während die Abundanz in den Gebieten des Nordostatlantiks einheitlich abnahm (Abbildung 31). Diese regionalen Gegensätze sind widersprüchlich, da sich die Nordsee, die eine starke Erwärmung, Veränderungen im Nährstoffgehalt und erhebliche Störungen durch die Fischerei erfahren hat, vom Phytoplankton bis zu den Fischlarven, im Vergleich zum sich langsamer erwärmenden Nordostatlantik mit geringerer Nährstoffzufuhr und geringerem Fischereidruck weitaus weniger verändert hat. Obwohl die ursächlichen Mechanismen noch unklar sind, stellt der Rückgang wichtiger Plankton-Lebensformen im Nordostatlantik, darunter Diatomeen und Copepoden, eine ernsthafte Gefährdung der Nahrungsnetze dar und die Entwicklung im Nordostatlantik wird als ein deutliches Warnsignal eingeordnet.

Abbildung 31: Langzeittrends der Abundanz für verschiedene Lebensformen in der Nordsee und im Nordostatlantik.



Quelle: Holland et al. (2023).

Einzelne Phytoplankton-Taxa zeigten innerhalb der verschiedenen Lebensformen ähnliche Abundanz-Trends, während die Taxa, die zu den Zooplankton-Lebensformen gruppiert wurden, stärker variierten. Dies deutet darauf hin, dass die Taxa, die zu den Lebensformen des Phytoplanktons gehören, in ihrer Reaktion auf Umweltveränderungen kohärenter sind im Vergleich zum Zooplankton wie dies auch von Bedford et al. (2020a) beschrieben wurde.

3.2 OSPAR PH2 Indikator

Der PH2-Indikator untersucht Veränderungen der Biomasse des Phytoplanktons und der Abundanz des Zooplanktons und ermöglicht die Ermittlung von Anomalien in den zwei grundlegenden Gruppen innerhalb einer Planktongemeinschaft auf übergeordneter Ebene. Die

Kombination von Phytoplankton-Biomasse und Zooplankton-Abundanz kann einen Hinweis auf Veränderungen im Energietransfer von Primär- zu Sekundärproduzenten geben.

Die Phytoplankton-Biomasse kann als Biovolumen oder Kohlenstoffgehalt gemessen werden, oder über die Konzentration von Chlorophyll-a, einem Pigment, das in allen Phytoplankton-Organismen vorkommt, als Proxy bewertet werden. Die Zooplankton-Abundanz wird anhand der Copepodensumme bewertet, da Copepoden die zahlreichste Zooplanktongruppe und weit verbreitet sind. Die ermittelten Veränderungen oder Anomalien stellen Abweichungen von der angenommenen natürlichen Variabilität in einer Plankton-Zeitreihe dar. Je größer die Anomalie ist (in Bezug auf den absoluten Wert, da Anomalien positiv oder negativ sein können), desto größer ist die Veränderung. Die Veränderungen der Phytoplankton-Biomasse und der Zooplankton-Abundanz wurden für den OSPAR QSR 2023 zwischen dem Vergleichszeitraum (1960-2014 für Zooplankton bzw. 1997-2014 für Phytoplankton) und dem Bewertungszeitraum (2015-2019) bestimmt. Die Richtung der Veränderung wird statistisch als entweder zunehmend, gleichbleibend oder abnehmend identifiziert. Dieser Indikator wurde auf regionaler Ebene ebenso wie die anderen pelagischen Indikatoren auf Basis der OSPAR COMP4-Bewertungseinheiten bewertet, die auch in der Eutrophierungsbewertung verwendet wurden. Die Integration der Ergebnisse dieses Indikators mit den Veränderungen bei den Lebensformen (PH1) und der Diversität des Planktons (PH3) trägt dazu bei, ein ganzheitliches Verständnis der Veränderungen in den pelagischen Lebensräumen auf verschiedenen Ebenen (Einzelart-Niveau, funktionelle Gruppen, übergeordnete Gruppenebene von Phyto- und Zooplankton) zu erhalten.

3.2.1 Indikatorkonzept

Das Bewertungskonzept des PH2-Indikators wurde seit dem letzten OSPAR IA 2017 überarbeitet, wobei im Wesentlichen die ersten Schritte der Datenaufbereitung an die verschiedenen Datentypen angepasst wurden, insbesondere für die erstmalig verwendeten Satellitendaten für Chlorophyll-a. Grundsätzlich werden Phytoplankton und Zooplankton in der Bewertung getrennt betrachtet. Für die Zooplankton-Abundanz werden alle Copepoden-Arten jeder Probenahme summiert, um die Gesamtabundanz der Copepoden zu erhalten. Die verschiedenen Datensätze und Zeitreihen werden zunächst getrennt behandelt und erst in einem zweiten Schritt zu monatlichen Mittelwerten aggregiert. Die räumliche und zeitliche Aggregation der Daten beider Planktonkomponenten erfolgt unter Verwendung eines 1-Grad-Rasters für jeden Monat, um das Untersuchungsgebiet besser beurteilen zu können. Wenn Daten an mehreren Standorten innerhalb einer Rasterzelle im selben Monat vorlagen, wurde der Mittelwert berechnet. Wenn in einem Jahr mehr als 3 aufeinanderfolgende Monate oder mehr als 4 nicht aufeinanderfolgende Monate fehlten, wurde das gesamte Jahr aus der Zeitreihe entfernt.

Wenn die Daten in Form von Monatsmittelwerten vorliegen, werden sie den COMP4-Bewertungsgebieten zugeordnet. Die Zeitreihenanalyse wird sowohl für die Phytoplankton- als auch die Zooplankton-Daten mit demselben R-Skript durchgeführt. Zunächst wird der mittlere saisonale Zyklus während des gesamten Untersuchungszeitraums ermittelt. Im nächsten Schritt wird die Saisonalität aus den Zeitreihen entfernt, indem der Mittelwert innerhalb eines gleitenden 12-Monats-Fensters berechnet wird. Die Entfernung der Saisonalität ist erforderlich, um die Schwankungen der Phytoplankton-Biomasse und der Zooplankton-Abundanz außerhalb ihres natürlichen Zyklus zu analysieren. Durch die Subtraktion der Saisonalität von der ursprünglichen Zeitreihe werden monatliche Anomalien ermittelt (Methode der saisonalen Differenzierung). Um Regimeverschiebungen in den Zeitreihen für den Bewertungs- und den Vergleichszeitraum zu erkennen, wird die kumulative Summe der Anomalien gebildet.

Verbesserungen der Methodik seit der Bewertung des OSPAR IA 2017 ermöglichen die Definition unterschiedlicher Vergleichs- und Bewertungszeiträume für die verschiedenen Zeitreihen je nach verfügbaren Daten. Es wird ein Spearman-Rangkorrelationstest durchgeführt, um die Anomalien des Bewertungszeitraums mit den Anomalien des Vergleichszeitraums zu vergleichen. Für den QSR 2023 umfasste der Vergleichszeitraum alle Daten vor 2015 und der Bewertungszeitraum wurde von 2015 bis 2019 festgelegt, da die Daten für die Zeit nach 2019 noch nicht für alle Planktondatensätze verfügbar waren. Die Ergebnisse geben einen Hinweis auf Veränderungen, die eine Zunahme der Phytoplankton-Biomasse/Zooplankton-Abundanz (0 bis 1), keine Veränderung (=0) oder einer Abnahme der Phytoplankton-Biomasse/Zooplankton-Abundanz (-1 bis 0) bei einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ zeigen.

Ein Hauptziel dieser Indikatorbewertung war die Integration der Ergebnisse, um ein Verständnis der Veränderungen in den verschiedenen pelagischen Lebensräumen in den OSPAR-Regionen II, III und IV zu ermöglichen. Um die ermittelten Anomalien zu einem Gesamtstatus zusammenzufassen, wurden die Ergebnisse einzelner COMP4-Bewertungsgebiete zu pelagischen Biotopklassen/Lebensraumtypen (variable Salinität, Küste, Schelf und Schelfmeer/ozeanisch) in den verschiedenen OSPAR-Regionen zusammengefasst. Dabei war die Hauptrichtung der ermittelten Veränderungen entscheidend. Wenn z.B. Veränderungen in der Zooplankton-Abundanz in sechs COMP4-Gebieten und vier Fixpunktstationen in der Kategorie der Küstenlebensräume in der OSPAR-Region II ermittelt wurden mit vier abnehmenden Trends, drei zunehmenden Trends und drei Fällen ohne Trend, würde insgesamt ein abnehmender Nettotrend berichtet. Zusätzlich wird der Anteil der untersuchten Bewertungsgebiete angegeben, in denen dieser Trend festgestellt wurde, in diesem Fall 0,4. Die räumliche Repräsentativität des Ergebnisses entspricht dem Anteil der in der Analyse berücksichtigten COMP4-Bewertungseinheiten, in diesem Beispiel sechs, an der Gesamtzahl der möglichen COMP4-Bewertungseinheiten in der Kategorie der Küstenlebensräume in der OSPAR-Region II, in diesem Fall 12. Daher würde die räumliche Repräsentativität des Ergebnisses 0,5 betragen. Bei Fixpunktstationen wurde die räumliche Repräsentativität nicht berücksichtigt.

Die Zuordnung der einzelnen COMP4-Bewertungsgebiete in die pelagischen Biotopklassen variable Salinität, Küste, Schelf und Schelfmeer wurde im Rahmen der verschiedenen OSPAR Expertengruppen basierend auf den Ergebnissen eines Workshops des OSPAR NEA-PANACEA-Projekts abgestimmt und sowohl für die pelagische Habitatbewertung als auch die Eutrophierungsbewertung verwendet. Basierend auf der in McQuatters-Gollop et al. (2022) beschriebenen Methode zur Biodiversitätsbewertung für die Einstufung von Bewertungsergebnissen in die Kategorien gut, nicht gut, unsicher und nicht bewertet, wurde der Qualitätsstatus für jede Planktonkomponente gemäß den Zusammenhängen von anthropogenen Belastungen und dem Klimawandel auf die festgestellten Veränderungen definiert. Eine ausführlichere Beschreibung ist in Kapitel 3.2.3 enthalten.

Für die Ermittlung der Beziehung zwischen Umweltbelastungen und der Phytoplankton-Biomasse und Zooplankton-Abundanz wurden Umweltvariablen nach ihrer Relevanz und Verfügbarkeit für das Plankton ausgewählt, um den jeweils wichtigsten Einfluss auf die Veränderungen in der Planktongemeinschaft in den verschiedenen Gebieten zu bestimmen. Der Zusammenhang mit Nährstoffen wurde nur für die Phytoplankton-Biomasse berücksichtigt, aber nicht für die Zooplankton-Abundanz. Die verwendeten Umweltvariablen (Oberflächentemperatur, Salzgehalt, pH-Werte, Niederschlag, Wind, Nährstoffe, Klimaindizes und weitere Variablen) stammten aus verschiedenen Modellen für den Nordostatlantik. Nähere Erläuterungen zur Durchführung der Bewertung sind auf der OSPAR-Webseite im [PH2 Indicator Assessment](#) zu finden.

3.2.2 Datengrundlagen und Datenanforderungen

PH2 erfordert Daten zur Phytoplankton-Biomasse und zur Abundanz des Zooplanktons. Als Proxy für die Phytoplankton-Biomasse wird Chlorophyll-a verwendet, wobei unterschiedliche Datentypen und Untersuchungsmethoden genutzt werden können. Es werden drei Datentypen im Zusammenhang mit verschiedenen Erfassungssystemen im PH2-Indikator berücksichtigt: Zeitreihen von Planktonproben, die an festen (hauptsächlich küstennahen) Stationen gesammelt werden, CPR-Planktondaten, die mit regelmäßigen Probenahmen große räumliche Bereiche abdecken, und Satellitendaten für Chlorophyll-a in monatlicher Auflösung für die verschiedenen Bewertungsgebiete. Die Konzentration von Chlorophyll-a kann mit unterschiedlichen Methoden bestimmt werden wie Spektralphotometrie, extraktive Fluorometrie, In-vivo-Fluorometrie, HPLC, Fernerkundung, Phytoplankton-Biovolume sowie der Gesamtbiomasse des Phytoplanktons. Es ist auch möglich die semi-quantitative Messung der Phytoplankton-Biomasse anhand des Plankton Colour Index (PCI) zu nutzen, eine für CPR-Daten spezifische Metrik der Pigmentierung des im Planktonrekorder verwendeten Seidenfilters. Im OSPAR IA 2017 wurde die Phytoplankton-Biomasse auf Basis der PCI-Daten bewertet. Für die PH2-Bewertung im QSR 2023 wurden Satellitendaten aufgrund der besseren räumlichen und zeitlichen Auflösung und trotz ihrer kürzeren Zeitreihen (seit 1997 gegenüber 1960 für PCI-Daten) im Vergleich zu den PCI-Daten genutzt. Für die Zooplankton-Abundanz wird nur die Gesamtsumme der Copepoden berücksichtigt.

Die Länge einer Zeitreihe sollte mindestens zehn Jahre betragen. Dabei ist die Abdeckung der aktuellen Bewertungsperiode und eines Vergleichszeitraums notwendig, um Veränderungen zwischen den beiden Zeiträumen zu ermitteln. Außerdem ist es erforderlich, dass die Überwachungsdaten in regelmäßigen Abständen durch einheitliche Probenahme- und Analyseverfahren erfasst werden. Weitere Angaben zu den erforderlichen Daten sind in der OSPAR CEMP Guideline PH2 zusammengestellt.

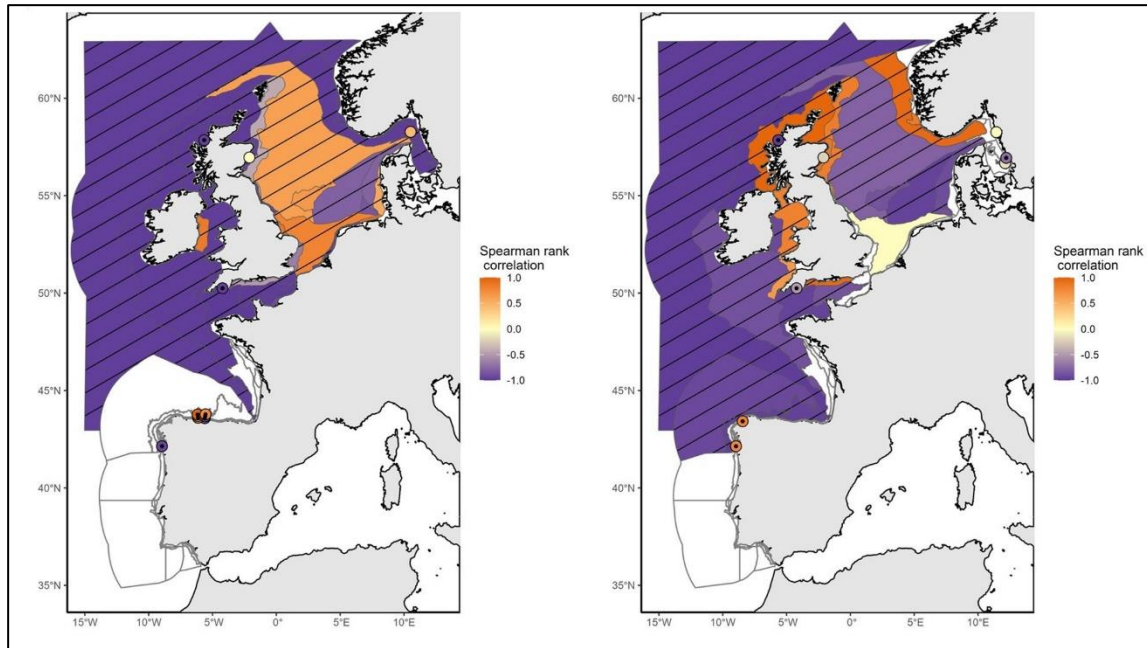
Da die Phytoplankton-Biomasse und die Zooplankton-Abundanz einem saisonalen Zyklus folgen, ist eine Auflösung von mindestens monatlichen Beobachtungen erforderlich, um aussagekräftige jährliche Durchschnittswerte abzuleiten. Lücken in den Plankton-Zeitreihen können Probleme bei der zeitlichen Analyse im PH2-Bewertungskonzept bzw. im Ablauf des dafür verwendeten R-Skripts verursachen. Das Bewertungsprotokoll wurde so konzipiert, dass einige fehlende Daten interpoliert werden können, aber keine Ergebnisse berechnet werden, wenn die zeitliche Datenabdeckung unzureichend ist. Wenn in einem Jahr mehr als 3 aufeinanderfolgende Monate oder mehr als 4 nicht aufeinanderfolgende Monate fehlen, wird das gesamte Jahr aus der Zeitreihe entfernt. Für Zeitreihen mit drei aufeinanderfolgenden oder vier nicht aufeinanderfolgenden fehlenden Monaten innerhalb eines Jahres wird eine zeitliche Interpolation durchgeführt. Die zeitliche Interpolation ist insbesondere hilfreich, um die Satellitendaten in der Nordsee zu ganzjährigen Daten zu ergänzen, da in den Wintermonaten aufgrund der kurzen Tageslichtdauer (November bis Februar) oft Daten fehlen, abhängig vom Breitengrad in unterschiedlichem Ausmaß in den verschiedenen Gebieten.

3.2.3 Regionale Bewertungsergebnisse

Die Bewertungsergebnisse des PH2-Indikators zeigten im Bewertungszeitraum 2015-2019 sowohl für die Phytoplankton-Biomasse als auch Zooplankton-Abundanz in vielen Gebieten abnehmende Trends. Während im Nordost-Atlantik beide Planktonkomponenten abnahmen, wurde für die Phytoplankton-Biomasse in der zentralen und südlichen Nordsee und auch in der

Elbefahne eine Zunahme ermittelt (Abbildung 32). Im Gegensatz dazu wurde in der östlichen Nordsee, der zentralen Deutschen Bucht und den Äußeren Küstengewässern von Deutschland und Dänemark eine abnehmende Phytoplankton-Biomasse festgestellt. Die Bewertungsergebnisse des Chlorophyll-a Indikators der Eutrophierungsbewertung passen in diesen Gebieten mit der PH2-Bewertung zusammen, da auch für die Chlorophyll-a Konzentrationen eine Abnahme ermittelt wurde. Teilweise stehen die Ergebnisse der Indikatorbewertungen aber auch im Widerspruch. So wurden in der Elbefahne seit der letzten COMP3-Bewertung geringere Chlorophyll-a Konzentrationen gemessen und damit eine Abnahme festgestellt, während mit dem PH2-Indikator eine zunehmende Phytoplankton-Biomasse festgestellt wurde. Die Unterschiede können durch die unterschiedlich langen Bewertungszeiträume verursacht sein (sehr langer Vergleichszeitraum bei PH2, unterschiedlich lange vorherige COMP-Bewertungsperioden), aber auch durch Unterschiede in den verwendeten Datengrundlagen (unterschiedliche Datenaufbereitung der Satellitendaten unter Verwendung verschiedener Rasterzellgrößen) und den Bewertungskonzepten der beiden Indikatoren. Die generellen Unterschiede zwischen den beiden Indikatorbewertungen können sich dabei gebiets-spezifisch unterschiedlich auswirken, so dass in einigen Gebieten Übereinstimmungen, in anderen dagegen Abweichungen bestehen. In einer Fallstudie im OSPAR NEA-PANACEA Projekt wurden neben der möglichen Integration von pelagischen Indikatoren und Eutrophierungsindikatoren auch Unterschiede in den Bewertungsergebnissen zwischen der Phytoplankton-Biomasse des PH2 Indikators und den Chlorophyll-a-Konzentrationen des Eutrophierungsindikators näher untersucht ([NEA-PANACEA Case Study](#)). Als wesentliche Ursachen wurden dabei die unterschiedlichen Datengrundlagen und die räumliche Aggregation der Satellitendaten identifiziert, während Abweichungen in der Bewertungssaison (ganzjährig vs. Wachstumsperiode) und unterschiedliche Indikatorkonzepte in geringerem Maße für abweichende Ergebnisse verantwortlich waren. Die unterschiedlichen Ergebnisse der Indikatoren erschweren die Interpretation der Bewertungsergebnisse und sollen zukünftig besser harmonisiert werden.

Abbildung 32: Entwicklung der Anomalien zwischen dem Bewertungszeitraum (2015-2019) und dem Vergleichszeitraum (1997-2014 für Phytoplankton, 1960-2014 für Zooplankton) für Phytoplankton-Biomasse (links) und Zooplankton-Abundanz (rechts). Schraffierte Flächen zeigen signifikante Veränderungen an ($p \leq 0,05$), weiße Flächen weisen auf fehlende oder unzureichende Daten hin.



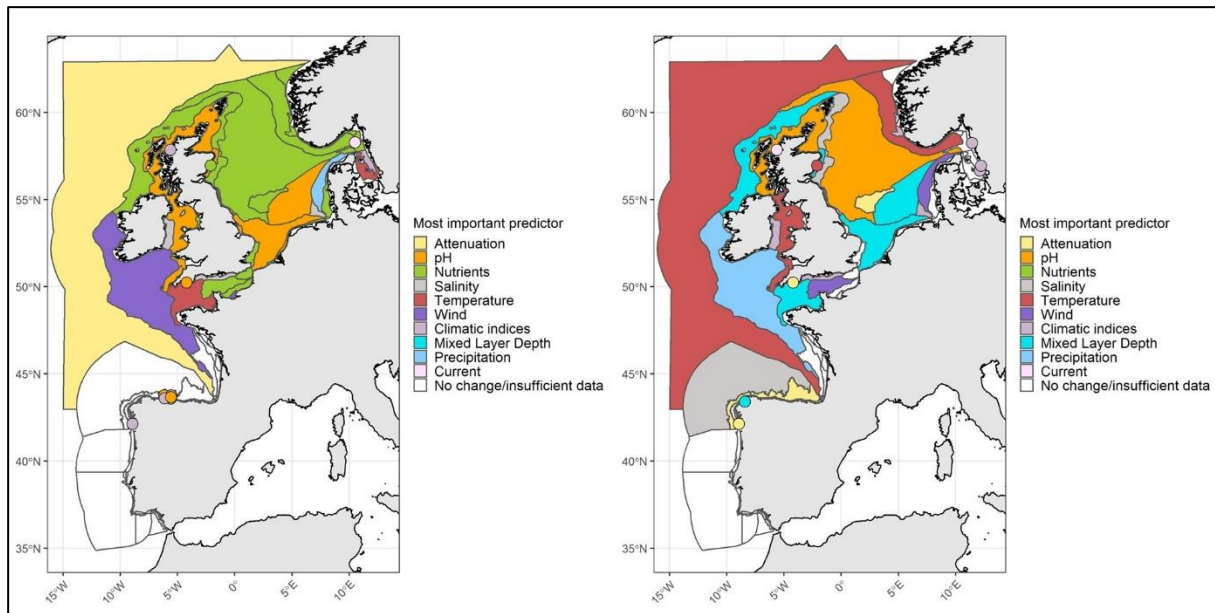
Quelle: OSPAR PH2 Indicator Assessment, 2022.

Für die Zooplankton-Abundanz wurden im Bewertungszeitraum 2015-2019 in fast allen Gebieten abnehmende Trends festgestellt mit Ausnahme der Norwegischen Rinne und in den Gewässern um UK. Abnehmende Trends wurden in vielen Gebieten auch mehrheitlich für die Zooplankton-Lebensformen im PH1-Indikator ermittelt, auch wenn die Copepodensumme in der PH2-Bewertung damit nicht direkt vergleichbar ist.

Der schnellere Rückgang von Phosphor im Vergleich zu Stickstoff hat das N:P-Verhältnis in einigen Gebieten weiter erhöht und kann auch Auswirkungen auf den PH2-Indikator haben, insbesondere auf die Phytoplankton-Biomasse, während die Zooplankton-Abundanz davon nur indirekt beeinflusst wird. Dies war in den Küsten- und Schelfgebieten der OSPAR-Region II der Fall. Als Folge des Ungleichgewichts zwischen Stickstoff und Phosphor und dem Zusammenhang mit Eutrophierung wurden diese pelagischen Habitate als nicht-gut eingestuft. In Gebieten, in denen andere Faktoren mit Veränderungen der Phytoplankton-Biomasse und der Zooplankton-Abundanz in Verbindung gebracht wurden (z. B. Lebensräume mit variabler Salinität in der Erweiterten Nordsee und der Keltischen See), war es schwieriger, den Ursprung der Belastung festzustellen. Der Zustand dieser Habitate wurde daher als unsicher eingestuft. Neben den Zusammenhängen mit Nährstoffen (Stickstoff, Phosphor oder dem N:P Verhältnis) wurden auch abnehmende pH-Werte, steigende Oberflächentemperaturen sowie Wind und Niederschläge als wichtigste Einflussgrößen auf die Veränderungen der Phytoplankton-Biomasse ermittelt (Abbildung 33).

Abbildung 33: Wichtigste Einflussfaktoren im Zusammenhang mit Veränderungen der Phytoplankton-Biomasse (links) und der Zooplankton-Abundanz (rechts).

Nährstoffe wurden nur für Phytoplankton berücksichtigt, aber nicht für Zooplankton.



Quelle: OSPAR PH2 Indicator Assessment, 2022.

3.3 OSPAR PH3 Indikator

Der PH3 Indikator untersucht die Diversität von Planktongemeinschaften. Um die Dominanz der Arten (das häufigste Taxon im Verhältnis zu anderen Taxa) zu bewerten, wird eine Analyse der Varianz der Planktongemeinschaft über Zeit und Raum durchgeführt. In abgeschlossenen Ökosystemen sind Standorte mit geringer Veränderung der Artenzusammensetzung im Laufe der Zeit durch eine minimale Gemeinschaftsvarianz gekennzeichnet, während Standorte, die in einen artenarmen Zustand übergegangen sind oder eine Verbesserung des ökologischen Zustands erfahren haben, durch eine große Gemeinschaftsvarianz gekennzeichnet sind. Die Richtung der Veränderung der Varianz kann also ein Indikator für den ökologischen Zustand pelagischer Gemeinschaften sein.

Bislang wurden nur wenige Indikatoren für die Zusammensetzung von Gemeinschaften für den Umweltzustand verwendet, was wahrscheinlich die Schwierigkeit widerspiegelt, Vergleichsbedingungen und Umweltziele für diese Indikatoren festzulegen (Garmendia et al., 2013). Die Reaktion von Phytoplankton-Gemeinschaften auf menschliche Einflüsse ist oft nicht linear und nicht immer miteinander korreliert, was es schwierig macht, eindeutige Zusammenhänge zwischen Zustand und Belastung zu erkennen. Andererseits besteht der Hauptvorteil der Verwendung von Diversitätsindizes darin, dass sie in der wissenschaftlichen Literatur bereits weit entwickelt sind und sich leicht berechnen lassen.

3.3.1 Indikatorkonzept

Das Ziel der Bewertung mit Hilfe von Diversitätsindizes ist nicht nur die quantitative Beschreibung der Zusammensetzung der Gemeinschaft, sondern dient auch dazu die Veränderungen in der Struktur der Gemeinschaft auf saisonaler und jährlicher Ebene besser zu erkennen. Es gibt zahlreiche Indizes zur Quantifizierung der biologischen Vielfalt, so dass die Wahl des am besten geeigneten und empfindlichsten Index zur Berechnung der Gemeinschaftsvielfalt schwierig sein kann. Bisher ist der PH3 Indikator nur ein „Common

Indicator‘ in der OSPAR Region III (Keltische See), wurde aber im Rahmen des QSR 2023 auch in den Regionen II (erweiterte Nordsee) und IV (Golf von Biskaya und Iberische Küste) als Pilotbewertung angewendet.

Die Berücksichtigung mehrerer Indizes, die sich in erster Linie auf die Anzahl der Arten (oder den Artenreichtum) wie z. B. Menhinick und Margalef und/oder die Dominanz einiger weniger Arten wie Indizes nach Shannon, Patten, Gini und Hulburt innerhalb der Gemeinschaft konzentrieren, ermöglicht ein ganzheitliches Verständnis der Gemeinschaftsstruktur, das bei einer unabhängigen Bewertung dieser Indizes nicht möglich wäre. Der PH3-Indikator konzentriert sich sowohl auf die α -Diversität (d. h. die Vielfalt innerhalb eines Standorts oder einer Probe) als auch die β -Diversität, welche die Veränderungsrate oder den Umsatz in der Artenzusammensetzung berücksichtigen (Rombouts et al., 2019). In der Bewertung für den QSR 2023 wurde der Menhinick-Index für die Bewertung des Artenreichtums von Phytoplankton- und Zooplanktongemeinschaften gewählt, da dieser Index am empfindlichsten auf Veränderungen der Umweltbedingungen reagiert, ohne zwischen natürlichen und anthropogenen Quellen zu unterscheiden (Budria et al., 2017, Rombouts et al., 2019). Die Untersuchungen von Budria et al. (2017) und Rombouts et al. (2019) zu Dominanz-Indizes ergaben, dass der Hulburt-Index die Dominanz für Phytoplankton besser beschreibt, während die Gini- und Patten-Indizes besser für Zooplankton geeignet sind. Zusätzlich wird als zeitliche Komponente der β -Diversität der LCBD-Index (Local Contribution to Beta Diversity) verwendet, der den lokalen Beitrag zur β -Diversität innerhalb eines Untersuchungsgebiets im Laufe der Zeit angibt, also wie viel jede Beobachtung in einer Zeitreihe dazu beiträgt.

Tabelle 15: Übersicht über die verschiedenen Diversitätsindizes, die für Phytoplankton und Zooplankton im PH3 Indikator angewendet werden.

Planktonkomponente	Indizes für α -Diversität	Indizes für β -Diversität
Phytoplankton	Menhinick	100- Hulbert, LCBD
Zooplankton	Menhinick	Gini, Patten, LCBD

Quelle: eigene Darstellung, AquaEcology. Zusammenstellung basiert auf OSPAR PH3 Indicator Assessment, 2022.

Die Integration der α - und β -Diversitätsindizes erfolgt über die Berechnung von EQRs (Ecological Quality Ratio) für jeden Diversitätsindex auf einer Skala von 0 bis 1. Für jede Planktonkomponente (Phytoplankton, Zooplankton) werden verschiedene α - und β -Diversitätsindizes integriert und zu einem EQR pro Index vereinfacht. Die Berechnung der EQR-Werte erfolgt nach den untenstehenden Formeln und ergibt sich für den Dominanzindex der α -Diversität aus dem Verhältnis des jeweiligen Indexwertes pro Jahr durch den Referenzwert, während für den Reichtumsindex der LCBD für die β -Diversität umgekehrt berechnet wird.

Der EQR_{α} für den Dominanzindex und der EQR_{β} für den Reichtumsindex sind definiert als:

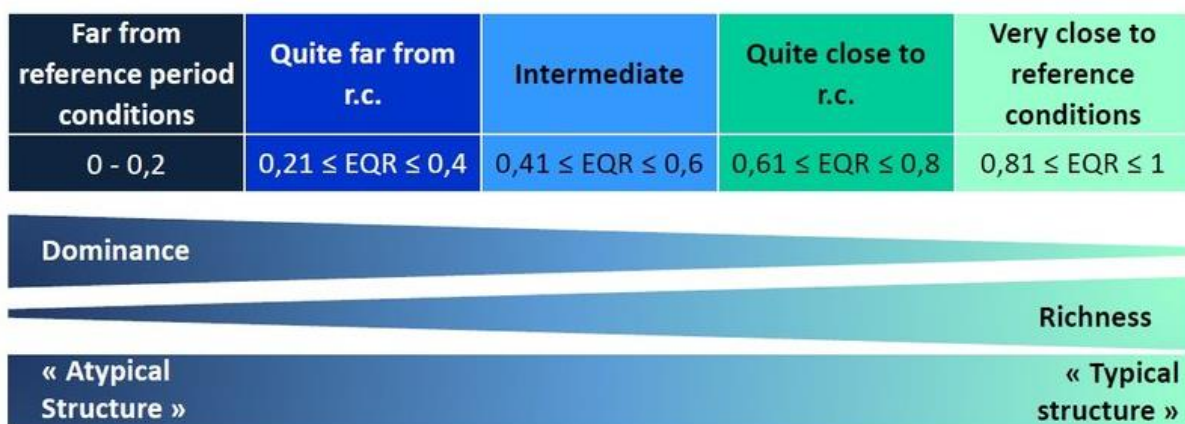
$$EQR_{\alpha} = \frac{\text{Indexwert eines Jahres}}{\text{Referenzwert}}$$

Der EQR_{β} für LCBD ist wie folgt definiert:

$$EQR_{\beta} = \frac{\text{Referenzwert}}{\text{Indexwert eines Jahres}}$$

Die Zuordnung der EQR-Werte auf einer kontinuierlichen Skala von 0 bis 1, wie sie in der aktuellen OSPAR-Bewertung für den QSR 2023 verwendet wurde, wird in Abbildung 34 dargestellt. Dabei zeigen EQR-Werte nahe 0 eine hohe Dominanz, einen geringen Reichtum in der Probe und eine "atypische" Struktur in der Planktongemeinschaft an, während EQR-Werte nahe 1 auf eine geringe Dominanz, einen hohen Reichtum und eine "typische" Gemeinschaftsstruktur hinweisen und damit sehr nahe an Referenzbedingungen liegen. Zur Veranschaulichung werden willkürlich gewählte, relative Klassen in Bezug auf die Referenzbedingungen angezeigt.

Abbildung 34: Ecological Quality Ratio (EQR) als kontinuierliche Metrik von 0 bis 1 in Bezug auf die Referenzbedingungen. EQR-Werte nahe 0 sind weit entfernt von Referenzbedingungen, während EQR-Werte nahe 1 referenznahen Bedingungen entsprechen.



Quelle: OSPAR PH3 Indicator Assessment, 2022.

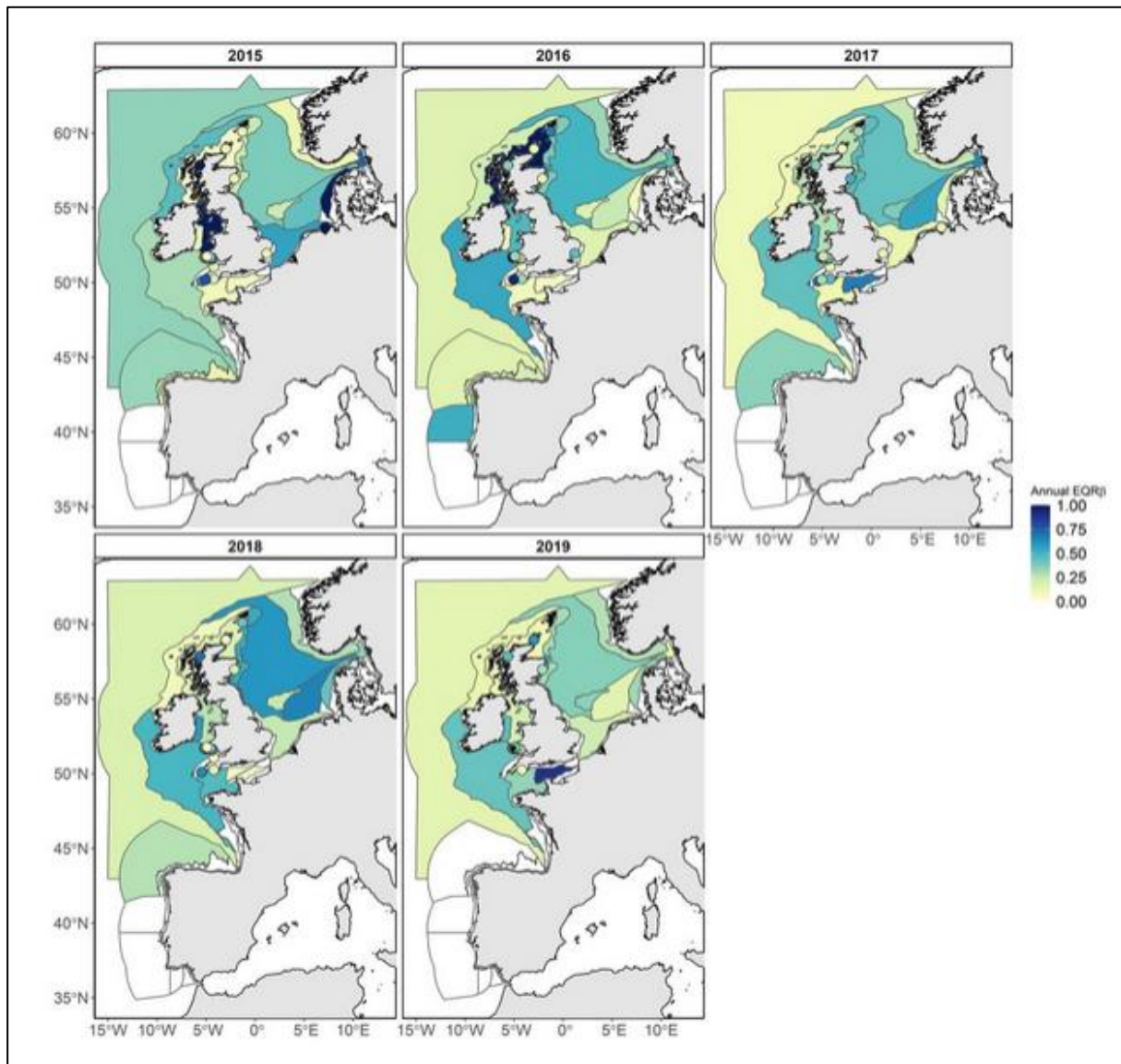
3.3.2 Datengrundlagen und Datenanforderungen

Für die Bewertung des PH3-Indikators können sowohl nationale Plankton-Monitoringdaten, die meist in den Küstengewässern erhoben werden, als auch CPR-Daten in den weiter offshore liegenden Schelfgebieten verwendet werden. Um Verfälschungen bei der Berechnung der verschiedenen Indizes zu minimieren, wurde jeder Datensatz separat analysiert. Eine monatliche Probenahme für Phyto- und Zooplankton wird als Mindestanforderung in der OSPAR CEMP Guideline PH3 beschrieben, um die natürliche Variabilität der Planktongemeinschaft und die saisonalen und interannuellen Schwankungen ausreichend in den Bewertungen berücksichtigen zu können. Es sind Daten zur Abundanz und der Zusammensetzung der Gemeinschaft (pro Art/Gattung/Taxa) für Phyto- und Zooplankton erforderlich und es sollte dabei der gesamte Jahresverlauf erfasst werden. Da der PH3-Indikator auf Art-Niveau die höchste Auflösung aufweist verglichen mit PH1 und PH2 auf der Ebene von funktionellen Gruppen sowie Gesamtbioasse und -abundanz, ist eine höchstmögliche taxonomische Klassifizierung der Daten wichtig. Für die Ermittlung von Langzeittrends und für einen Abgleich der aktuellen Bewertungsperiode mit der Vergleichsperiode müssen die Datenreihen mindestens einen Zeitraum von 10 Jahren umfassen.

3.3.3 Regionale Bewertungsergebnisse

Phytoplankton und Zooplankton wurden getrennt bewertet und nicht zu einem Gesamtergebnis integriert. Dies wird für die nächste OSPAR-Bewertung angestrebt, auch wenn weitere Arbeiten dafür erforderlich sind.

Abbildung 35: Entwicklung der jährlichen Phytoplankton EQR- β -Werte im Bewertungszeitraum 2015-2019 in den verschiedenen Bewertungsgebieten. Niedrige EQR-Werte sind in gelb und hohe Werte in blau dargestellt. Weiße Bereiche zeigen Gebiete mit unzureichenden Daten für die Bewertung an.

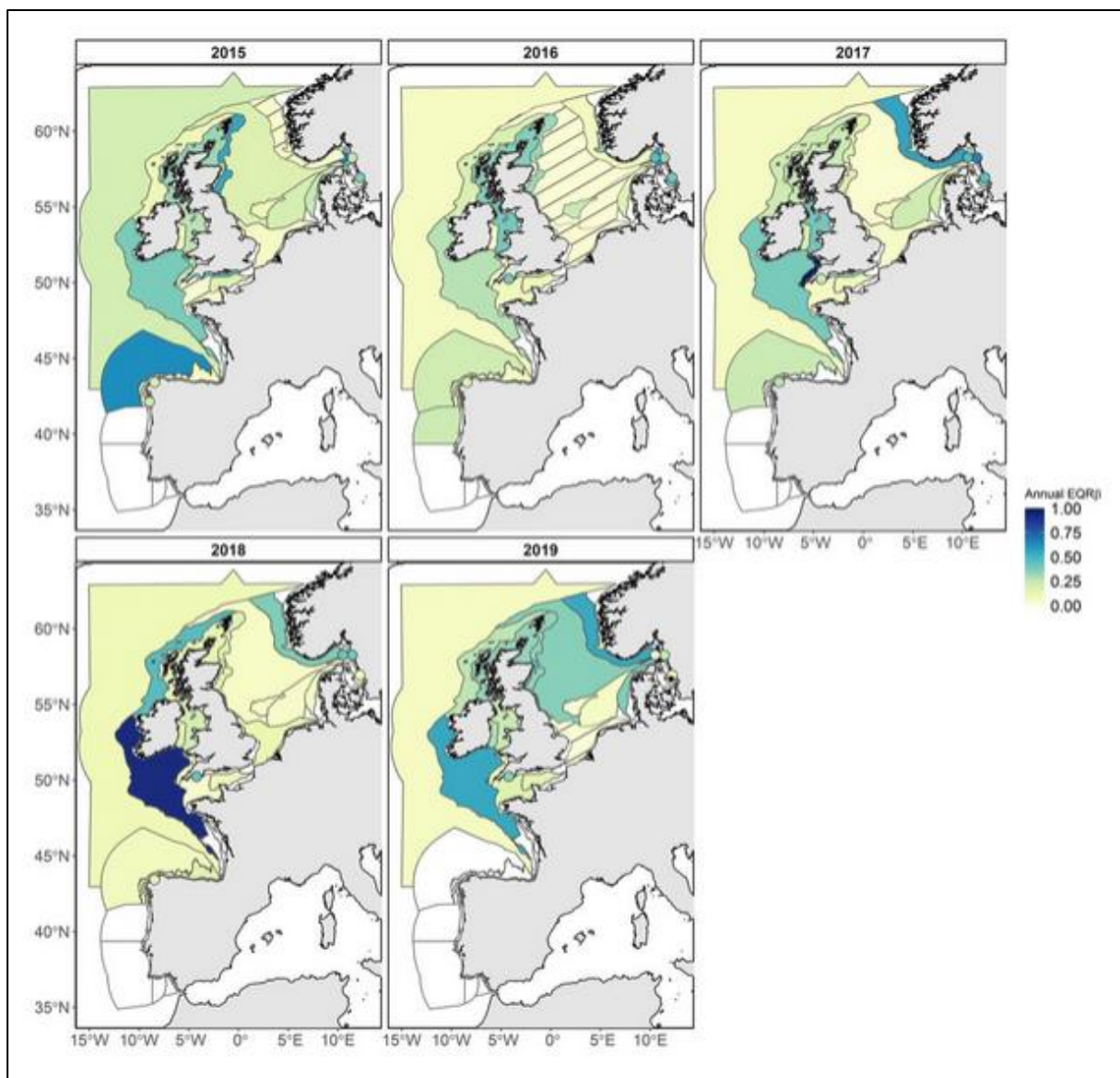


Quelle: OSPAR PH3 Indicator Assessment, 2022.

Die jährlichen EQR- β wurden mit dem Vergleichswert des vorangehenden Zeitraums (abhängig von der jeweiligen Datenreihe) verglichen. Dabei weisen niedrige EQR- β auf einen großen Unterschied zwischen dem Vergleichswert und dem jährlichen Wert hin, während hohe EQR- β -Werte einen geringen Unterschied anzeigen. In den Äußerer Küstengewässern von Deutschland und Dänemark wurden deutliche jährliche Unterschiede für das Phytoplankton festgestellt mit sehr hohen EQR- β -Werten zu Beginn der Bewertungsperiode (2015), Abnahmen im Jahr 2016 und 2017 und einem Anstieg der Werte in den Jahren 2018 und 2019 (Abbildung 35). Da kein signifikanter Trend festgestellt werden konnte, kann angenommen werden, dass es sich um episodische Änderungen in der Phytoplankton-Gemeinschaft gehandelt hat und keine kontinuierliche Zu- oder Abnahme in der Artengemeinschaft. Im Gegensatz zum Phytoplankton wurden beim Zooplankton insgesamt geringere EQR- β -Werte ermittelt, sowohl in den

Küstengewässern als auch in den großen Gebieten der südlichen und nördlichen Nordsee (Abbildung 36). Lediglich im Jahre 2019 wurde in der nördlichen Nordsee ein mittlerer EQR- β -Wert festgestellt. Die niedrigen EQR- β -Werte zeigten eine deutlich abweichende Zusammensetzung der Zooplanktongemeinschaft verglichen mit dem Vergleichszeitraum, insbesondere im Jahr 2016. Diese atypische Zusammensetzung in der erweiterten Nordsee wurde durch die Dominanz von Copepoden der Gattungen *Acartia* und *Calanus* bestimmt.

Abbildung 36: Entwicklung der jährlichen Zooplankton EQR- β -Werte im Bewertungszeitraum 2015-2019 in den verschiedenen Bewertungsgebieten. Niedrige EQR-Werte sind in gelb und hohe Werte in blau dargestellt. Weiße Bereiche zeigen Gebiete mit unzureichenden Daten für die Bewertung an. COMP4-Gebiete mit signifikanter atypischer Zusammensetzung (LCBD-p-Wert < 0,05) sind schraffiert dargestellt.



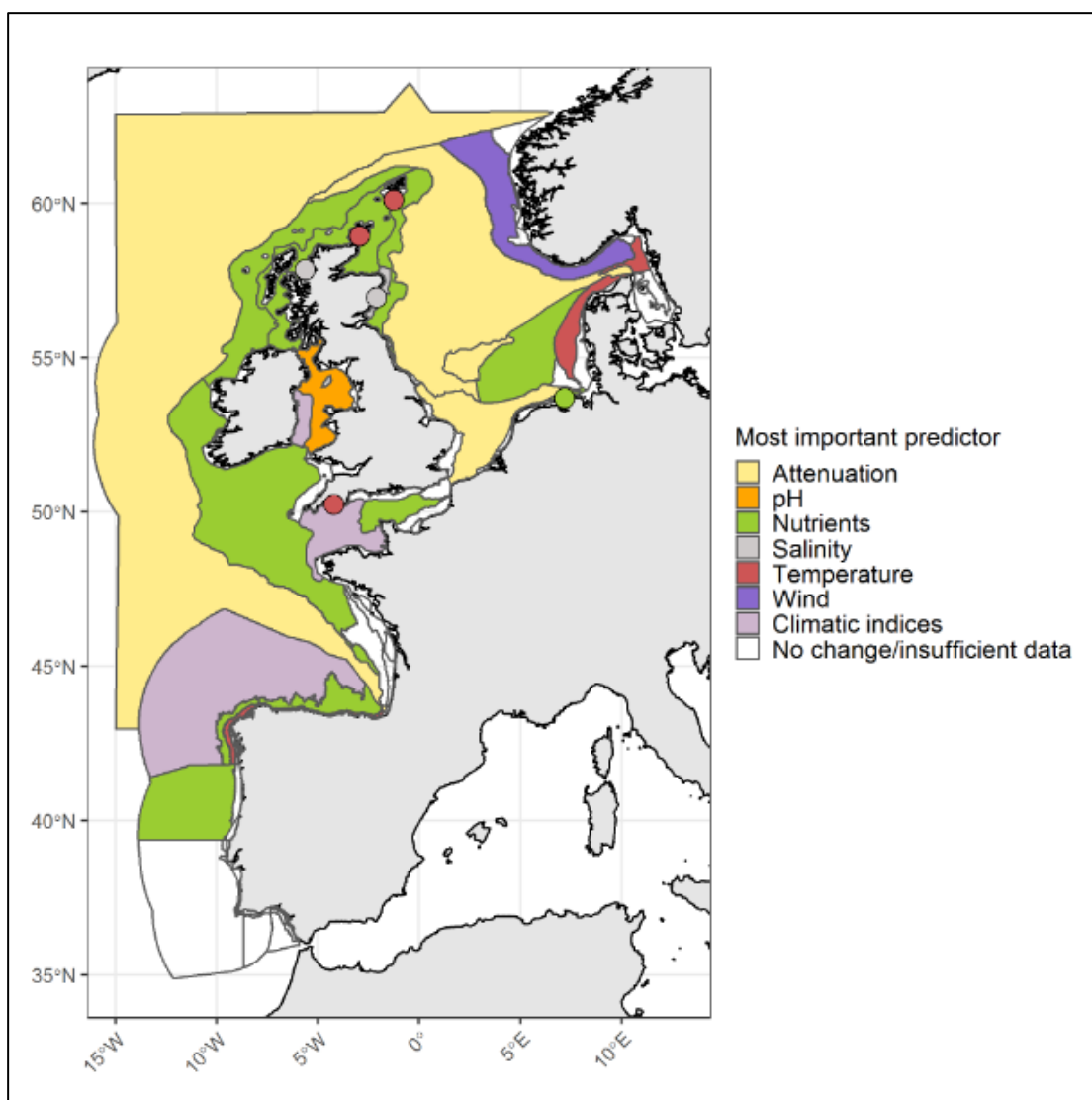
Quelle: OSPAR PH3 Indicator Assessment, 2022.

In der Elbefahne und der zentralen deutschen Bucht war keine PH3-Bewertung für Zooplankton möglich, da hier keine oder nur unzureichende Daten vorlagen. Insgesamt wurden über den OSPAR Data Call weniger Datensätze für Zooplankton zur Verfügung gestellt als für

Phytoplankton. Hier gibt es einen klaren Verbesserungsbedarf, der bei den verschiedenen nationalen Monitoringprogrammen zukünftig berücksichtigt werden sollte.

Neben der Bewertung der verschiedenen Diversitätsindizes wurde auch ein Zusammenhang mit verschiedenen Belastungen untersucht, analog zur Vorgehensweise von PH1 und PH2. Dabei konnten insbesondere Nährstoffe (küstennah und in der östlichen Nordsee), die Lichtabschwächung und im äußeren Küstengewässer auch die Temperatur als Hauptbelastungen für die Veränderungen in der Phytoplankton-Gemeinschaft festgestellt werden (Abbildung 37).

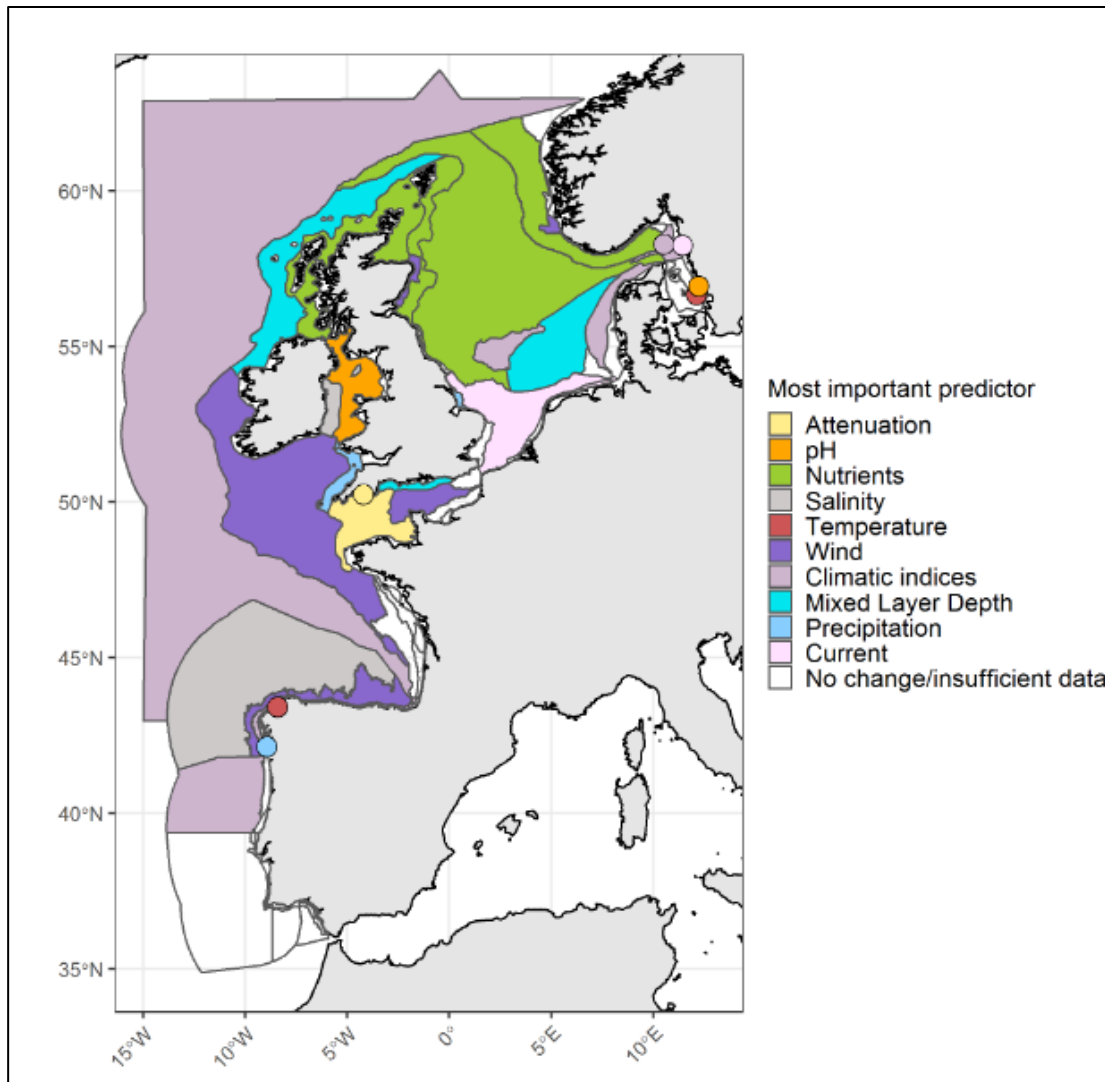
Abbildung 37: Wichtigste Variablen in Bezug auf Veränderungen der Phytoplanktondiversität im Bewertungszeitraum 2015–2019 in den verschiedenen COMP4-Bewertungsgebieten.



Quelle: OSPAR PH3 Indicator Assessment, 2022.

Im Gegensatz zu Phytoplankton wurde bei Zooplankton ein stärkerer Zusammenhang mit Klimaindizes, aber auch Strömungen (südliche Nordsee) und der Tiefe der Mischschicht (mixed layer depth) in der östlichen Nordsee ermittelt (Abbildung 38).

Abbildung 38: Wichtigste Variablen in Bezug auf Veränderungen der Zooplanktondiversität im Bewertungszeitraum 2015–2019 in den verschiedenen COMP4-Bewertungsgebieten.

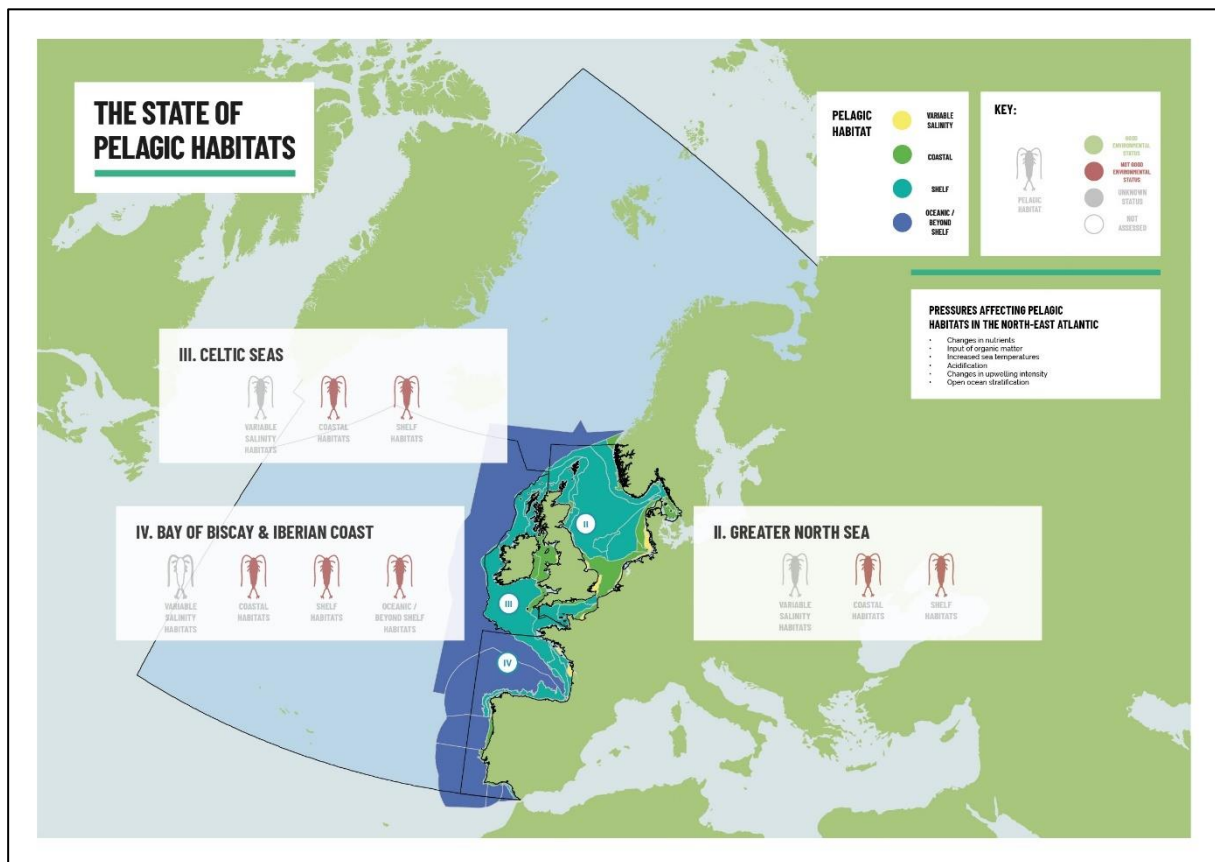


Quelle: OSPAR PH3 Indicator Assessment, 2022.

3.4 Integration der Indikatoren zur Gesamtbewertung

Bei der letzten pelagischen Bewertung für das OSPAR IA 2017 lagen nur einzelne Trend-Ergebnisse der PH-Indikatoren ohne klare Zustandseinstufung vor, die nicht zu einem Gesamtergebnis integriert werden konnten. Durch die weiter entwickelte Biodiversitätsbewertung basierend auf McQuatters-Gollop et al. (2022), konnten die Indikatorergebnisse verschiedenen Kategorien zugeordnet werden, so dass auf Basis der ermittelten Trends und mit Hilfe von Experteneinschätzungen eine Zustandseinstufung der pelagischen Habitate für alle drei PH-Indikatoren möglich war (Abbildung 39). Dadurch konnte erstmalig eine Integration zu einem Gesamtergebnis für pelagische Habitate erfolgen trotz weiterhin fehlender Schwellenwerte in den Bewertungskonzepten.

Abbildung 39: Zustandsbewertung pelagischer Habitate in den OSPAR Regionen II, III und IV.



Quelle: OSPAR QSR 2023 Pelagic Habitats Thematic Assessment.

Die pelagischen Habitate wurden in allen drei OSPAR Regionen entweder als nicht gut oder unsicher bewertet oder aufgrund fehlender Daten gar nicht bewertet. In keinem der pelagischen Habitate wurde der gute Zustand erreicht.

Die räumliche Integration einzelner Bewertungsgebiete zu pelagischen Biotopklassen gemäß MSRL wurde für alle drei PH-Indikatoren auf Basis der abgestimmten Zuordnung zu den Kategorien variable Salinität, Küste, Schelf und Schelfmeer vorgenommen (s. auch Abbildung 3 in Kapitel 2.1.2). Da der PH3-Indikator in der erweiterten Nordsee (Greater North Sea) kein gemeinsamer Indikator ist, sind die Bewertungsergebnisse nur unterstützend für die Interpretation genutzt worden, aber nicht in der Integration zum Gesamtergebnis berücksichtigt worden. Der Gesamtstatus der Region II für die erweiterte Nordsee wurde aus den Ergebnissen von PH1 und PH2 gemäß dem OOA0-Prinzip ermittelt (Tabelle 16). Grundsätzlich folgt die Integration dem Mehrheits-Prinzip. Aber im Falle eines Gleichstands, wenn nur zwei pelagische Bewertungsergebnisse vorliegen und eines von beiden einen nicht guten Status aufweist, wird der Status für die pelagische Biotopklasse bzw. die gesamte Region ebenfalls als nicht gut eingestuft und folgt damit dem OOA0-Prinzip.

Tabelle 16: OSPAR-Bewertungsergebnisse für pelagische Habitate in der Erweiterten Nordsee (OSPAR Region II) für die einzelnen pelagischen Indikatoren und den integrierten Status der Region. Schraffierte Zellen zeigen den Kandidatenstatus des PH3-

Indikatoren in der OSPAR Region II an und die Ergebnisse wurden nicht für den Gesamtstatus berücksichtigt.

Region	Habitat	PH1/FW5	PH2	PH3	Habitat status	Region status
Greater North Sea (Region II)	Variable salinity	Unknown	Unknown	Not good	Unknown	Not good
	Coastal	Unknown	Detected trend linked to human activity	Not good	Not good	
	Shelf	Detected trend linked to human activity	Detected trend linked to human activity	Unknown	Not good	

Quelle: OSPAR QSR 2023 Pelagic Habitats Thematic Assessment. Farben gemäß OSPAR Klassifizierung.

3.5 Ausblick – Zukunftsanforderungen

Für die nächste Bewertung der pelagischen Habitate in der Nordsee ist eine Verbesserung der Datengrundlage besonders wichtig, um bisherige Lücken zu schließen und die Konfidenz der Bewertungsergebnisse zu verbessern. Für die Nutzung von Planktondaten aus der ICES-Datenbank sollen geeignete Datenformate zwischen der OSPAR Pelagic Expert Group und ICES abgestimmt werden sowie eine regelmäßige Datenlieferung aus nationalen Monitoringprogrammen für alle Vertragsstaaten vereinbart werden, die bisher nur lückenhaft funktioniert.

Weiterentwicklungsbedarf besteht sowohl für die einzelnen pelagischen Indikatoren als auch für die Integration zur Gesamtbewertung. Eine bessere Verknüpfung und Harmonisierung mit Eutrophierungsindikatoren inklusive gemeinsamer Datengrundlagen und methodischer Anpassungen (insbesondere zwischen PH2 und Chlorophyll-a) würde zu einer besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse beitragen und könnte helfen die mitunter widersprüchlichen Aussagen der verschiedenen Indikatoren unter der pelagischen Habitatbewertung und der Eutrophierung zukünftig zu verringern. Die folgende Aufzählung listet verschiedene Aspekte auf, die zukünftig zu einer weiteren Verbesserung der pelagischen Habitatbewertung beitragen sollen.

Weiterentwicklung der pelagischen Habitatbewertung

- ▶ Verbesserung und weitere Harmonisierung der Bewertungskonzepte von PH1, PH2 und PH3 (z.B. einheitliche Konfidenzbewertung in allen drei Indikatoren)
- ▶ Weiterentwicklung der Vorgehensweise zur Statureinstufung, Testen von Schwellenwerten
- ▶ Untersuchung zu unterschiedlich langen Vergleichszeiträumen (statt einem sehr langen Vergleichszeitraum ab 1960 bis zur aktuellen Bewertungsperiode, mehrere Zeiträume in 10- oder 20-Jahres-Intervallen verwenden), Ermittlung möglicher Auswirkungen auf die Trendbewertungen
- ▶ Abstimmung einheitlicher Datenformate, regelmäßige nationale Datenlieferungen von Planktondaten an ICES erforderlich zur Nutzung der ICES-Datenbank, um zukünftig aufwendige OSPAR Data Calls zu vermeiden

- ▶ Verbesserung der Datengrundlage (vor allem für Zooplankton, Einbeziehung von Pico- und Nanoplankton), Verwendung zusätzlicher Datentypen (In-Vivo Fluorometrie, Durchflusszytometrie, Bildanalyse (FlowCAM), Satellitendaten)
- ▶ Verbesserung der Kohärenz mit der Eutrophierungsbewertung, Harmonisierung von Indikatoren (PH2 und Chlorophyll-a), Nutzung der gleichen Datengrundlagen (Chlorophyll-Satellitendaten und Nährstoffe)
- ▶ Prüfung wie PH-Indikatoren direkt in die Eutrophierungsbewertung einbezogen werden können
- ▶ Stärkere Berücksichtigung von N:P Verhältnissen in der pelagischen Bewertung (und auch in der Eutrophierungsbewertung) und Untersuchung der damit verbundenen Veränderungen der Planktongemeinschaft
- ▶ Untersuchung der Auswirkungen von Veränderungen in der Planktongemeinschaft auf höhere trophische Stufen und das gesamte Ökosystem inklusive Ökosystemleistungen, stärkere Verknüpfung mit der Nahrungsnetzbewertung
- ▶ Genauere Untersuchung der Zusammenhänge (pressure-state) zwischen Veränderungen der Umweltvariablen und Veränderungen der Planktongemeinschaft (Häufigkeit von Lebensformen, abnehmende Phytoplankton-Biomasse und Zooplankton-Abundanz)

Außerdem könnte ein stärkerer Austausch mit HELCOM für Testbewertungen mit Indikatoren aus dem jeweils anderen Regionalen Übereinkommen die Weiterentwicklung von Indikatorkonzepten unterstützen. So wurde das Konzept des PH1 Indikators für Lebensformpaare bereits im Rahmen des HELCOM BLUES Projektes in ausgewählten Gebieten der Ostsee auf seine Anwendbarkeit und mögliche Anpassungsanforderungen getestet. Umgekehrt könnte der HELCOM Indikator „Zooplankton Mean Size and Total Stock“ (MSTS) in der Nordsee getestet werden für die Weiterentwicklung des OSPAR Nahrungsnetz-Indikators FW6 für die Biomasse, Artenzusammensetzung und räumliche Verteilung des Zooplanktons. Ein regelmäßiger und nicht nur projektbasierter Austausch der pelagischen Expertengruppen von OSPAR (COBAM Pelagic Expert Group) und HELCOM (EG Phyto, EG Zoo) ist zukünftig wünschenswert, um die Bewertung pelagischer Habitate weiter zu harmonisieren soweit dies aufgrund der regionalen Besonderheiten möglich ist.

4 Quellenverzeichnis

Bedford, J., Johns, D.G., McQuatters-Gollop, A. (2020a): Implications of taxon-level variation in climate change response for interpreting plankton lifeform biodiversity indicators. *ICES Journal of Marine Science* **77**: 3006-3015. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa183>

Bedford, J., Ostle, C., Johns, D.G., Atkinson, A., Best, M., Bresnan, E., Machairopoulou, M., Graves, C.A., Devlin, M., Milligan, A. (2020b): Lifeform indicators reveal large-scale shifts in plankton across the North-West European shelf. *Global Change Biology* **26**: 3482-3497. <https://doi.org/10.1111/gcb.15066>

Bedford, J., Ostle, C., Johns, D.G., Budria, A., McQuatters-Gollop, A. (2020c): The influence of temporal scale selection on pelagic habitat biodiversity indicators. *Ecological Indicators* **114**: 106311. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106311>

Breton, E., Goberville, Sautour, E. B., Ouadi, A., Skouroliaiou, D. I., Seuront, L., Beaugrand, G., Kléparski, L., Crouvoisier, M., Pecqueur, D. (2022): Multiple phytoplankton community responses to environmental change in a temperate coastal system: A trait-based approach. *Frontiers in Marine Science* **9**. <http://dx.doi.org/10.3389/fmars.2022.914475>

Brockmann, U., Topcu, D., Schütt, M., Leujak, W. (2021): Third assessment of the eutrophication status of German coastal and marine waters 2006-2014 in the North Sea according to the OSPAR Comprehensive Procedure. UBA-Texte 38/2021, 192 pp.

Devlin, M., Fernand, L., Collingridge, K. (2022): Concentrations of Dissolved Oxygen Near the Seafloor in the Greater North Sea, Celtic Seas and Bay of Biscay and Iberian Coast. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the North-East Atlantic. OSPAR Commission, London. Available at: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/indicator-assessments/seafloor-dissolved-oxygen>

Enserink, L., Blauw, A., van der Zande, D., Markager, S. (2019): Summary report of the EU project 'Joint monitoring programme of the eutrophication of the North Sea with satellite data' (Ref: DG ENV/MSFD Second Cycle/2016), 21 pp.

Heyden, B., Leujak, W. (2022): Winter Nutrient Concentrations in the Greater North Sea, Celtic Seas and Bay of Biscay and Iberian Coast. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the Northeast Atlantic. OSPAR Commission, London. Available at: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/indicator-assessments/winter-nutrient-concentrations>

Holland, M., Louchart, A., Artigas, L.F., McQuatters-Gollop, A. (2023): Changes in Phytoplankton and Zooplankton Communities. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the Northeast Atlantic. OSPAR Commission, London. <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/indicator-assessments/changes-plankton-communities/>

Holland, M., Louchart, A., Artigas, L.F., Ostle, C., Atkinson, A., Rombouts, I., Graves, C.A., Devlin, M., Heyden, B., Machairopoulou, M., Bresnan, E., Schilder, J., Jakobsen, H.H., Llody-Hartley, H., Tett, P., Best, M., Goberville, E., McQuatters-Gollop, A. (2023): Major declines in NE Atlantic plankton contrast with more stable populations in the rapidly warming North Sea. *Science of the Total Environment* **898**, 165505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165505>

Louchart, A., Holland, M., McQuatters-Gollop, A., Artigas, L.F. (2023): Changes in Phytoplankton Biomass and Zooplankton Abundance. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the Northeast Atlantic. OSPAR Commission, London. Available at: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/indicator-assessments/changes-plankton-biomass-abundance>

Louchart, A., Holland, M., McQuatters-Gollop, A., Artigas, L.F. (2023): Changes in plankton diversity. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the Northeast Atlantic. OSPAR Commission, London. Available at: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/indicator-assessments/changes-plankton-diversity/>

McQuatters-Gollop, A., Guérin, L., Arroyo, N.L., Aubert, A., Artigas, L.F., Bedford, J., Corcoran, E., Dierschke, V., Elliott, S.A.M., Geelhoed, S.C.V., Gilles, A., Gonzalez-Irusta, J.M., Haelters, J., Johansen, M., Le Loc'h, F., Lynam, C.P., Niquil, N., Meakins, B., Mitchell, I., Padegimas, B., Pesch, R., Preciado, I., Rombouts, I., Safi, G., Schmitt, P., Schückel, U., Serrano, A., Stebbing, P., De la Torriente, A., Vina-Herbon, C. (2022): Assessing the state of marine biodiversity in the Northeast Atlantic. *Ecological Indicators*, 141, 109148. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109148>

McQuatters-Gollop, A., Edwards, M., Helaouët, P., Johns, D.J., Owens, N.J., Raitos, D.E., Schroeder, D., Skinner, J., Stern, R.F. (2015): The Continuous Plankton Recorder survey: How can long-term phytoplankton datasets contribute to the assessment of Good Environmental Status? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 162: 88-97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2015.05.010>

OSPAR (2023): Eutrophication 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/eutrophication/>

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/>

OSPAR Commission (2022): The Common Procedure for the Identification of the Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area. OSPAR Agreement 2022-07 (Replaces Agreement 2013-08), 34 pp. <https://www.ospar.org/documents?v=49366>

OSPAR Commission (2019): CEMP Guideline: Common Indicator PH2 Change in phytoplankton biomass and zooplankton abundance. OSPAR Agreement 2019-06, updated 2023. <https://www.ospar.org/documents?d=40972>

OSPAR Commission (2019): CEMP Guideline: Common Indicator PH3 Changes in plankton diversity. OSPAR Agreement 2019-07, updated 2023. <https://www.ospar.org/documents?d=40973>

OSPAR Commission (2018): CEMP Guideline: Common Indicator PH1/FW5 Change in phytoplankton biomass and zooplankton abundance. OSPAR Agreement 2018-07, updated 2023. <https://www.ospar.org/documents?v=39001>

OSPAR Commission (2013): The Common Procedure for the Identification of the Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area. OSPAR Agreement 2013-08, 66 pp.

OSPAR ICG-EMO Report 2022: Report on model comparison for historical scenarios as basis to derive new threshold values. Publication 895/2022, 168pp.

Ostle, C., Paxman, K., Graves, C.A., Arnold, M., Artigas, L.F., Atkinson, A., Aubert, A., Baptie, M., Bear, B., Bedford, J. (2021): The Plankton Lifeform Extraction Tool: a digital tool to increase the discoverability and usability of plankton time-series data. *Earth System Science Data* 13: 5617-5642. <http://dx.doi.org/10.5194/essd-13-5617-2021>

Prins, T. and Enserink, L. 2022. Concentrations of Chlorophyll-a in the Greater North Sea, Celtic Seas and Bay of Biscay and Iberian Coast. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the Northeast Atlantic. OSPAR Commission, London. Available at: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/indicator-assessments/chl-a-concentrations>

UK Pelagic Habitats Expert Group (2024): Plankton lifeform traits master list (v7:2024-06). The Archive for Marine Species and Habitats Data (DASSH). <https://doi.org/10.17031/66798fb82ec5e.1>