

TEXTE 48/2003

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 298 25 233
UBA-FB 000338

Assessment Criteria for Eutrophication Areas -Emphasis German Bight-

von

Dr. U. Brockmann

B. Heyden

M. Schütt

A. Starke

Dr. D. Topcu

Institute of Biogeochemistry and Marine Chemistry
Centre for Climate and Marine Research,
University of Hamburg

Dr. K. Hesse

N. Ladwig

Centre of Research and Technology Westcoast (FTZ),
University of Kiel

Dr. H. Lenhart

Institute of Oceanography,
University of Hamburg

Bewertungskriterien für Eutrophierungsgebiete

- Deutsche Bucht -

U. Brockmann et al.,
Universität Hamburg, Institut für Biogeochemie und Meereschemie

Kurzfassung

Dies ist die Kurzfassung eines Berichtes über die Bewertungskriterien für Eutrophierung in der Deutschen Bucht (Brockmann et al. 2002). Die Bewertungskriterien wurden nach der "common procedure" von OSPAR entwickelt, mit deren Hilfe das gesamte Konventionsgebiet nach drei Kategorien eingestuft wird: "Nicht-Problemgebiet" (NPG), "Potenzielles Problemgebiet" (PPG) oder "Problemgebiet" (PG) hinsichtlich der Eutrophierung (OSPAR 2002). In dem Bericht werden die unterschiedlichen Parameter, die von OSPAR für eine Gesamtbewertung aufgelistet wurden, berücksichtigt.

Die Deutsche Bucht ist durch mittlere Aufenthaltszeiten der Wassermassen von 33 Tagen für die innere Bucht und 67 Tagen für den gesamten Bereich, der die Deutsche Bucht umschließt, gekennzeichnet. In die meist nur weniger als 40 m tiefe Bucht werden große Nährstoffmengen aus den Flüssen Elbe, Weser und Ems sowie aus der südlichen Nordsee durch den Küstenstrom und aus der Atmosphäre eingetragen. Die Nährstoffeinträge aus den Flüssen erreichten in der Zeit zwischen 1990 und 1997 als mittlere Jahresfrachten 280 % Gesamtstickstoff bzw. 450 % Gesamtphosphor der natürlichen Hintergrundwerte (s. a. Tab. 1). Der größte Eintrag erfolgt im Winter/Frühjahr, der das Gebiet zu Beginn der Wachstumsperiode des Phytoplanktons meistens schon wieder verlassen hat. Besonders der Eintrag von Phosphat wurde seit den frühen 1990ern generell verminderd, wodurch eine Phosphatabnahme im Winter in allen Salzgehaltsbereichen in der Deutschen Bucht erzielt wurde.

Der Hauptteil der inneren Deutschen Bucht, die durch Salzgehalte zwischen 30 und 34,5 charakterisiert ist, wurde als Problemgebiet klassifiziert, wie nachfolgend belegt wird (Abb. 1).

In Bezug auf die anorganischen Stickstoffnährsalze übertreffen die Mittelwerte während des Winters im Zeitraum zwischen 1985 und 1998 die angenommenen natürlichen Hintergrund-konzentrationen von 19 μM , allerdings nur im inneren Teil der Deutschen Bucht (Abb. 2, siehe auch Tabelle 1). Demnach würde nur der küstennahe Bereich des Problemgebietes, in dem die Konzentrationen 30 μM (Hintergrundwert + 50 %) erreichen, eine solche Einstufung rechtfertigen. Die entsprechende 10 μM - Isolinie, die den Referenzwert für küstenferne Gewässer mit einem Salzgehalt von über 34,5 darstellt, hat einen ähnlichen Verlauf wie die Isohaline von 34,5. Das heißt, dass das westlich hiervon liegende Gebiet in Bezug auf die winterlichen Stickstoffnährsalze nicht als Problemgebiet einzustufen ist.

Obwohl die Phosphateinträge seit den frühen 1990ern erheblich verminderd wurden, werden die Referenz-Hintergrundkonzentrationen von 0,65 μM im Küstenwasser ($\text{Salzgehalt} < 34,5$) immer noch im Hauptteil der inneren Deutschen Bucht überschritten. Daher wird dieser Bereich als Problemgebiet eingestuft (Abb. 3). Das Gebiet der äußeren Deutschen Bucht mit einem Salzgehalt über 34,5 ist ebenfalls durch Phosphatkonzentrationen im Winter charakterisiert, die den Hintergrundwert von 0,6 μM übersteigen. Daher wird dieses Gebiet als potenzielles Problemgebiet eingestuft. Es wurde hierbei berücksichtigt, dass lediglich Konzentrationen, die die Referenzwerte um mehr als 50 % übersteigen, eine entsprechende Klassifizierung als Problemgebiet rechtfertigen. Aus

diesem Grund wäre für die winterlichen Nährsalzkonzentrationen nur ein Teil des in der Abbildung als Problemgebiet bezeichneten Areals so einzustufen.

Während des Sommers wurde kein abnehmender Trend für die Phosphatkonzentrationen in der Deutschen Bucht festgestellt. Für Einträge von Phosphat wurde an der Elbmündung bei Cuxhaven sogar ein Anstieg beobachtet, der vermutlich analytisch bedingt wurde oder möglicherweise auf die Speichereigenschaften der benachbarten Wattenmeer-Sedimente zurückzuführen ist.

Die thermohaline Schichtung während des Sommers fördert die Primärproduktion in der Deckschicht, die durch Nährstoffeinträge aus den Flüssen mit Nährstoffen verstärkt wird. Hohe Schwebstoffkonzentrationen ($> 50 \text{ mg/L}$) im flachen inneren Teil der Deutschen Bucht verursachen eine Lichtlimitierung für die Primärproduktion, so dass Nährsalze, die in den Flussfahnen transportiert werden, häufig noch die Deckschicht in tieferen Teilen der Deutschen Bucht (über 20 m) erreichen, wo das Phytoplankton ausreichend Licht erhält. Oft wurden $20 \mu\text{g/L}$ Chlorophyll a als Maximumkonzentration beobachtet, ein Wert, der deutlich über dem für die niederländische Küste angenommenen Referenzwert von $10 \mu\text{g/L}$ liegt. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Chlorophyllgradienten sehr variabel sind, besonders während des Frühjahrs und in Küstennähe.

Nach der Nährsalzerschöpfung in der sich ausbreitenden Flussfahne sinkt das Phytoplankton in die Bodenschicht, wo Konzentrationen von mehr als $15 \mu\text{g}$ Chlorophyll pro L an einigen Stationen beobachtet wurden. Die lange Aufenthaltszeit des Bodenwassers erlaubt einen weit-gehenden Abbau der sedimentierten Biomasse, wodurch eine ausgedehnte Sauerstoffzehrung ($< 2 \text{ mg O}_2/\text{L}$) hervorgerufen werden kann. Dies wurde durch zufällige Beobachtungen 1981, 1982, 1983, 1989 und 1994 festgestellt (Abb. 4). Die Sauerstofferschöpfung kann einige Wochen andauern und die gesamte Bodenwasserschicht unterhalb der Hauptsprungschicht einnehmen, wie im Juli/August 1994 beobachtet wurde. In Verbindung mit der Sauerstofferschöpfung wurde über das Absterben von Zoobenthos und Fischen berichtet.

Hohe Stickstoffeinträge während des Winters verursachen hohe N/P-Verhältnisse (10 - 50 (M/M) als Mittelwerte) und ebenso hohe N/Si-Verhältnisse (2 - 6). Während des Sommers wurden in der mittleren Deutschen Bucht N/P-Werte von mehr als 60 erreicht, unterstützt durch die schnellere Phosphataufnahme. N/Si-Verhältnisse zwischen 4 und 10 während des Sommers werden durch die länger anhaltende Fixierung des Silikats beeinflusst. Durch diese Bedingungen wird die Entwicklung von Flagellaten gefördert, von denen in den 1980ern und 1998 auch einige giftige Arten in der Deutschen Bucht beobachtet wurden, wie z.B. *Dinophysis acuminata* (Abb. 5). Neue Problemlüten verursachende Arten wurden 1997 und 1998 beobachtet. Bei Helgoland, im Zentrum der Deutschen Bucht, wurde festgestellt, dass Flagellaten die dominante Phytoplanktongruppe seit den späten 1970ern geworden sind; allerdings konnte ein klarer Beweis für einen kausalen Zusammenhang mit anthropogenen Nährstoffeinträgen bisher nicht festgestellt werden.

Die Einstufung in Tabelle 1 folgt dem OSPAR-Klassifizierungsschema nach "Problemgebiet", "Potenzielles Problemgebiet" und "Nicht-Problemgebiet" (PG, PPG, NPG). Dabei wird zwischen dem Küstenwasser mit Salzgehalten unter 34,5, das den größten Teil der Deutschen Bucht mit Salzgehalten zwischen 30 und 34,5 einnimmt, und den küstenferneren Gewässern mit Salzgehalten über 34,5 unterschieden. Da die Nährsalzgradienten als Folge der Verdünnung und auch die Eutrophierungseffekte meistens in Richtung der offenen See hin abnehmen, erhalten die küstenferneren Gewässer normalerweise eine bessere Bewertung. Aktuelle Konzentrationen und die Referenz-Hintergrundkonzentrationen wurden, soweit es möglich war, für einen direkten Vergleich aufgenommen.

Die Bewertung folgt dem OSPAR-Vorschlag der „Comprehensive Procedure“, so dass die Einstufung als "Problemgebiet" erst dann erfolgt, wenn die Hintergrundkonzentrationen um mehr als 50 % überschritten werden. Wegen der Variabilität liegen einige Werte im Grenzbereich und werden daher als "Potenzielles Problemgebiet" in dieser Tabelle eingestuft.

Die Tabelle 1 basiert überwiegend auf den OSPAR-Kriterien sowie auf Daten, die für die Periode von 1990 bis 1997 in den Tabellen B enthalten sind (OSPAR 2001). Die Nummern dieser Tabellen (B x) werden genannt. Außerdem basiert die Tabelle auf Datensätzen, die in dem zugrunde liegenden Bericht (Brockmann et al. 2002) dargestellt wurden.

Die mit aufgenommenen Referenz-Hintergrundkonzentrationen ermöglichen einen direkten Vergleich. Sie wurden hauptsächlich von OSPAR übernommen (OSPAR 2001). Einige Referenzwerte wurden aus anderen Quellen ergänzt.

Tabelle 1:

**Detaillierte Eutrophierungs-Bewertung der Deutschen Bucht,
bezogen auf die OSPAR Kriterien**

Bewertungskriterien/Klassifizierung	Referenz	PG	PPG	NPG
I.1 Flusseinträge TN, TP Frachten bezogen auf Q (kt/y) (B 0, B 1, B 2)	N: 77 P: 2	N: 219 P: 9		
I.2 Winter DIN, DIP Konzentrationen (μM) (B 3, B 4) Salzgehalt 30-34.5 I.3 Nährstoffverhältnisse (M/M) (B 6) I.3.1 N/P Salzgehalt < 34.5 Salzgehalt > 34.5 I.3.2 N/Si Salzgehalt < 34.5 Salzgehalt > 34.5 I.3.3 P/Si Salzgehalt < 34.5 Salzgehalt > 34.5	N: 19 P: 0.65 N: 10 P: 0.6	N: 10-50 P: 0.65-1.6	N: 5-15 P: 0.5-0.7	
	16 16		15-40	7-15
	2 2		2-6 1-4	
	0.12 0.12		0.07-0.4	0.1-0.2
II.1 Chla Konzentrationen während der Wachstumsperiode ($\mu\text{g/L}$) (B7)				
II.1.1 Mittelwerte: S: < 34.5 S: > 34.5 Dauer und Ausdehnung II.2.1 Maxima; Häufigkeit (zu verschiedenen Jahreszeiten)	10 (NL) 2 - 4 ni ni ni	5 - 28 hoch	4 - 23	
II.2 Problemalgen und/oder giftige Phytoplanktonarten (B 8, B 9, B 10)	ni	ni		
II.2.1 Dauer II.2.2 Ausdehnung II.2.3 Häufigkeit	ni	80 % ni beobachtet		
IV.1 Auftreten von Algengiften (B 12)				
II.3 Veränderungen von Makrophyten- und Makroalgenbeständen (B 11)		nicht relevant		
III.1 Ausmaß von Sauerstoffzehrung (B 12) (mg/L) (% Sättigung)	8 mg/L 100 %	< 2 mg/L < 25 %		

III.2 Absterben von Zoobenthos-Organismen und Fischen (B 12)		beobachtet		
Benthos-Zusammensetzung (B 11)		beobachtet		
Veränderungen der Biomasse		beobachtet		
Veränderungen der Artenzahl		beobachtet		
Veränderungen der Artenzusammensetzung		beobachtet		
Ökosystemstruktur (strukturelle Veränderungen)		beobachtet		
III.3 Organische Substanzen im Sommer (B 13) Salzgehalt < 34.5 / > 34.5				
TN	ni/15	15-190/	/6-34	
DON	ni/	6-36/	/2-15	
PN	ni/			
TP	ni/0.5	0.8-6/0.6-2.5		
DOP	ni	0.2-4.3/0.3-1.3		
PP	ni			
DOC	ni			
POC	ni			

- B x = Tabellen in OSPAR 2001
 DIN = anorganische Stickstoffnährsalze
 DIP = Phosphat
 M = Mol
 Si = Silikat
 TN = Gesamtstickstoff
 TP = Gesamtphosphor
 Q = Frischwasserabflussrate
 DOC = gelöster organischer Kohlenstoff
 DON = gelöster organischer Stickstoff
 DOP = gelöster organischer Phosphor
 ni = keine Information
 PN = partikulärer Stickstoff
 POC = partikulärer organischer Kohlenstoff
 PP = partikulärer Phosphor

Die nach Kategorien unterteilten Eutrophierungsfolgen, wie Nährstoffanreicherung und die daraus resultierenden Effekte, werden nachfolgend erläutert.

Kategorie I: Ausmaß der Nährstoffanreicherung

I.1: Die Flusseinträge wurden für den Zeitraum 1990 bis 1997 als Mittelwerte berechnet (Tabelle B1 und B2, OSPAR 2001). Für die Berechnung der natürlichen Einträge wurde der Frischwassereintrag (Tabelle B0) aus dieser Periode verwendet. Da die aktuellen Einträge erheblich die berechneten natürlichen Einträge überschreiten, verursachen die Flusseinträge eine Einstufung als Problemgebiet.

I.2: Nährstoffkonzentrationen in Küstengewässern mit einem Salzgehalt unter 34,5 wurden mit Hintergrundkonzentrationen für die niederländische Küste verglichen, da für das deutsche Gebiet keine Referenzwerte vorliegen. Für den Zeitraum von 1985 bis 1998 erreichten die mitt-

leren Konzentrationen der Stickstoffnährsalze 10 bis 50 μM mit einer ansteigenden Variabilität zur Küste hin (Abb. 2). Der Konzentrationsbereich lag im Zeitraum 1990 bis 1997 zwischen 8 und 173 μM (Tabelle B3, OSPAR 2001).

Mittelwerte für Phosphat lagen zwischen 0,65 und 1,6 μM mit einer Variabilität unter 50 % (Abb. 3) bei einem Konzentrationsbereich von 0,5 bis 2,8 μM (Tabelle B 4, OSPAR 2001).

Damit übertrafen sowohl die Stickstoffnährsalze als auch Phosphat die Bewertungsgrenzen (Referenz + 50 %) von 28 μM N bzw. 1 μM P in der inneren Deutschen Bucht.

I.3: Die Nährstoffverhältnisse überschritten teilweise die von OSPAR (2001) definierten Referenzwerte. Dies gilt für DIN/DIP mit mittleren Verhältnissen von 15 bis 40 (M/M) im Küstenwasser und 7 bis 15 im küstenfernen Wasser, ebenso wie für N/Si mit Raten zwischen 2 bis 6 im Küstenwasser und 1 bis 4 küstenfern. Hieraus leitet sich eine Bewertung als potenzielles Problemgebiet ab. Die Differenzen zwischen Nitrat und Silikat zeigen allerdings einen zunehmenden Gradienten zur Küste hin mit einem erheblichen Nitratüberschuss in dem als Problemgebiet bezeichneten Teil der Deutschen Bucht (Abb. 1 und 2). Mittlere P/Si-Verhältnisse lagen im Küstenwasser zwischen 0,07 und 0,4 (M/M), hervorgerufen durch einen Phosphatüberschuss im Vergleich zu den Referenzwerten. Küstenfern ergaben sich Verhältnisse meistens zwischen 0,1 und 0,2 und damit nahe bei dem Referenzverhältnis.

Kategorie II: Direkte Effekte einer Nährstoffanreicherung

II.1: Die Chlorophylldaten, die für den Zeitraum 1990 bis 1997 verwendet wurden, waren aus Phytoplanktondaten bei Helgoland-Reede abgeleitet worden (OSPAR 2001). Hohe Sommermaxima wurden beobachtet. Mittelwerte im Küstenwasser (Salzgehalt < 34,5) variierten zwischen 7 - 20 μg Chlorophyll/L und erreichten in unmittelbarer Küstennähe (bei Salzgehalten unter 30) 20 bis 40 $\mu\text{g}/\text{L}$ während des Frühjahrs. Während des Sommers wurden im Küstenwasser 5 bis 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ festgestellt und 7 bis 30 $\mu\text{g}/\text{L}$ küstennah (Tabelle B7, OSPAR 2001). Maximalwerte von ungefähr 20 $\mu\text{g}/\text{L}$ wurden in der inneren Deutschen Bucht bis 1998 beobachtet. Der gleiche Konzentrationsbereich wurde durch Phytoplankton-Kohlenstoffbestimmungen (800 $\mu\text{g C/L}$) bei Helgoland ermittelt.

II.2: Problemarten und/oder toxische Arten wurden mehrfach in 80 % des als Problemgebiet bezeichneten Teils der Deutschen Bucht beobachtet (Abb. 5). Mehrere unterschiedliche Problemarten und toxische Arten wurden beobachtet (Tabellen B8 bis B10, OSPAR 2001). Neben *Phaeocystis* wechselten die Problemarten von Jahr zu Jahr. Seit 1990 wird durch das Monitoring lediglich die Küstenzone erfasst.

IV.1: Algengifte wurden überwiegend als Durchfall verursachende Gifte (DSP) in Muscheln aus dem Bereich des Wattenmeeres während mehrerer Jahre identifiziert (Tabelle B12, OSPAR 2001).

II.3: Makrophyten, einschließlich Makroalgen, wurden nur auf dem Helgoländer Felssockel beobachtet, wo eine Zunahme von *Ulva* festgestellt wurde.

Kategorie III: Indirekte Effekte einer Nährstoffanreicherung

III.1: Sauerstoffmangel wurde zufällig im Verlauf von Forschungsfahrten während mehrerer Jahre beobachtet, da kein reguläres Monitoring erfolgte. Die Konzentrationen im Bodenwasser

thermohalin geschichteter Gebiete gingen unter 2 mg O₂/L im Sommer der Jahre 1981, 1982, 1983, 1998 und 1994 zurück (Abb. 4).

III.2: Veränderungen der Zoobenthosbestände bis hin zum Absterben sowie auch das Absterben von Fischen wurden in der Deutschen Bucht und benachbarten nördlichen Gebieten beobachtet. Zwischen 1981 und 1983 wurde das Massensterben von benthischen Organismen in Verbindung mit der Sauerstoffschöpfung nachgewiesen (Tabelle B12, OSPAR 2001). Auf sandigen Sedimenten nahm die Makrozoobenthos-Biomasse zu.

Die Ökosystemstruktur veränderte sich für die Phytoplanktonbestände. Besonders der Anstieg von Flagellaten seit den späten 1970ern wird als mögliche Folge der Eutrophierung diskutiert.

III.3: Organische Verbindungen wurden in Monitoringprogrammen bisher meistens nicht erfasst. Es gibt lediglich einige Daten aus Forschungsprojekten in der Deutschen Bucht, die eine Variabilität zeigen, die der anorganischen Nährsalze entspricht. Da die gelösten organischen Stickstoff- und Phosphorverbindungen ebenso wie die partikulären Stickstoff- und Phosphorverbindungen die gelösten anorganischen Nährsalze während der Wachstumsperiode ersetzen und in die Stoffkreisläufe wieder aufgenommen werden, sollten nicht nur die anorganischen Nährsalze, sondern wenigstens die Summenparameter „Gesamtstickstoff“ und „Gesamtphosphor“ bestimmt und mit entsprechenden als natürliche Hintergrundkonzentrationen verglichen werden.

Allgemeine Eutrophierungs-Bewertung der Deutschen Bucht

In einer integrierten Bewertung werden die Klassifizierungen in den einzelnen Kategorien zu einer allgemeinen Gesamtbewertung in Tab. 2 zusammengefasst:

Tabelle 2: Integrierte Bewertung der kategorisierten Parameter

Faktor/Klassifizierung	DB < 34.5	DB > 34.5	PA	PG	PPG	NPG
Kategorie I Nährstoff-Anreicherung	+		+	-	+	-
Kategorie II Direkte Effekte		+	+ und/oder	+ und/oder	-	-
Kategorie III + IV Indirekte Effekte Andere mögl. Effekte	+	+	+	+	-	-

DB = Deutsche Bucht

Der linke Teil der Tabelle 2 beinhaltet eine Bewertung der Deutschen Bucht, differenziert nach Küstenwasser (Salzgehalt < 34,5) und küstenfernem Wasser (Salzgehalt > 34,5). Im rechten Teil ist die allgemeine Bewertung nach OSPAR (2001) aufgeführt.

Da sowohl im Küstenwasser als auch im küstenferneren Wasser Nährsalzanreicherungen und/oder Eutrophierungseffekte nachgewiesen wurden, wird die Deutsche Bucht als Problemge-

biet eingestuft. Eine geographische Differenzierung, bezogen auf regionale Effekte und Nährstoffanreicherung, ergibt eine Bewertung als Problemgebiet für den Hauptteil der Deutschen Bucht (s. die Abbildungen). Der äußere Teil des deutschen Hoheitsgebiets wird als Nicht-Problemgebiet eingestuft mit einer Übergangszone, die als potenzielles Problemgebiet bezeichnet

wird.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Deutsche Bucht in Bezug auf Eutrophierungseffekte ein von Natur aus sensibles Gebiet darstellt, da

- eine enge Nachbarschaft zwischen (a) nährstoffreichen Flussfahnen besteht, in denen wegen der hohen Schwebstoffkonzentration das Wachstum des Phytoplanktons licht-limitiert ist, und (b) thermohalin geschichteten Gebieten, in deren Deckschicht keine Lichtlimitierung besteht,
- die langen Aufenthaltszeiten in der Deutschen Bucht generell die Bildung von Planktonblüten begünstigen,
- lange Aufenthaltszeiten im Bodenwasser thermohalin-geschichteter Gebiete eine kontinuierliche Anreicherung von sedimentierendem organischen Material bewirken, das im Bodenwasser und an der Sedimentoberfläche, verbunden mit Sauerstoffzehrung, abgebaut wird und eine Anreicherung von suspendiertem Material in Ästuaren und Wattgebieten durch eine Dichte-Ausgleichszirkulation erfolgt, unterstützt durch asymmetrische Tiden, die auch eine Anreicherung von partikulärem organischen Material von der Seeseite her bewirken.

Für eine konsistente und komplettete Gesamtbewertung aller Parameter, die von OSPAR aufgelistet wurden, gibt es keine ausreichende Datengrundlage, besonders nicht für den Sommer, wenn kurzfristige Eutrophierungseffekte auftreten. Daher sind für den Sommer häufigere Messungen mit ausreichender räumlicher Auflösung erforderlich. Mindestens sollten Bestimmungen von Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor einbezogen werden, um den Phasenübergang zwischen den Elementen N und P im Sommer mit zu erfassen. Um Veränderungen des Ökosystems durch nicht anthropogene Eutrophierung zu erkennen, sind Vergleiche mit Entwicklungen in der offenen Nordsee erforderlich, die alle zu bewertenden Parameter einschließen.

Literatur:

Brockmann, U. and K. Eberlein (1986): River input of nutrients into the German Bight. In: Skreslet, S. (ed.): The role of freshwater outflow in coastal marine ecosystems. NATO ASI Series G7, Springer, Berlin, 231-240 pp.

Brockmann, U., B. Heyden, M. Schütt, A. Starke, D. Topcu, K. Hesse, N. Ladwig, H. Lenhart (2002): Assessment criteria for eutrophication areas
- emphasis German Bight -, UBA report Berlin, 109 pp.+144 figs.

Niermann, U. (1990a): Oxygen deficiency in the south eastern North Sea in summer 1989. ICES, 1990 Mini 5, 15 pp.

Niermann, U. (1990b): Makrobenthos der südöstlichen Nordsee: Fluktuationen in den Jahren 1984-1988, Dissertation, Hamburg, 1990, 226 pp.

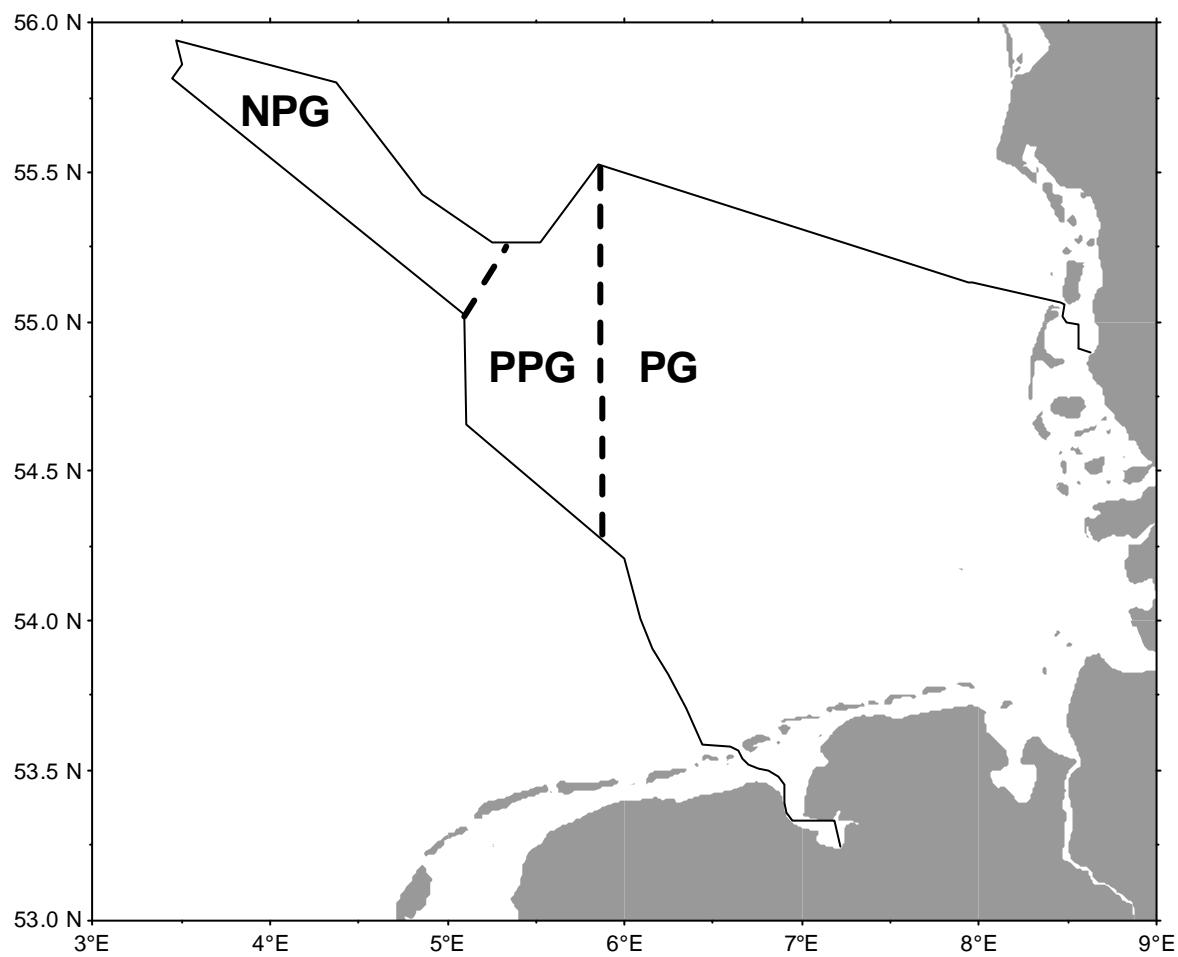
OSPAR (2001): Description of detailed tabular format, B 0 to B 13 (see EUC 00/3/3, Annex 4). EUC 00/3/3, Annex 3, Tables B, update June 2001, London, OSPAR Secretariat, 31 pp.

OSPAR (2002): Proposal from ETG 2001 for Draft Common Assessment Criteria, their Assessment Levels and Area Classification within the Comprehensive Procedure of the Common Procedure. EUC 01/2/2, London, OSPAR Secretariat, 27 pp.

Rachor, E. and H. Albrecht (1983): Sauerstoffmangel im Bodenwasser der Deutschen Bucht. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh., 19: 209-227.

Von Westernhagen, H. and V. Dethlefsen (1983): North Sea oxygen deficiency 1982 and its effects on the bottom fauna. Ambio, 12, No. 5, 264-266.

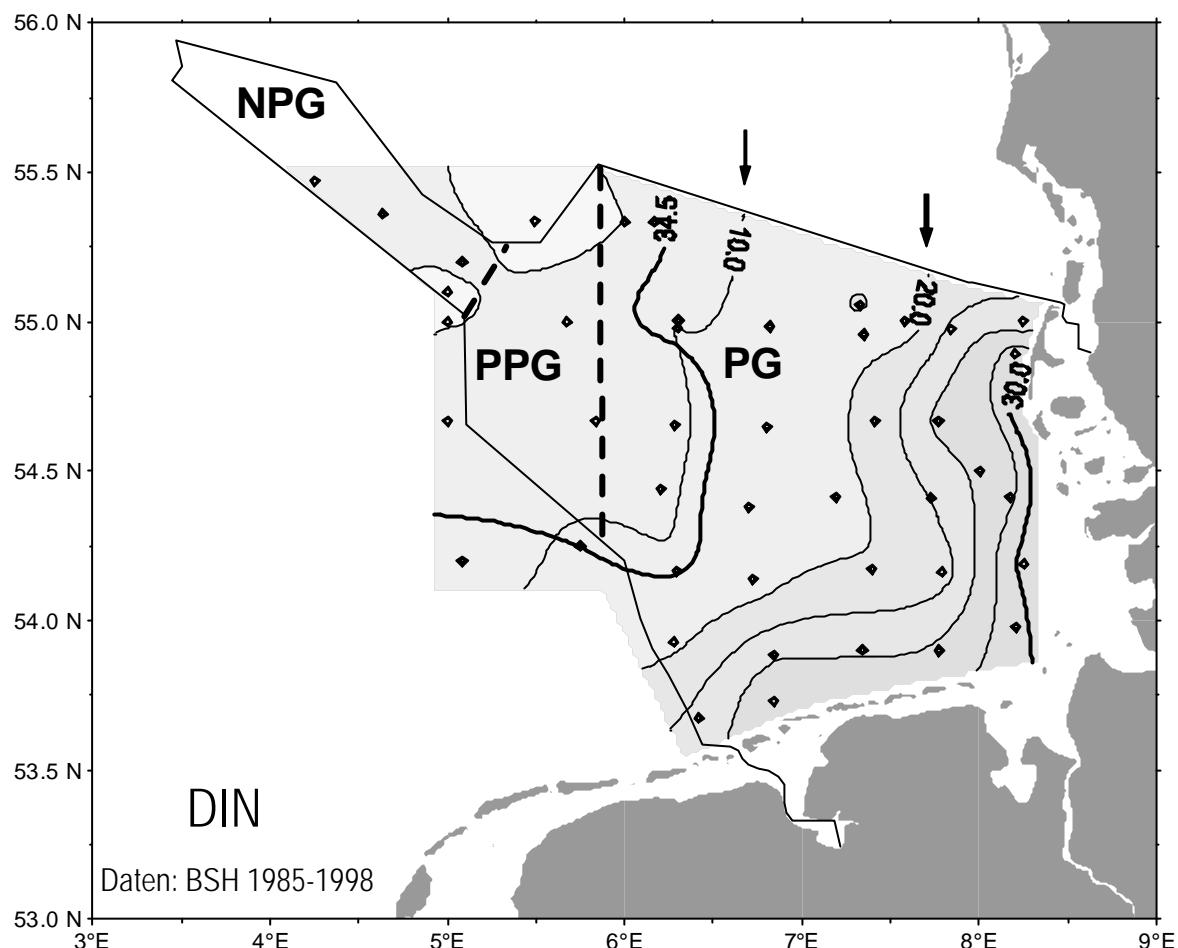
Zevenboom, W. (1994): Assessment of eutrophication and its effects in marine waters. Dt. hydrogr. Z., Suppl., 1: 141-170.



Klassifizierung der deutschen Hoheitsgewässer
und der angrenzenden ausschließlichen Wirtschaftszone in:

- Problemgebiete durch Eutrophierung (PG)
- Potenzielle Problemgebiete (PPG)
- Nicht-Problemgebiete (NPG)

Abb. 1



Klassifizierung der deutschen Hoheitsgewässer und der angrenzenden ausschließlichen Wirtschaftszone in:

- Problemgebiete durch Eutrophierung (PG)
- Potenzielle Problemgebiete (PPG)
- Nicht-Problemgebiete (NPG)

Isolinien: gelöster anorg. Stickstoff (DIN) Winter-Mittelwerte [μM] und Salzgehalts-Linien 30,0 and 34,5 an der Oberfläche, 1985 - 1998

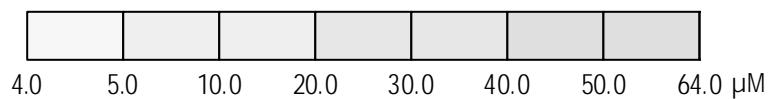
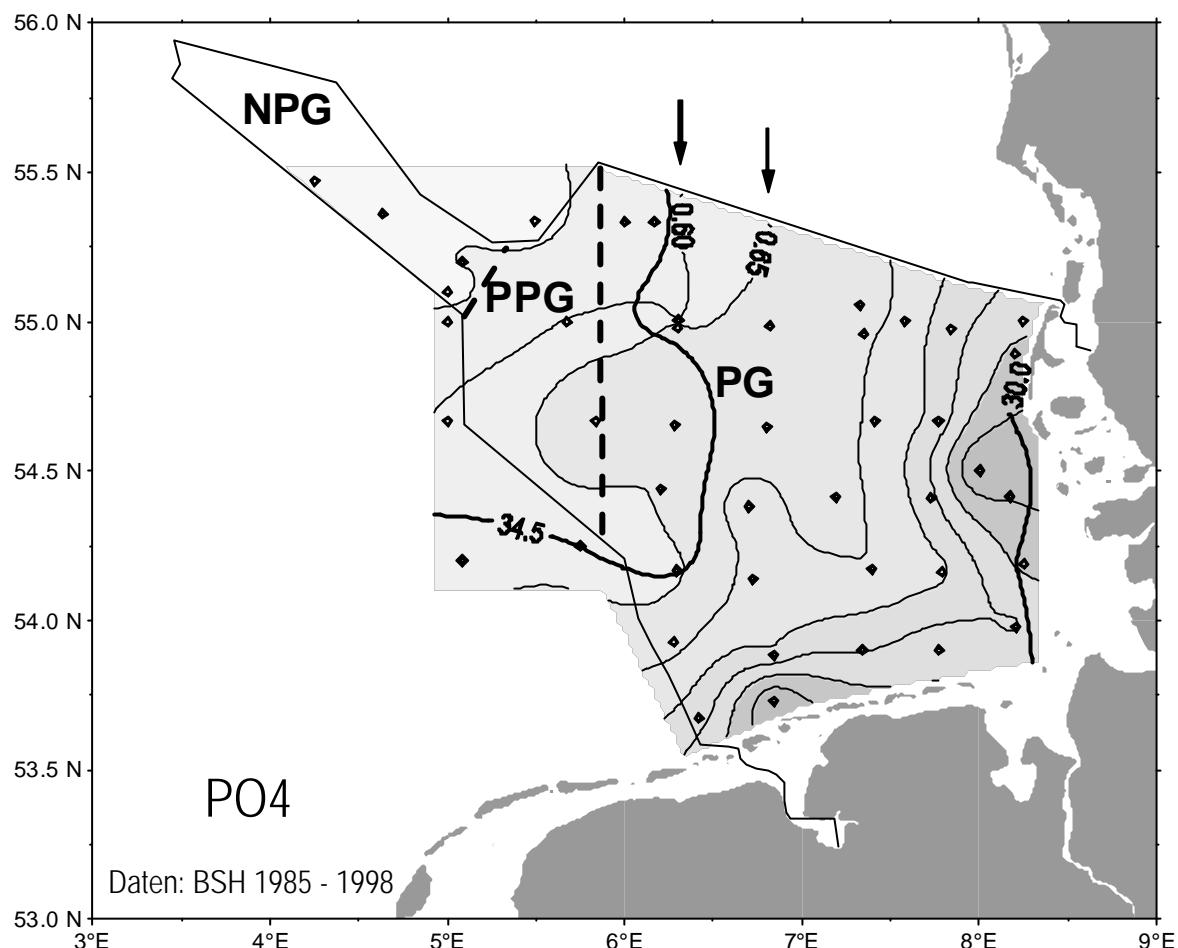


Abb. 2



Klassifizierung der deutschen Hoheitsgewässer
und der angrenzenden ausschließlichen Wirtschaftszone in:

- Problemgebiete durch Eutrophierung (PG)
- Potenzielle Problemgebiete (PPG)
- Nicht-Problemgebiete (NPG)

Isolinien: Phosphat Winter-Mittelwerte [μM]
und Salzgehalts-Linien 30,0 and 34,5
an der Oberfläche, 1985 - 1998

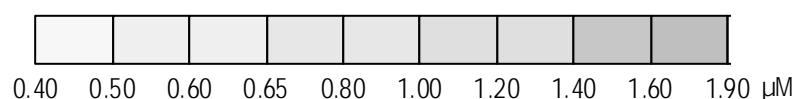
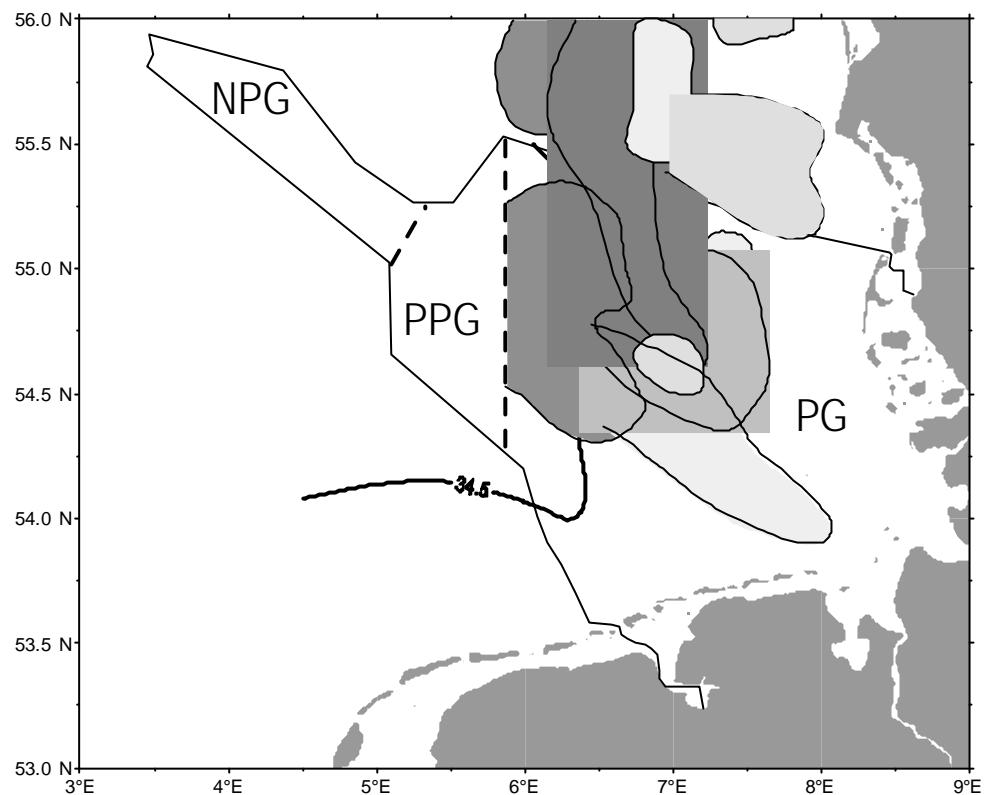


Abb. 3



Klassifizierung der deutschen Hoheitsgewässer und der angrenzenden ausschließlichen Wirtschaftszone in:

- Problemgebiete durch Eutrophierung (PG)
- Potenzielle Problemgebiete (PPG)
- Nicht-Problemgebiete (NPG)

Seit 1981 gelegentlich beobachteter Sauerstoffmangel im bodennahen Wasser

	1981: < 2,0 mg/L		1982: < 2,0 mg/L		1983: < 2,0 mg/L
	1989: < 4,0 mg/L		1994: < 4,0 mg/L		

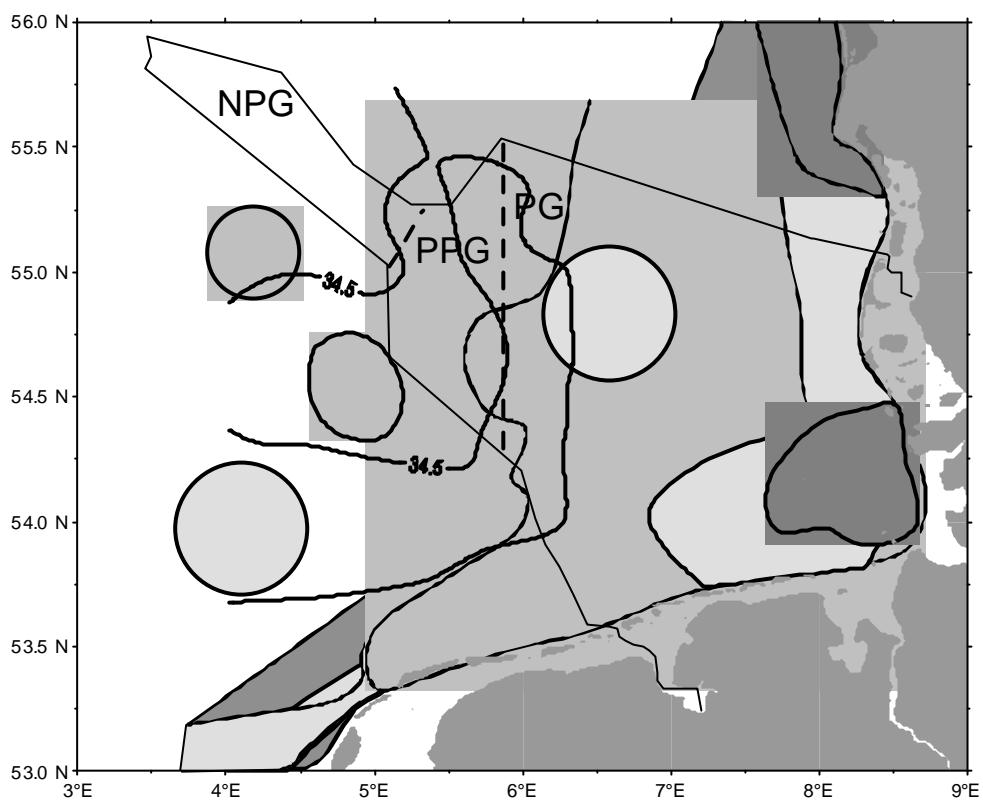
Niermann 1990 a,b

Rachor und Albrecht 1983

v.Westernhagen und Dethlefsen 1983

Brockmann und Eberlein 1986

Abb. 4



Klassifizierung der deutschen Hoheitsgewässer
und der ausschließlichen Wirtschaftszone in:

- Problemgebiete durch Eutrophierung (PG)
- Potenzielle Problemgebiete (PPG)
- Nicht-Problemgebiete (NPG)

	<i>Noctiluca scintillans</i>
	<i>Phaeocystis</i> spp. > 10.000 Zellen /L
	<i>Dinophysis acuminata</i> > 100 Zellen /L
	<i>Dinophysis acuminata</i> > 10.000 Zellen/L
	<i>Gyrodinium aureolum</i> > 100.000 Zellen/L

Nach Zevenboom 1994

Abb. 5

Assessment criteria for eutrophication areas

- emphasis German Bight -

U. Brockmann et al.

Universität Hamburg, Institute for Biogeochemistry and Marine Chemistry

Short version

This report is the short version of a study on assessment criteria for eutrophication in the German Bight area (Brockmann et al. 2002), based on the OSPAR Common Procedure through which the whole OSPAR Convention Area will be designated as either Non-Problem Area, Potential Problem Area or Problem Area with respect to eutrophication. In this study the different parameters on the OSPAR checklist for an holistic assessment are considered (OSPAR 2002).

The German Bight is characterised by mean residence times of 33 days in the inner Bight and 67 days in the larger German Bight area. The shallow Bight (depths mostly < 40 m) receives large amounts of nutrients from the rivers Elbe, Weser and Ems, from transboundary transports along the coastal current and from the atmosphere. Annual mean river loads of nutrients were 280 % for total nitrogen (TN) and 450 % for total phosphorus (TP) of the natural background concentrations in the period 1990 - 1997. The main discharge occurs during winter/spring, mostly leaving the area before the growing season starts. Especially phosphate discharges have been reduced significantly since the early 1990s, causing phosphate decreases in the total German Bight and within all salinity regimes during winter.

The main inner part of the German Bight, which is characterised by salinities between 30 and 34.5, was classified as a Problem Area, as has been stated below (Fig. 1).

However, only within the inner part of the bight did the mean concentrations of nitrogen nutrients surpass (1985 – 1998) the assumed background concentrations of 19 µM during winter (Fig. 2, see Tab. 1). For this reason only the coastal zone would be classified as a Problem Area, because 30 µM (background + 50 %) were exceeded there. The 10 µM contour line, which is the reference background for offshore waters (salinity > 34.5), has nearly the same shape as the halocline of 34.5. This means that the area west of this line is a Non Problem Area concerning nitrogen nutrients during winter.

Although phosphate discharges were generally significantly reduced since the early 1990s, the reference background concentration of 0.65 µM for the coastal water (salinity < 34.5) was still exceeded in the main part of the inner German Bight (Fig. 3), giving this area as the status of Problem Area. The offshore area (salinity > 34.5) concentrations of phosphate were also higher than the background value of 0.6 µM, so this area was defined as a Potential Problem Area. It should be noted that only concentrations above 50% of the reference values justify a classification as Problem Area. For this reason only part of the defined Problem Area is justified by high nutrient concentrations during winter only.

During summer there was no decreasing trend for phosphate concentrations in the German Bight. For discharges by the river Elbe at Cuxhaven, at the river mouth, even an increase of phosphate was detected, probably due to analytical problems or due to remobilisation of trapped particulate material from the adjacent tidal flats.

Thermohaline stratification during summer enhances primary production in the mixed layer, which is fed by the nutrient discharges of the rivers. High suspended matter concentrations ($> 50 \text{ mg/L}$) in the shallowest inner German Bight cause light limitation for the primary production so that nutrients transported by the spreading river plumes often reach the mixed layer of deeper ($> 20 \text{ m}$) stratified areas where the phytoplankton receives sufficient light. Often, maximum concentrations of $20 \mu\text{g/L}$ chlorophyll a were reached, which are significantly above the reference values ($10 \mu\text{g/L}$ in the Dutch coastal water). However, the chlorophyll gradients are very variable, especially during spring and near the coast.

Following nutrient exhaustion in the propagating river plume, the phytoplankton sinks to the bottom layer, reaching concentrations of more than $15 \mu\text{g/L}$ chlorophyll a at some locations. The long residence times of the bottom water allow long-lasting degradation processes of sedimented biomass which can cause extended oxygen depletion ($< 2 \text{ mg O}_2/\text{L}$). This has been detected by chance in 1981, 1982, 1983 1989, 1994 (Fig. 4). This oxygen depletion may last several weeks and occupy the complete bottom layer beneath the primary denscline, as has been found in July/August 1994. In connection with the oxygen depletion, zoobenthos and fish mortality has been observed.

High nitrogen discharges during winter cause high N/P ratios (10 - 50 as means) and N/Si ratios (2 - 6). N/P ratios reached values of > 60 during summer in the central German Bight due to faster phosphate utilisation. N/Si ratios of 4 – 10 during summer are elevated also by longer lasting fixation of Si. These conditions enhance the development of flagellates, of which some toxic species have been detected in the German Bight, such as *Dinophysis acuminata* in the 1980s and in 1998 (Fig. 4). Also, new harmful species have been observed in 1997 and 1998. At Helgoland, in the centre of the German Bight, flagellates were found to have become the dominant phytoplankton group since the late 1970s, however, without a clear causal relationship to anthropogenic nutrient discharges.

The assessment in Tab. 1 follows the OSPAR classification scheme: Problem Area, Potential Problem Area and Non Problem Area (PA, PPA, NPA). It differentiates mainly between coastal water with salinities < 34.5 , covering most of the German Bight in the range between 30 and 34.5, and offshore water with salinities > 34.5 . Since nutrient gradients (due to dilution) and eutrophication effects mostly decrease towards the open sea, offshore water usually gets a higher ranking. Concentrations of the recent status and reference concentrations, when possible, are given for direct comparison.

The assessment follows the OSPAR proposal of the Comprehensive Procedure, so that concentrations exceeding the background values by 50 % are evaluated as "problem". Due to the variability, some parameters overlap the PPA and NPA categories and are therefore scored as PPA in this table.

The table 1 is mainly based

- (i) on OSPAR criteria, and data for the period 1990 - 1997 outlined in Tables B (OSPAR 2001). "B x" refers to these tables,
- (ii) on data sets compiled in this report (Brockmann et al. 2002).

Reference concentrations referred to as natural background values have been taken mainly from OSPAR (2001), supplemented by some other references.

Table 1:

**Detailed eutrophication assessment of the German Bight,
related to OSPAR criteria**

Assessment criteria/Assessment	Referenc e	PA	PPA	NPA
I.1 Riverine TN, TP loads related to Q (kt/y) (B 0, B 1, B 2)	N: 77 P: 2	N: 219 P: 9		
I.2 Winter DIN, DIP concentrations (µM) (B 3, B 4) Salinity 30-34.5 Salinity > 34.5	N: 19 P: 0.65 N: 10 P: 0.6	N: 10-50 P: 0.65-1.6	N: 5-15 P: 0.5-0.7	
I.3 Nutrient ratios (M/M) (B 6) I.3.1 N/P Salinity < 34.5 Salinity > 34.5 I.3.2 N/Si Salinity < 34.5 Salinity > 34.5 I.3.3 P/Si Salinity < 34.5 Salinity > 34.5	16 16 2 2 0.12 0.12		15-40 2-6 1-4 0.07-0.4	7-15 0.1-0.2
II.1 Chl.a concentrations, growing season (µg/L) (B7) II.1.1 Means: Concentr., S: < 34.5 > 34.5 Duration, Extension II.2.1 Maxima: Concentr., Frequency (different seasons)	10 (NL) 2 - 4 ni ni ni	5 - 28 high	4 - 23	
II.2 Nuisance and/or toxic species (B 8, B 9, B 10) II.2.1 Duration II.2.2 Extension II.2.3 Frequency	ni	ni 80 % ni		

Assessment criteria/Assessment	Reference	PA	PPA	NPA
IV.1 Algal toxins occurrence (B 12)		observed		
II.3 Macrophyte and macroalgae changes (B 11)		not relevant		
III.1 Degree of oxygen depletion (B 12) (mg/L) (% saturation)	8 mg/L 100 %	< 2 mg/L < 25 %		
III.2 Kills in zoobenthos and fish (B 12)		observed		
III.2.1 Benthic community structure (B 11) Changes in biomass Changes in abundance Changes in species composition		observed observed observed observed		
III.2.2 Ecosystem structure (structural changes)				
III.3 Organic matter during summer (B 13) Salinity < 34.5 / > 34.5				
TN	ni/15	15-190/	/6-34	
DON	ni/	6-36/	/2-15	
PN	ni/			
TP	ni/0.5	0.8-6/0.6-		
DOP	ni	2.5		
PP	ni	0.2-4.3/0.3-1.3		
DOC	ni			
POC	ni			

- Bx = tables in OSPAR 2001
 DIN = dissolved inorganic nutrients
 DIP = phosphate
 DOC = dissolved organic carbon
 DON = dissolved organic nitrogen
 DOP = dissolved organic phosphorus
 M = Mol
 ni = no information
 PN = particulate nitrogen
 POC = particulate organic carbon
 PP = particulate phosphorus
 Si = silicate
 TN = total nitrogen

TP = total phosphorus
Q = freshwater discharge rate

The categorised effects of eutrophication listed in Tab. 1 are commented as follows:

Category I: Degree of nutrient enrichment

I.1: River discharges have been calculated as means for 1990 - 1997 (Table B 1 and B 2, OSPAR 2001). The mean freshwater discharge (Tab. B 0) during this period has also been used for the calculation of background discharges. Since the recent discharges significantly surpass the calculated background discharges, the receiving area was assessed as PA.

I.2: Nutrient concentrations in the coastal area (salinity < 34.5) are compared with background concentrations from the Netherlands, since for the German coastal water no reference value has been defined yet. Mean concentrations (1985 - 1998) were 10 - 50 μM DIN, with an increasing variability towards the coast (Fig. 2). The concentration range was 8 - 173 μM DIN (1990 - 1997) (Tab. B 3 in OSPAR 2001). Phosphate means were between 0.65 and 1.6 μM with a variability mostly below 50 % (Fig. 3) and a range of 0.5 - 2.8 μM (Tab. B 4 in OSPAR 2001). Thus, DIN exceeded 28 μM and DIP 1 μM within the inner German Bight, values which were above the elevated concentrations (background concentration + 50 %).

I.3: Nutrient ratios partly exceed the reference values defined by OSPAR (2001). This holds for DIN/DIP with means of 15 - 40 (M/M) in the coastal water and 7 - 15 offshore, and for N/Si with means of 2 - 6 in the coastal water and 1 - 4 offshore. Therefore, an assessment as PPA follows. However, the differences between nitrate and silicate showed an increasing gradient towards the coast. Within the regionally defined PA (see Figs.) a significant surplus of nitrate was mainly found. Mean P/Si ratios in the coastal water were 0.07 and 0.4 (M/M), caused by a surplus of phosphate in relation to the reference values at some locations. Offshore these ratios were mainly between 0.1 and 0.2 and thus close to the reference ratio.

Category II: Direct effects of nutrient enrichment

II.1: Chlorophyll a data used from 1990-1997, were calculated from phytoplankton data, measured at Helgoland roads (OSPAR 2001). Summer maxima remained high: means in the coastal water (salinity < 34.5) ranged from 7 - 20 $\mu\text{g/L}$, nearshore (salinity < 30) they were 20 - 40 $\mu\text{g/L}$ during spring; 5 - 10 $\mu\text{g/L}$ and 7 - 30 $\mu\text{g/L}$, respectively, during summer (Tab. B7, OSPAR 2001). Maxima of about 20 $\mu\text{g/L}$ were observed in the inner German Bight until 1998. The same range is indicated by phytoplankton carbon estimations (800 $\mu\text{g C/L}$) at Helgoland.

II.2: Nuisance and/or toxic species were frequently detected in the PA, covering up to 80% of this area (Tab. B 8 – 10, OSPAR 2001) (Fig. 5). Besides *Phaeocystis spec.*, the harmful species generally changed interannually. However, monitoring since 1990 covers only the coastal area.

IV.1: Algal toxins were detected as DSP (diarrhetic shellfish poisoning) in mussels from the Wadden Sea in several years (Tab. B 12, OSPAR 2001).

II.3: Macrophytes including macroalgae were only monitored on the rocky base of Helgoland. An increase of *Ulva* was detected.

Category III: Indirect effects of nutrient enrichment

III.1: Oxygen depletion has been observed by chance during several years, because no regular monitoring is conducted. Concentrations in the bottom water of thermo-haline stratified areas dropped below 2 mg O₂/L in the years 1981, 1982, 1983, 1989 and 1994 (Fig. 4).

III.2: Changes and kills in zoobenthos and fish kills have been observed in the German Bight and in the adjacent northern area. During 1981 - 1983 benthic mass mortalities were observed in connection with oxygen depletion (Tab. B 12, OSPAR 2001). An increase of macrozoobenthos biomass has been detected for sandy sediments.

Changes in the ecosystem structure have been observed for the phytoplankton. Especially the increase of flagellates since the late 1970s is discussed in connection with eutrophication.

III.3: Organic compounds were up to now not involved in monitoring programs significantly. There are only few research data available for the German Bight, which show variabilities in the same range as inorganic nutrients. Since DON and DOP as well as PN and PP replace the dissolved inorganic nutrients during the growth season and are entering the nutrient cycles again, not only inorganic nutrients should be monitored, but at least TN and TP which should be referred to the corresponding background concentrations.

General eutrophication assessment of the German Bight

The ranking within the different categories is combined in Tab. 2 for an holistic evaluation:

Table 2:

Integrated assessment of the categorised parameters

Factor/Classification	GB < 34.5	GB > 34.5	PA	PA	PPA	NPA
Category I Nutrient Enrichment	+		+	-	+	-
Category II Direct Effects		+	+ and/or	+ and/or	-	-
Category III + IV Indirect Effects Other poss. Effects	+	+	+	+	-	-

GB = German Bight

The left part of table 2 contains the assessment of the German Bight, the right part the general assessment by OSPAR (2001). For this general assessment, the German Bight was subdivided into coastal water with a salinity < 34.5 and offshore water with a salinity > 34.5.

Since for both areas nutrient enrichment and/or eutrophication effects have been found, the German Bight is assessed as Problem Area. A regional differentiation related to the location of effects and nutrient enrichment results in an assessment as Problem Area for the main part of the German Bight, whereas the outer part is classified as NPA with a transitional area in between as PPA (see Figs.).

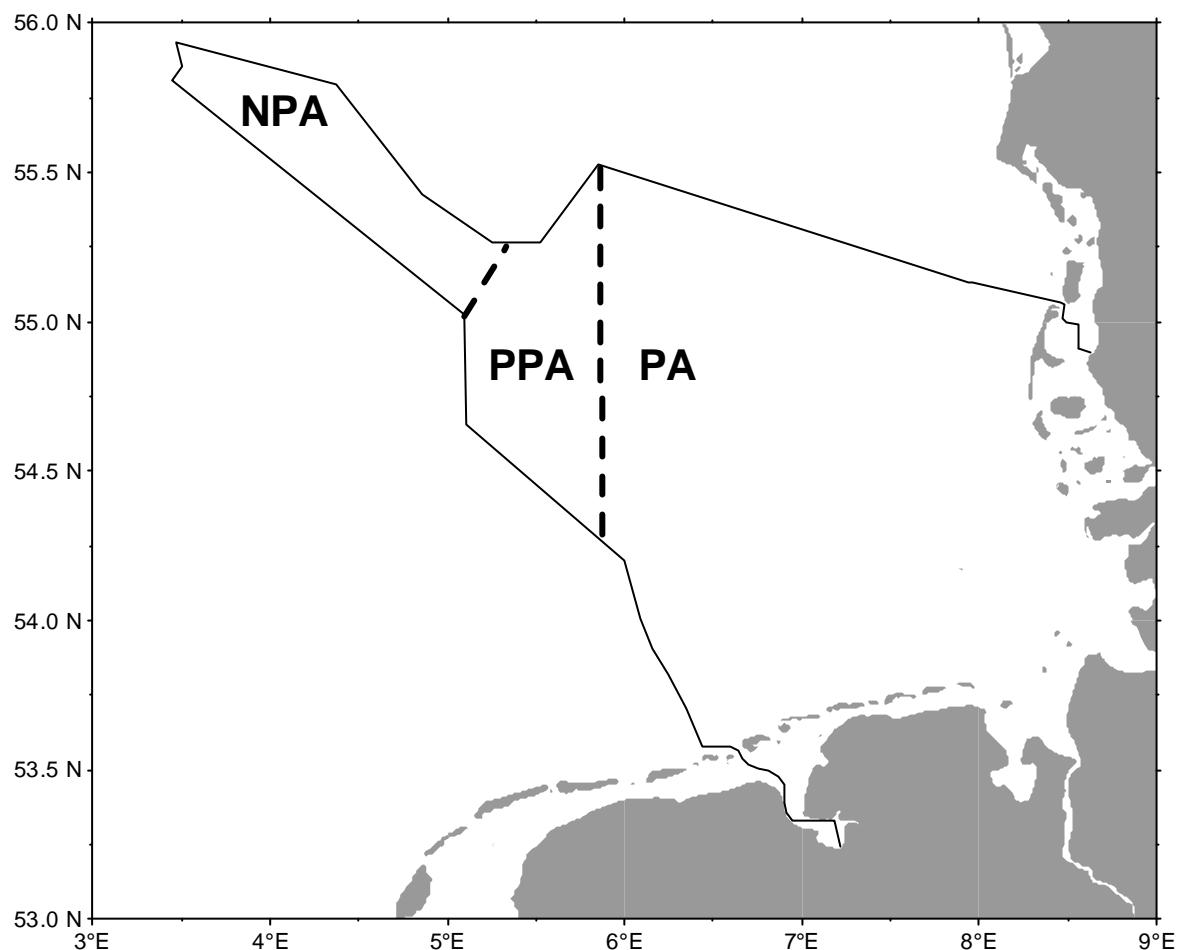
However, the German Bight has to be addressed as a sensitive area for eutrophication effects for natural reasons due to

- the close vicinity of still nutrient-rich river plumes, where the phytoplankton is light-inhibited by the high natural turbidity, to thermohaline stabilised mixed layers, promoting the formation of phytoplankton blooms,
- long residence times allowing extended phytoplankton growth,
- even longer residence times of bottom water in thermohaline stratified areas, allowing continuous trapping and degradation of sedimented organic material coupled with oxygen depletion, and
- trapping of suspended material in estuaries and tidal flats by estuarine - type circulation, (driven by lateral density gradients) and asymmetric tides providing a permanent import of particulate organic material also from the sea.

For a consistent and complete holistic assessment of all parameters listed by OSPAR there are not sufficient data, especially not during summer, when short term eutrophication effects will occur. During summer, more frequent measurements are needed with sufficient spatial resolution. Measurements of TN and TP have to be included, considering the phase transfer of the elements nitrogen and phosphorus. In order to detect changes in the ecosystem by non anthropogenic eutrophication, comparisons with the trends in the open North Sea should be conducted, including all components to be assessed.

References

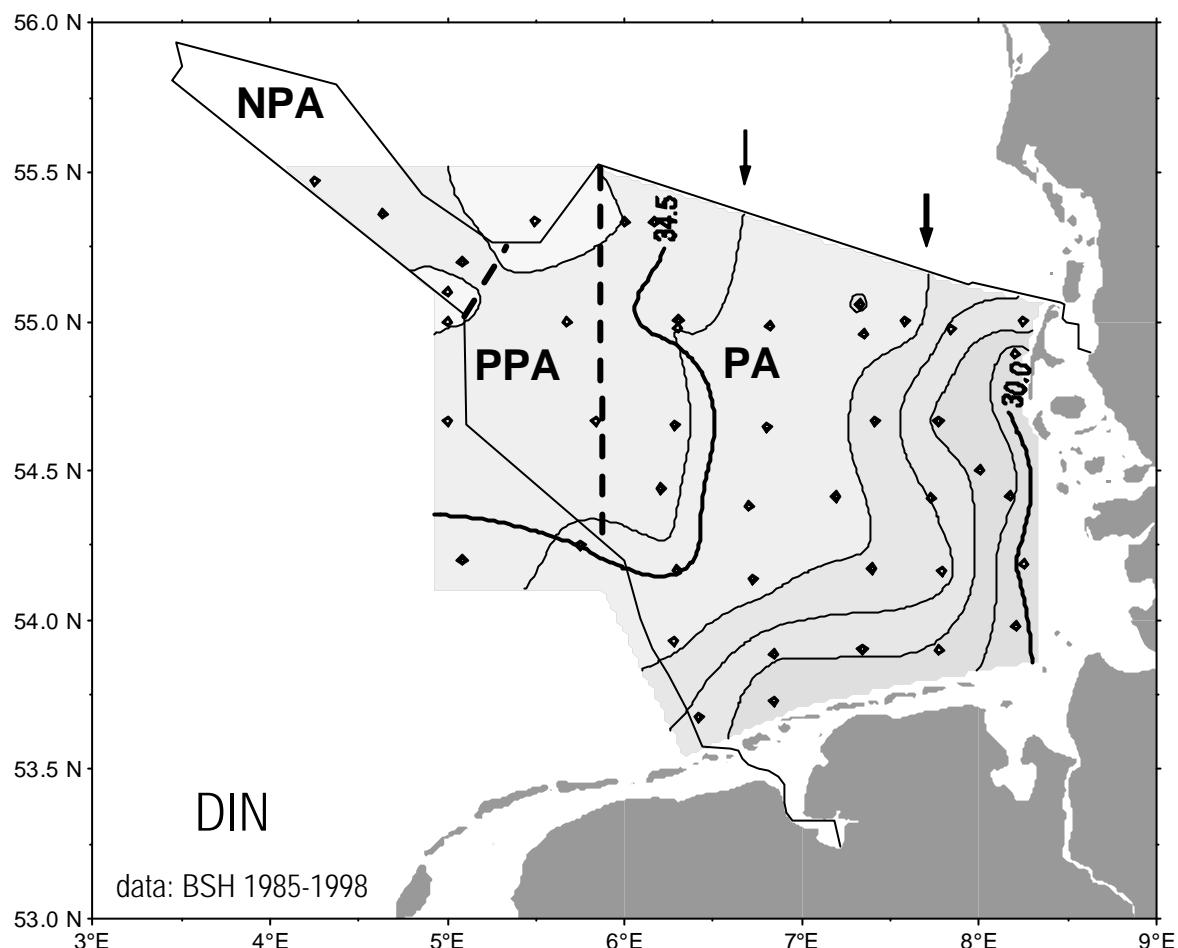
- Brockmann, U. and K. Eberlein (1986): River input of nutrients into the German Bight. In: Skreslet, S. (ed.): The role of freshwater outflow in coastal marine ecosystems. NATO ASI Series G7, Springer, Berlin, 231-240 pp.
- Brockmann, U., B. Heyden, M. Schütt, A. Starke, D. Topcu, K. Hesse, N. Ladwig, H. Lenhart (2002): Assessment criteria for eutrophication areas
- emphasis German Bight -, UBA report Berlin, 109 pp.+144 figs.
- Niermann, U. (1990a): Oxygen deficiency in the south eastern North Sea in summer 1989. ICES, 1990 Mini 5, 15 pp.
- Niermann, U. (1990b): Makrobenthos der südöstlichen Nordsee: Fluktuationen in den Jahren 1984-1988, Dissertation, Hamburg, 1990, 226 pp.
- OSPAR (2001): Description of detailed tabular format, B 0 to B 13 (see EUC 00/3/3, Annex 4). EUC 00/3/3, Annex 3, Tables B, update June 2001, London, OSPAR Secretariat, 31 pp.
- OSPAR (2002): Proposal from ETG 2001 for Draft Common Assessment Criteria, their Assessment Levels and Area Classification within the Comprehensive Procedure of the Common Procedure. EUC 01/2/2, London, OSPAR Secretariat, 27 pp.
- Rachor, E. and H. Albrecht (1983): Sauerstoffmangel im Bodenwasser der Deutschen Bucht. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh., 19: 209-227.
- Von Westernhagen, H. and V. Dethlefsen (1983): North Sea oxygen deficiency 1982 and its effects on the bottom fauna. Ambio, 12, No. 5, 264-266.
- Zevenboom, W. (1994): Assessment of eutrophication and its effects in marine waters. Dt. hydrogr. Z., Suppl., 1: 141-170.



classification of German territorial waters and
the exclusive economic zone into:

- problem areas due to eutrophication (PA)
- potential problem areas (PPA)
- non-problem areas (NPA)

Fig. 1



classification of German territorial waters and
the exclusive economic zone into:

- problem areas due to eutrophication (PA)
- potential problem areas (PPA)
- non-problem areas (NPA)

contour lines: diss. inorg. nitrogen winter means [μM]
and salinity contour lines 30.0 and 34.5
at the surface, 1985 - 1998

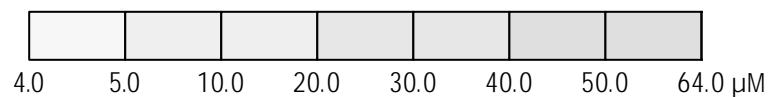
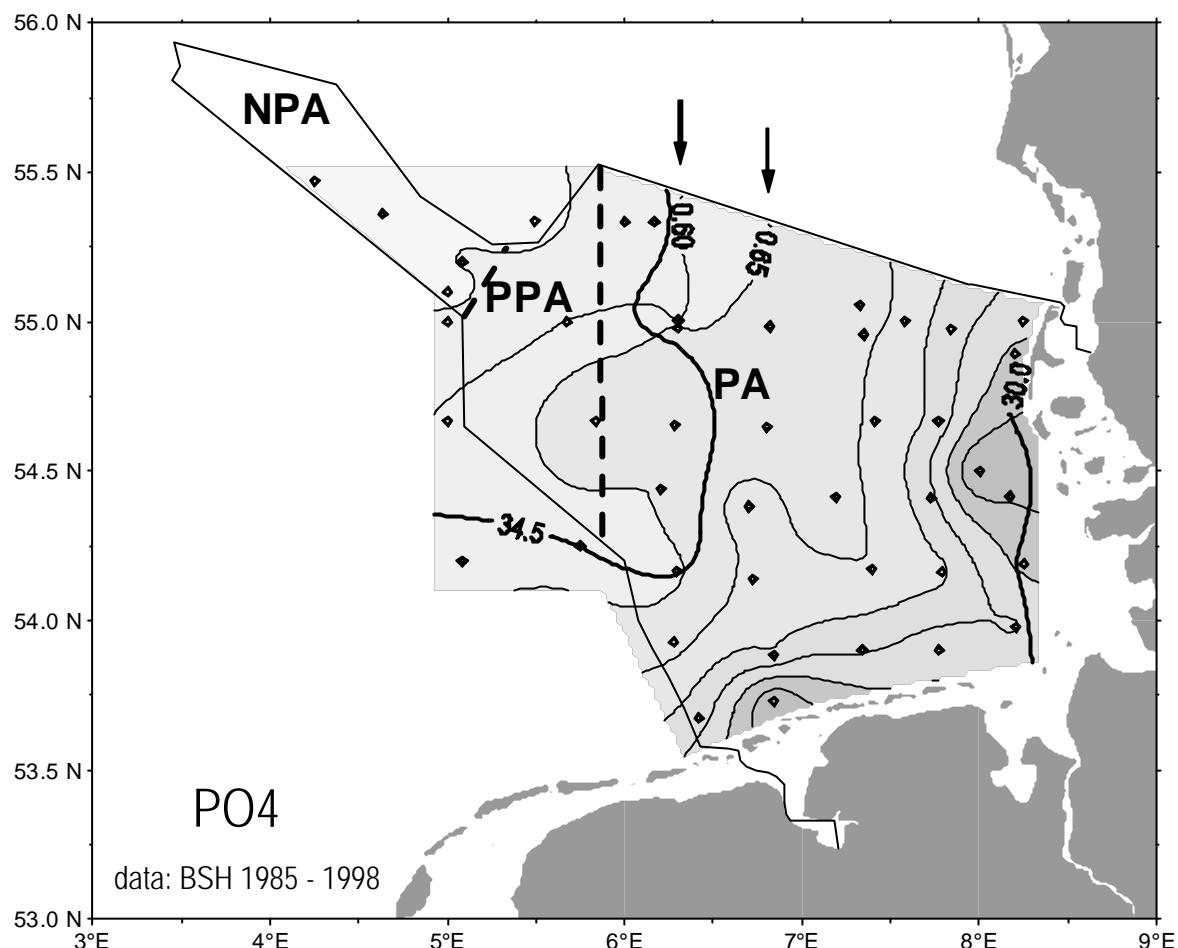


Fig. 2



classification of German territorial waters and
the exclusive economic zone into:

- problem areas due to eutrophication (PA)
- potential problem areas (PPA)
- non-problem areas (NPA)

contour lines: phosphate winter means [μM] and
salinity contour lines 30.0 and 34.5
at the surface, 1985 - 1998

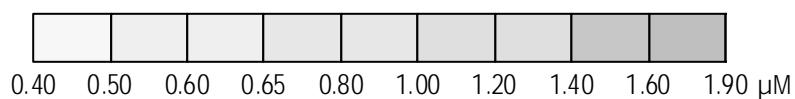
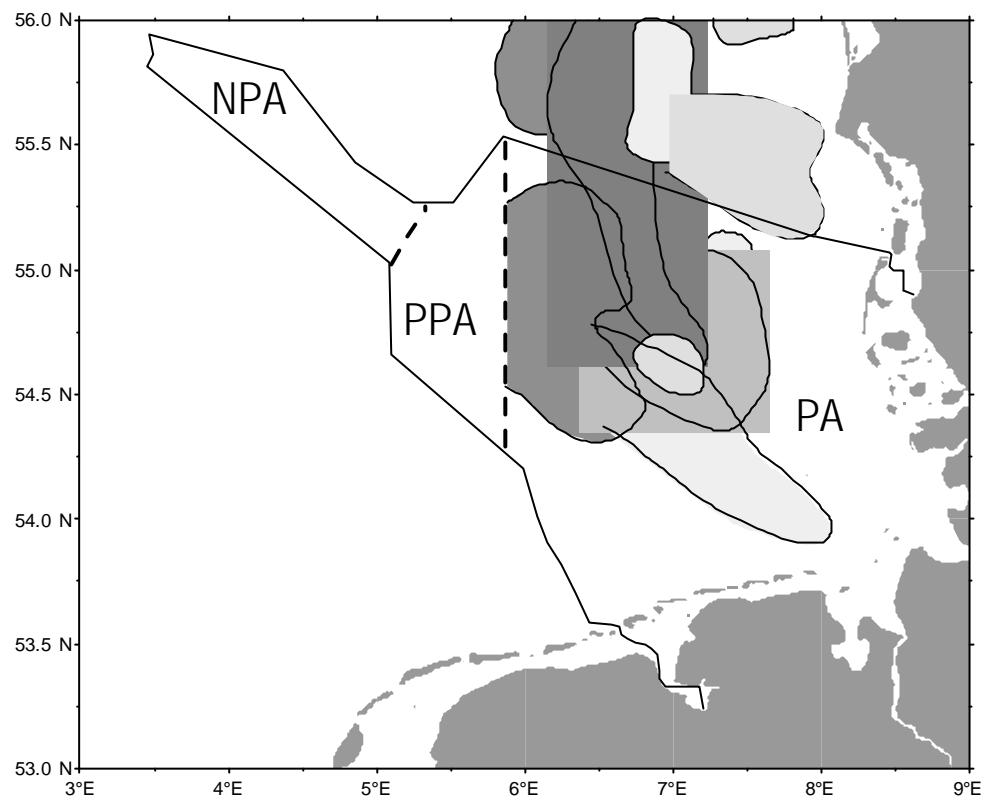


Fig. 3



classification of German territorial waters and
the exclusive economic zone into:

- problem areas due to eutrophication (PA)
- potential problem areas (PPA)
- non-problem areas (NPA)

since 1981 eventually observed oxygen depletion in the bottom water

1981: < 2.0 mg/L	1982: < 2.0 mg/L	1983: < 2.0 mg/L
1989: < 4.0 mg/L	1994: < 4.0 mg/L	

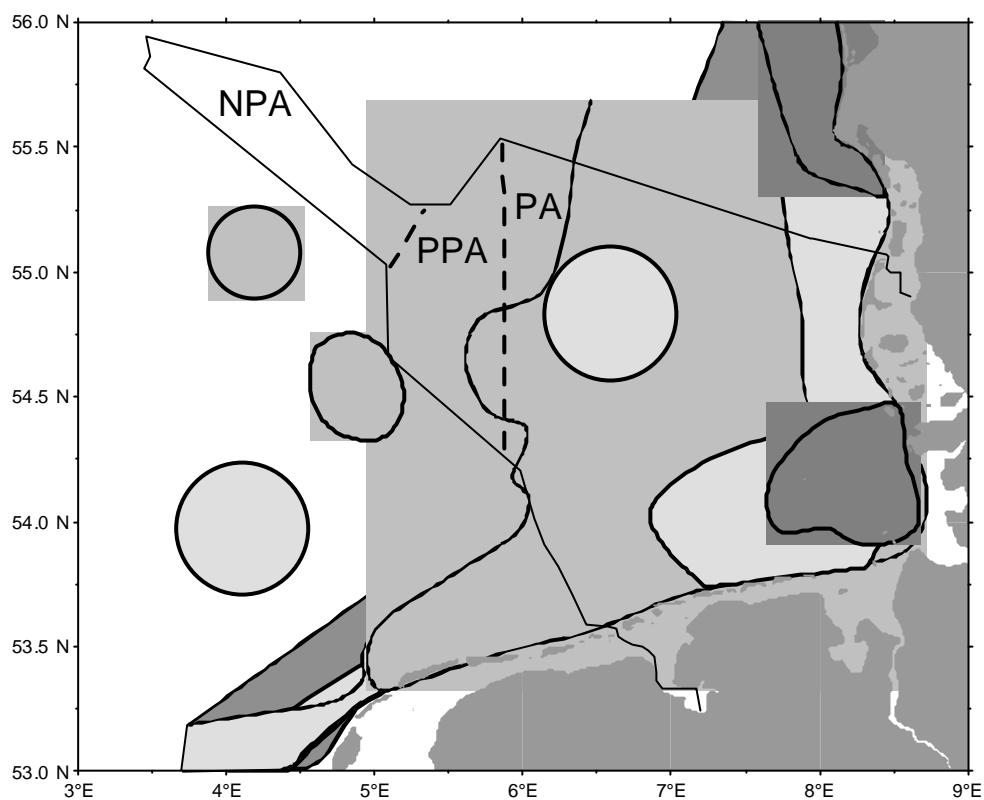
Niermann 1990 a,b

Rachor und Albrecht 1983

v.Westernhagen und Dethlefsen 1983

Brockmann und Eberlein 1986

Fig. 4



classification of German territorial waters and
the exclusive economic zone into:

- problem areas due to eutrophication (PA)
- potential problem areas (PPA)
- non-problem areas (NPA)

[Dark Gray Box]	<i>Noctiluca scintillans</i>
[Light Gray Box]	<i>Phaeocystis</i> ssp. > 10.000 cells/L
[Medium Gray Box]	<i>Dinophysis acuminata</i> > 100 cells/L
[White Box]	<i>Dinophysis acuminata</i> > 10.000 cells/L
[Dark Gray Box]	<i>Gyrodinium aureolum</i> > 100.000 cells/L

after Zevenboom 1994

Fig. 5