

Staat van de natuur van de Waddenzee

Bouwsteen – Beleidskader Natuur Waddenzee
Fase 1. Methodologie

Rapport



Staat van de natuur van de Waddenzee

Bouwsteen – Beleidskader Natuur Waddenzee
Fase 1. Methodologie

Rapport



Patrick Bogaart (CBS)
Karen Brandenburg (CBS)
Katja Philippart (Waddenacademie)

Colofon

Auteurs

Patrick Bogaart¹, Karen Brandenburg¹ en Katja Philippart²

¹ Centraal Bureau voor de Statistiek

² Waddenacademie

Fotografie

Pixabay

Grafisch ontwerp

BW H ontwerpers

ISBN

9789 49 02 89 812

Rapport 2024-07

Gepubliceerd door Waddenacademie

© Waddenacademie december 2024

Contact Waddenacademie

Secretariaat Waddenacademie

058 233 90 30

secretariaat@waddenacademie.nl

www.waddenacademie.nl

Citatie

Bogaart, P, K. Brandenburg & K. Philippart (2024). Staat van de natuur van de Waddenzee; Bouwsteen Beleidskader Natuur Waddenzee, Fase 1. Methodologie. Rapport 2024-07, Waddenacademie, Leeuwarden

De basisfinanciering van de Waddenacademie is afkomstig van het Waddenfonds.

SAMENVATTING

Dit rapport beschrijft de uitkomsten van Fase 1 van de ontwikkeling van de *Staat van de Waddenzee Natuur*. De *Staat* bevat een groot aantal indicatoren die de ecologische toestand van de Waddenzee reflecteren, en vormt een bouwsteen voor het *Beleidskader Natuur Waddenzee*.

In deze eerste fase wordt de voorgenomen achterliggende methodologie ten aanzien van deze indicatoren verkend, op basis van enkele deelindicatoren die geselecteerd zijn op de representativiteit van het volledige spectrum van het indicatorraamwerk van de *Staat*, namelijk watertemperatuur, fytoplankton (chlorofyl-a), schelpdieren (biomassa en aantallen) en vogels (aantallen).

Aan de hand van de beschikbare databronnen zijn per indicator de langjarige ontwikkelingen geanalyseerd. De toegepaste methodologie is gebaseerd op bestaande raamwerken zoals *SEEA ecosystem accounting* en de *Living Planet Index* methode, waarbij voor elke deelindicator een trend door de tijd is bepaald (toe- of afname) én waarbij de status van de toestand is getoetst tegen een referentiewaarde.

Deze referentiewaarden zijn veelal afkomstig uit bestaande richtlijnen, zoals de Kaderrichtlijn Water en de instandhoudingsdoelstellingen van Natura2000. Voor vogels en fytoplankton waren referentiewaarden goed voorhanden, maar voor watertemperatuur en schelpdieren zijn er andere methodes gebruikt om tot referentiewaarden te komen. Verder is tijdens deze eerste fase verkend welke methodes beschikbaar zijn om de data te aggregeren.

Inhoudsopgave

	SAMENVATTING	3
1.	INTRODUCTIE	7
	1.1 Inleiding	7
	1.2 Aanleiding	7
	1.3 Doel	7
	1.4 Opzet	8
	1.5 Samenhang	11
2.	METHODOLOGIE	12
	2.1 Multi-species indicator (MSI)	12
	2.1.1 Introductie	12
	2.1.2 Methodiek	12
	2.1.3 Trendevaluatie	14
	2.2 SEEA condition indicators	15
	2.2.1 SEEA ecosysteemrekeningen	15
	2.2.2 SEEA condition raamwerk	15
	2.3 Referentiewaarden	16
	2.3.1 SEEA referentiewaarden	16
	2.3.2 Natura 2000	19
	2.3.3 KRW	22
	2.3.4 Overige referentiewaarden	23
	2.4 Aggregatie	23
	2.4.1 Aanpak in de 'Staat'	24
3.	INDICATOREN	26
	3.1 Fytoplankton	26
	3.1.1 Dataselectie	26
	3.1.2 Trend berekening	27
	3.1.3 Referentiewaarden	28
	3.1.4 Combinatie status en trend	33
	3.2 Vogels	34
	3.2.1 Dataselectie	34
	3.2.2 MSI methode	35
	3.2.3 Referentiewaarden	38
	3.2.4 Combinatie status en trend	42
	3.2.5 Aggregatie	43

3.3	Schelpdieren (benthos)	44
3.3.1	Dataselectie	44
3.3.2	MSI methode	44
3.3.3	BISI analyse – referentiewaarden	46
3.3.4	Combinatie status en trend	49
3.4	Watertemperatuur	50
3.4.1	Dataselectie	50
3.4.2	Ruwe indicatoren	50
3.4.3	Normalisatie	51
3.4.4	Rijkswaterstaat	54
4.	DISCUSSIE, AANBEVELINGEN EN SUGGESTIES VOOR VERVOLGSTAPPEN	56
4.1	Data	56
4.2	Indicatoren	57
4.3	Tijdreeksen en trends	57
4.4	Schaling	58
4.5	Aggregatie	59
4.6	Ruimtelijke patronen	60
4.7	Referentiewaarden	61
	DANKWOORD	62
	LITERATUUR	63

1. Introductie

1.1 Inleiding

Dit rapport beschrijft een eerste methodologische verkenning (Fase 1) ten behoeve van Staat van de natuur van de Waddenzee (hierna: ‘Staat’) zoals ontwikkeld door de Waddenacademie in samenwerking met het Centraal Bureau voor de Statistiek. Deze Staat wordt ontwikkeld op verzoek van het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) en het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) als onderdeel van het toekomstige Beleidskader Natuur Waddenzee (BNW).

In deze eerste fase ligt de nadruk op de technische ontwikkeling de Staat waarbij de methodiek van beoordeling van trends en status voor een enkele geselecteerde indicatoren is uitgewerkt.

Na een algemene inleiding waarin de aanleiding en het doel worden geschetst volgt een hoofdstuk waarin de voorgenomen methodologie van de Staat wordt uitgewerkt. Vervolgens wordt deze methodologie uitgewerkt voor enkele geselecteerde indicatoren (fytoplankton, vogels, schelpdieren en watertemperatuur). Het rapport wordt afgesloten met een reeks aanbevelingen voor de vervolgstappen.

1.2 Aanleiding

Door de ministeries van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) en van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) wordt gewerkt aan de ontwikkeling van het Beleidskader Natuur Waddenzee, wat mede invulling zal geven aan de natuuropgaven zoals beschreven in de Agenda voor het Waddengebied 2050¹ met als de hoofddoelstelling voor de Waddenzee: *“een duurzame bescherming en ontwikkeling van de Waddenzee als natuurgebied en het behoud van het unieke open landschap”*.

Sinds medio 2023 wordt door de Waddenacademie gewerkt aan het ontwikkelen van een ‘Staat van de natuur in de Waddenzee’ (verder ‘Staat’ genoemd) als bouwsteen van dit Beleidskader. De Waddenacademie heeft, op haar beurt, het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) gevraagd voor inhoudelijke en technische ondersteuning om deze Staat uit te werken, met name wat betreft analysetechnieken.

Voor het ontwikkelen en ‘vullen’ van de Staat werkt de Waddenacademie verder samen met het programma LTER-LIFE (met name de UvA) voor de protocollen voor de FAIRificatie van de benodigde data, en met de Basismonitoring Wadden (o.l.v. RWS-NN) voor het centraal beschikbaar maken van de benodigde data.

1.3 Doel

Het doel van de Staat is om inzicht te bieden in de (langjarige) ontwikkelingen van relevante kenmerken van de natuur van de Waddenzee, dat als basis gebruikt kan worden voor toekomstig beleid en beheer van dit gebied (in eerste instantie voor het Beleidskader Natuur Waddenzee, maar in een later stadium mogelijk ook van toegevoegde waarde voor een breder gebruik zoals het trilaterale *Quality Status Report* en rapportages voor de EU en UNESCO). De Staat wil zo compleet mogelijk zijn wat betreft natuurwaarden maar ook

1 <https://agendavoorhetwaddengebied2050.waddenzee.nl>

zo eenvoudig mogelijk wat betreft interpretatie. Ten behoeve van de transparantie moeten de onderliggende data FAIR zijn dat wil zeggen goed vindbaar, goed beschikbaar en goed bruikbaar (onderling en extern)².

Hiermee brengt de Staat een aantal toegevoegde waardes t.o.v. andere ecologische evaluaties (bijv. Natura 2000 en het *Quality Status Report* van de Waddenzee, zie hieronder), namelijk i) het samenbrengen van informatie (data en duidingen) vanuit verschillende bronnen in één coherent beeld van de natuur van de Waddenzee, ii) een waardering (goed/slecht) t.o.v. referentiewaarden op verschillende aggregatieniveaus (bijv. van soort via soortgroep tot biodiversiteit), en iii) een FAIRe toegang tot de onderliggende data.

1.4

Opzet

De Staat bouwt voort op bestaande raamwerken, met name de data en analyses zoals beschreven in het *Quality Status Report* (QSR) van de Waddenzee³. De QSR beschrijft en evalueert de huidige ecologische toestand van de trilaterale Waddenzee. Het identificeert veranderingen in deze status en de mogelijke oorzaken ervan, classificeert zorgwekkende kwesties, geeft mogelijke herstelmaatregelen aan, inclusief evaluatie van de waarschijnlijke effectiviteit van deze maatregelen, en spoort lacunes in de kennis op. De QSR is een onderdeel van het *Trilateral Monitoring and Assessment Program* (TMAP)⁴, en wordt regelmatig (ongeveer 1x per 5 jaar) geactualiseerd.

In 2023 is ten behoeve van de ontwikkeling van de Staat een lijst indicatoren samengesteld op basis van de verschillende hoofdstukken van het QSR (Tabel 1), de verschillende onderdelen van zogenaamde *Outstanding Universal Value*, behorende bij de UNESCO Werelderfgoedstatus⁵, de indicatoren van het N2000 Beheerplan van de Waddenzee⁶ en die van andere internationale en Europese richtlijnen die gelden voor de Nederlandse Waddenzee⁷. Naast deze lijst van ecologische toestands-indicatoren (die vooral ontwikkelingen in leefgebieden en soorten beschrijven) zijn er aan de Staat nog een aantal indicatoren aan toegevoegd over gevolgen van menselijke invloeden (zoals geluid, openheid en natuurbeschermingsregimes).

Hiermee omvat de Staat alle type indicatoren (leefgebieden, soorten en menselijke invloeden) die van belang zijn om de ontwikkelingen van de “*Waddenzee als natuurgebied en het unieke open landschap*” (zie Aanleiding) en mogelijke invloed van menselijk handelen daarop te kunnen volgen.

Bij de selectie van indicatoren is rekening gehouden met een voorkeur voor een grote ruimtelijke schaal met afdoende resolutie, zodat het raamwerk enerzijds in staat is om recht te doen aan de verschillen tussen de afzonderlijke deelgebieden (zoals kombergingen) en anderzijds toegepast kan worden op de gehele (trilaterale) Waddenzee. Voor wat betreft de temporele aspecten geldt een soortgelijk criterium: aan de ene kant wordt er recht gedaan aan de verschillen tussen seizoenen, aan de andere kant ligt de nadruk op trends over langere perioden (minstens 10 jaar).

2 <https://www.go-fair.org>

3 <https://qsr.waddensea-worldheritage.org>

4 <https://www.waddensea-worldheritage.org/trilateral-monitoring-and-assessment-programme-tmap>

5 <https://whc.unesco.org/en/list/1314>

6 <https://open.rijkswaterstaat.nl/open-overheid/onderzoeksrapporten/@106060/natura-2000-beheerplan-waddenzee-periode>

7 <https://www.waddenacademie.nl/themas/natuur-en-recht/de-europees-en-internationaalrechtelijke-status-van-de-waddenzee>

De initiële lijst van indicatoren (Tabel 1) is afgestemd met de opdrachtgevers en met de ontwikkelaars van de andere twee bouwstenen van het BNW. Vanwege de gelijktijdige ontwikkelingen van de drie bouwstenen en beschikbare kennis en data lopen de drie lijsten van indicatoren nog niet helemaal parallel. Verdere afstemming zal plaatsvinden als ook de resultaten van de andere bouwstenen beschikbaar zijn.

Fasering en databeschikbaarheid

Niet voor alle in de initiële lijst opgenomen indicatoren zijn op dit moment voldoende data beschikbaar in een vorm die direct verwerkbaar is. Voor sommige indicatoren is de data in principe direct beschikbaar vanuit bestaande portals, zoals de Wadden viewer⁸ (onderdeel van Basismonitoring Wadden⁹) en de portals van Rijkswaterstaat¹⁰, het KNMI¹¹ en SOVON¹². Een recent initiatief is de Digitale Systeemrapportage Waddenzee¹³, dat een groeiende rol vervult bij het ontsluiten van de basisdata.

In de eerste fase van de Staat is gewerkt met een beperkte set van indicatoren op basis van volledig beschikbare data ten tijde van de analyses. Dit rapport beschrijft de resultaten van Fase 1 en geeft ook richting voor de invulling van Fase 2 die in de zomer van 2024 wordt opgestart.

Tijdens de tweede fase zal de set van indicatoren verder worden uitgebreid op basis van data (en referentiewaarden) die recent beschikbaar zijn gekomen, waarbij de selectie mogelijk wordt aangepast op basis van de uitkomsten van de overige bouwstenen (die ook rond de zomer van 2024 worden opgeleverd).

In een eventuele derde fase zal de nadruk liggen op indicatoren waar op dit moment nog geen direct bruikbare data voor beschikbaar is, maar waarvoor de data wel afgeleid kunnen worden uit andere data of rekenmodellen.

We kunnen op voorhand niet uitsluiten dat ook in de vervolgfases (Fase 2 en Fase 3) lacunes in data en referentiewaarden zullen optreden die dan geadresseerd zullen moeten worden.

8 <https://viewer.openearth.nl/wadden-viewer>

9 <https://basismonitoringwadden.waddenzee.nl>

10 <https://waterinfo.rws.nl>

11 <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie-metingen-en-waarnemingen>

12 <https://www.sovon.nl/indexen-en-aantallen>

13 <https://systeemrapportage.nl/wadden>

Categorie	Aspect	Indicator	Eenheid	Referentie	Meetprogramma	SEEA ECT	KRW
Leefgebieden	Weer & klimaat	Luchttemperatuur (extremen & gemiddeld)	°C	historisch	KNMI	A1	
		Watertemperatuur (extremen & gemiddeld)	°C	historisch	MWTL & NIOZ	A1	x
		Neerslag (extremen & gemiddeld)	mm/dag	historisch	KNMI	A1	
		Zoutgehalte (extremen & gemiddeld)	psu	historisch	MWTL & NIOZ	A2	
		Zonnestraling (extremen & gemiddeld)	W/m ²	historisch	KNMI	A1	
		Wind (extremen & gemiddeld per windrichting)	m/s/graad	historisch	KNMI	A1	
		Hoogte zeespiegel (extremen & gemiddeld)	cm	historisch	KNMI	A1	
	Hydrodynamica	Zoetwaterafvoer (extremen & gemiddeld)	m ³ /sec	historisch	OSPAR	A1	
		Verblijftijd water (extremen & gemiddeld)	dagen			A1	
		Kinetische energie zeebodem (extremen & gemiddeld)	N/m ²			A1	
	Geomorfologie	Geulen	km ² /m	historisch	MWTL	A1	
		Subgetijde	km ² /m	historisch	MWTL	A1	
		Wadplaten	km ² /m	historisch	MWTL	A1	
		Hypsometrische curve	%/m	historisch	MWTL	A1	(x)
		Sedimenttype	km ² /klasse	historisch	MWTL	A1	
	Habitats	Biobouwers	km ² /groep		WOT	Extent	(x)
		Biobrekers	km ² /groep		MWTL	Extent	
		Randstructuren (o.a. rietvelden & zeekliffen)	km ² /groep			Extent	
		Kwelders	km ² /groep		MWTL	Extent	x
	Connectiviteit	Uitwisseling met Noordzee	m ³ /zeegat/jaar			C1	
Toevoer vanaf land		m ³ /punt/jaar	historisch	OSPAR	C1		
Uitwisseling tussen kombergingen		m ³ /wantij/jaar			C1		
Integriteit	Oppervlakte leefgebieden / ecotopen	km ² /ecotoop	historisch	MWTL	Extent		
	Aaneengeslotenheid leefgebieden / ecotopen				C1		
Soorten	Primaire producten	Fytoplankton biomassa	CHLa/m ²	OSPAR & KRW	MWTL & NIOZ	B2	x
		Fytoplankton productie	gC/m ² /jaar	historisch	NIOZ	B3	
		Microfytoentothos biomassa	CHLa/m ²			B2	
		Microfytoentothos productie	gC/m ² /jaar			B3	
	Bodemdieren	Schelpdieren	aantal/m ²	BISI (KRM)	MWTL & WOT	B1	x
		Wormen	aantal/m ²	BISI (KRM)	MWTL	B1	x
		Schaaldieren	aantal/m ²	BISI (KRM)	MWTL	B1	x
		Indeling op dieet			MWTL	B1	
		Warm- vs koudwatersoorten			MWTL	B1	
	Vissen	Trekvisen	aantal/hectare	EKR (KRW)	WOT & NIOZ	B1	
		Estuariene residente vissen	aantal/hectare	EKR (KRW)	WOT & NIOZ	B1	
		Kinderkamervissen	aantal/hectare	EKR (KRW)	WOT & NIOZ	B1	
		Seizoensgasten	aantal/hectare	EKR (KRW)	WOT & NIOZ	B1	
		Indeling op dieet			WOT & NIOZ	B1	
		Warm- vs koudwatersoorten			WOT & NIOZ	B1	
	Vogels	Trekvogels	aantal/gebied	IHD (N2000)	NEM	B1	
		Broedvogels	aantal/gebied	IHD (N2000)	NEM	B1	
		Overwinterende vogels	aantal/gebied	IHD (N2000)	NEM	B1	
		Indeling op dieet			NEM	B1	
		Warm- vs koudwatersoorten			NEM	B1	
	Zoogdieren	Gewone zeehond	aantal/gebied		WOT	B1	
		Griize zeehond	aantal/gebied		WOT	B1	
	Connectiviteit (planten & dieren)	Uitwisseling met Noordzee	passages/groep/zeegat/jaar			B3	
		Uitwisseling met kusten	passages/groep/grens/jaar			B3	
		Uitwisseling tussen kombergingen	passages/groep/wantij/jaar			B3	
	Natuurlijkheid	Benutting soorten potentieel geschikte leefgebieden	%			B3	
		Opbouw voedselweb ('Mean Trophic Level')				B3	
Menselijke invloeden	Gevolgen van	Geluid & geluidsvervuiling	dB/Hz/m ²			Pressure	
		Menselijke activiteiten	Licht & lichtvervuiling	mag/arcsec ²			Pressure
		Bodemberoering	m ³ /m ²			Pressure	
		Vervuiling water	g/stof/m ³			Pressure	
		Vervuiling bodem	g/stof/m ²			Pressure	
		Verstoring door bewegingen				Pressure	
		Beperking wijsheid/openheid				Pressure	
		Aanleg & onderhoud infrastructuur, vast & drijvend	m ² /m ²			Pressure	
	Bescherming & beheer	Beschermingsregimes	km ² /regime			B3	
		Activiteiten tbv natuurbeheer	km ² /activiteit			B3	
		Gesloten gebieden	km ² /type/periode			B3	
	Populatie-dynamica	Introductie van nieuwe soorten	aantal/groep/m ²			Pressure	
		Stimulering of afremming van populatiegroei	aantal/groep/m ³			B3	
		Grootschalige sterftes a.g.v. menselijk toedoen	aantal/groep/m ²			B3	

Tabel 1. Initieel indicatorraamwerk voor de Staat van de natuur van de Waddenzee als bouwsteen van het Beleidskader Natuur Waddenzee. De kolommen Categorie, Aspect en Indicator geven de hiërarchische indeling van de indicatoren aan. De kolom Referentie geeft een eerste inschatting van het type referentiewaarde dat gebruikt kan worden bij elke indicator. De kolom Meetprogramma geeft aan waar de data vandaan komt. Zie paragraaf 2.2.2 voor een beschrijving van de SEEA-ECT.

1.5

Samenhang

Zoals hierboven beschreven draagt de Staat bij aan de ontwikkeling van het Beleidskader Natuur Waddenzee. Naast de Staat worden er nog een twee andere ecologische bouwstenen ontwikkeld:

- › **Ecologisch Streefbeeld.** Onder regie van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) wordt een ecologisch streefbeeld voor de Waddenzee ontwikkeld. Dit streefbeeld is gebaseerd op vier systeemkenmerken van het gebied (dynamisch systeem, brakwater systeem met goede waterkwaliteit, hoog productief systeem en landschappelijk waardevol systeem).
- › **Drukfactoren.** Door Wageningen Marine Research (WMR) wordt een analyse gemaakt van de milieudruk die voortkomt uit de verschillende (economische) activiteiten in en rondom de Waddenzee, en hoe deze een impact hebben op de verschillende soortgroepen (vissen, vogels en zeezoogdieren) en leefgebieden (pelagische en bentische habitats).

Deze drie bouwstenen zijn onderling op elkaar afgestemd. Zo zijn de systeemkenmerken van de bouwsteen 'Ecologisch Streefbeeld' en de soortgroepen en leefgebieden van de bouwsteen 'Drukfactoren' gekoppeld aan de categorieën van de indicatoren van de bouwsteen 'Staat'. Dit onderlinge verband tussen de drie bouwstenen is echter op dit moment nog in ontwikkeling en verdere afstemming zal daarom in het vervolgtraject worden opgepakt.

2. Methodologie

Bij de ontwikkeling van de Staat is zo veel mogelijk aangesloten bij bestaande methodieken. Voor de analyse van biodiversiteit is er bijvoorbeeld gebruik gemaakt van de technieken die horen bij de Living Planet Index (LPI), zoals die door het CBS zijn ontwikkeld en gepubliceerd op het Compendium voor de Leefomgeving¹⁴.

2.1 Multi-species indicator (MSI)

2.1.1 Introductie

Biodiversiteitsindicatoren worden steeds vaker gebruikt om trends in biodiversiteit in verschillende habitats (leefgebieden) en op verschillende schalen te monitoren, waarbij de meest populaire de gecombineerde populatietrends van individuele soorten zijn (Gregory *et al.*, 2005). Dergelijke multi-species indicatoren (MSI's) hebben het voordeel dat ze relatief ongevoelig zijn voor de schommelingen van individuele soorten, waardoor wetenschappers, natuurbeschermers en beleidsmakers een beter inzicht krijgen in de dominante factoren die biodiversiteit beïnvloeden in een regio, land, continent of de hele biosfeer.

Tot nu toe heeft de ontwikkeling van MSI's zich voornamelijk gericht op methoden om het gemiddelde index van soorten te berekenen, waarvan het geometrisch gemiddelde van soortenindices een van de meest geschikte lijkt om te gebruiken (van Strien *et al.*, 2012). Populaire voorbeelden van MSI's zijn onder andere de wereldwijde Living Planet Index (LPI), de Europese graslandvlinder-indicator en de Europese wilde vogel-indicatoren.

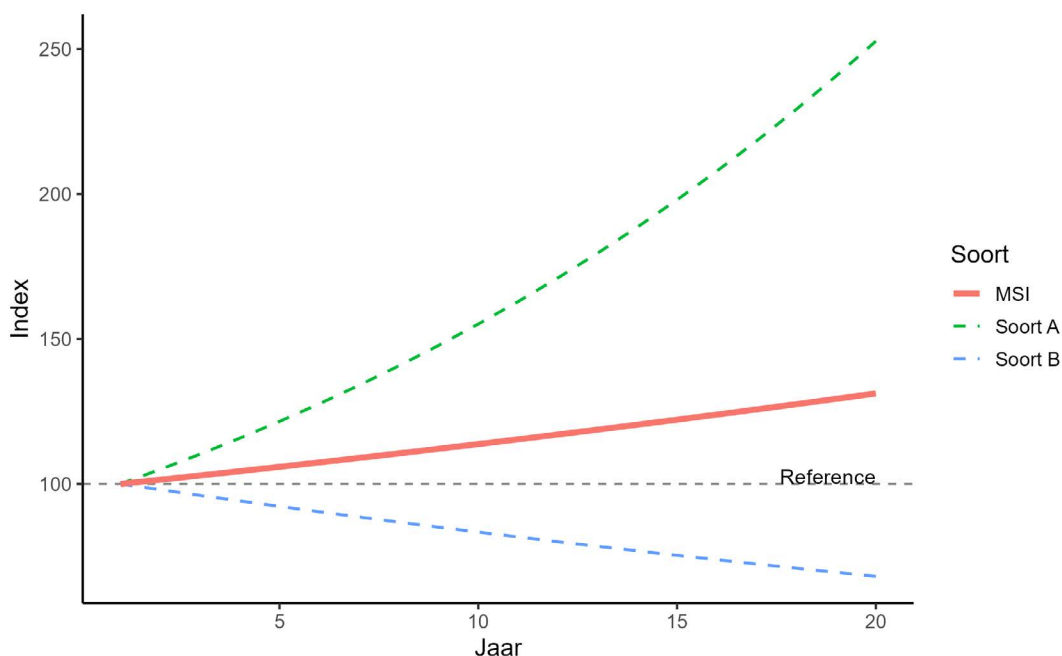
De MSI's die in dit rapport worden gepresenteerd, hebben hetzelfde doel als de LPI gepubliceerd door het WWF (WWF, 2022). Namelijk het beschrijven van de gemiddelde populatieontwikkeling van de geselecteerde soortgroep. Het meest fundamentele aspect dat de bruikbaarheid van MSI's (inclusief de LPI's) beïnvloedt, is de selectie van soorten. De meest bruikbare indicatoren bestaan uit soorten die typisch zijn voor een specifiek ecosysteem of habitat, of soorten waarvan verwacht mag worden dat ze gemeenschappelijke drijfveren hebben voor de ontwikkeling van de populatie, zoals soorten die gevoelig zijn voor klimaatverandering, beschermingsmaatregelen of vervuiling.

In dit rapport is de MSI ook toegepast als methodiek om het gemiddelde van één indicator zoals gemeten op verschillende locaties te berekenen (bijv. biomassa van algen in de Waddenzee, zie paragraaf 3.1).

2.1.2 Methodiek

De berekening van een MSI begint met het per soort bepalen van jaarlijkse indexcijfers, en de onzekerheid daarin, voor populatieaantallen of biomassa. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van Poisson regressie (van Strien *et al.*, 2004) en van het specifiek hiervoor ontwikkelde softwarepakket *rtrim* (Bogaart *et al.*, 2020).

14 <https://www.clo.nl/indicatoren/nl156910-living-planet-index-nederland-1990-2023>. Zie <https://www.clo.nl/indicatoren/nl157503-fauna-in-de-noordzee-1990-2021> voor een specifiek marien voorbeeld.



Figuur 1. Illustratie van de MSI methodiek (rode lijn) toegepast op trends van twee soorten waarbij soort A met 5% per jaar toeneemt en soort B met 2% per jaar afneemt. Alle individuele trends en de MSI zijn dusdanig geschaald dat de indexwaarde in het eerste jaar 100 is. Voor deze methodiek zullen zowel de trend in de MSI als die van de individuele soorten worden weergegeven, zodat ook de onderliggende informatie (variatie in soorten) zichtbaar blijft.

In een tweede stap worden deze trends per soort gecombineerd tot een multi-species indicator (MSI), door per jaar het meetkundig gemiddelde van de jaarcijfers per soort te nemen (Figuur 1). Met behulp van een Monte Carlo methode wordt, gebruik makend van de onzekerheden in de trends per soort, de onzekerheid in de MSI bepaald (Soldaat *et al.*, 2017).

Door het berekenen van een geometrisch gemiddelde zijn toenames en afnames equivalent. Bijvoorbeeld, een soort die verdubbelt in aantal (van index 100 naar 200) wordt precies gecompenseerd door een soort die halveert in aantal (van index 100 naar 50). In elke gesimuleerde dataset wordt een algehele trend in MSI berekend, evenals een trend voor de laatste 12 jaar. De onzekerheid van de gemiddelde trends wordt afgeleid uit de variatie tussen de 1000 trends. Naast de MSI worden ook de trends van de individuele soorten weergegeven.

Het voordeel van indexering is dat zeldzame en veelvoorkomende soorten hetzelfde gewicht krijgen in de MSI. Een zwak punt is dat verschijnende of verdwijnende soorten de MSI kunnen domineren, omdat indexen voor dergelijke soorten zeer hoog of zeer laag kunnen worden (Korner-Nievergelt *et al.* 2022). In de MSI's in dit rapport wordt dit effect verminderd door eerst de index in het jaar met het hoogste aantal van een soort op 100 te zetten, en vervolgens alle indexen onder 1 af te kappen naar index = 1.

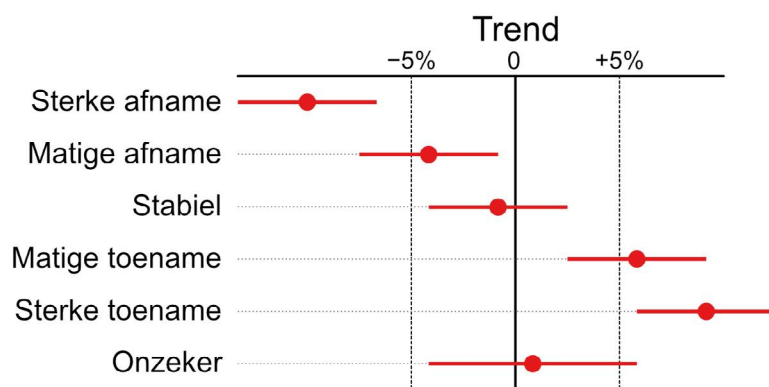
2.1.3

Trendevaluatie

De Monte Carlo-aanpak beschreven in de vorige paragraaf produceert algehele trends en SE's. De SE en de lengte van de tijdreeks bepalen het betrouwbaarheidsinterval (BI) van de trend. De bovenste en onderste betrouwbaarheidsgrenzen vormen de basis voor een classificatie in toenemende, stabiele, afnemende of onzekere trends (Tabel 2, Figuur 2).

Trendklasse	Criterium	Beschrijving
Sterke afname	Bovengrens < -5%	> 5% afname per jaar (halvering in 15 jaar)
Matige afname	$-5\% \leq \text{bovengrens} < 0\%$	Afname, maar onzeker of > 5% per jaar
Stabiel	BI bevat 0%, en (ondergrens $\geq -5\%$ of bovengrens $\leq +5\%$)	Verandering < 5% per jaar
Matige toename	$0\% \leq \text{ondergrens} < +5\%$	Toename, maar onzeker of > 5% per jaar
Sterke toename	Ondergrens > +5%	> 5% toename per jaar (verdubbeling in 15 jaar)
Onzeker	BI bevat 0%, en (ondergrens < -5% of bovengrens > +5%)	BI te groot voor een betrouwbare trend classificatie

Tabel 2. Classificatie van trends gebaseerd op het 95% betrouwbaarheidsinterval (BI) van de trend.



Figuur 2. Illustratie van de classificatie van trends gebaseerd op het 95% betrouwbaarheidsinterval (rode horizontale lijnen) van berekende trends (rode punten) als % verandering per jaar.

2.2 SEEA condition indicators

De methodologie om de verschillende indicatoren van de Staat van de Waddenzee onderling vergelijkbaar te maken en te aggregeren sluit aan bij de methodiek van de 'SEEA ecosystem accounting' raamwerk dat wordt gebruikt om de staat van het natuurlijk kapitaal wereldwijd te beschrijven.

2.2.1 SEEA ecosysteemrekeningen

Het VN *System of Environmental Economic Accounts* (SEEA) is een internationale standaard voor statistieken over de onderlinge relaties tussen maatschappij en economie enerzijds en natuur en milieu anderzijds. Het SEEA bestaat uit een aantal verschillende 'rekeningen' waarin op systematische manier informatie wordt verzameld over bijvoorbeeld natuurlijke hulpbronnen en emissies naar het milieu. Voorbeelden hiervan zijn het gebruik van water en hout en de uitstoot van broeikasgassen en stikstof door de verschillende economische sectoren.

De SEEA ecosysteemrekeningen (*Ecosystem Accounts; SEEA-EA*) zijn een uitbreiding op het algemene SEEA raamwerk. Hierbij ligt de nadruk op ecosystemen en de voordelen die de mens hieraan ontleent: ecosysteemdiensten. De ecosystemen worden hierbij onderverdeeld in ecosysteemtypen, en beschreven in termen van omvang (*extent*) en kwaliteit (*condition*). Met name de manier waarop de ecosysteemkwaliteitsrekeningen (*condition accounts*) zijn opgezet is van belang voor de Staat van de natuur van de Waddenzee.

Door het brede karakter van SEEA ecosysteemrekeningen leent het stelsel zich bij uitstek voor de koppeling van ecologische indicatoren met sociaaleconomische indicatoren. De samenwerking tussen SEEA en de Global Ocean Accounts Partnership (GOAP)¹⁵, wat leidt tot de doorontwikkeling van het SEEA raamwerk tot 'SEEA Ocean Accounts' is hier een goed voorbeeld van.

2.2.2 SEEA condition raamwerk

Het *SEEA-EA condition* raamwerk beschrijft de kwaliteit van ecosystemen in termen van een groot aantal kenmerken¹⁶. Hierbij wordt zowel naar de intrinsieke kwaliteit gekeken, als naar de *instrumentele* kwaliteit (gerelateerd aan het vermogen om ecosysteemdiensten te kunnen leveren). Er wordt op basis van de zogenaamde *Ecosystem Condition Typology* (ECT) onderscheid gemaakt tussen een aantal verschillende typen karakteristieken. Deze sluiten over het algemeen goed aan bij de indicatoren zoals die voor de Staat van de Waddenzee zijn gedefinieerd:

- › A1: Fysische toestand (bv. Temperatuur; zoutgehalte)
- › A2: Chemische toestand (bv. Nutriëntenconcentratie)
- › B1: Samenstelling (bv. Soortensamenstelling; abundantie)
- › B2: Structuur (bv. Biomassa; leaf area index)
- › B3: Functie (bv. Productiviteit; ouderdomsstructuur; frequentie van verstoringen)
- › C1: Landschap (connectiviteit; fragmentatie)

15 <https://www.oceanaccounts.org>

16 SEEA: "Ecosystem condition is the quality of an ecosystem measured in terms of its abiotic and biotic characteristics" (UN et al., 2021; ¶5.2)

In Tabel 1 is voor alle indicatoren uit de Staat aangegeven met welke categorie uit de *SEEA ECT* ze corresponderen.

Het *SEEA-EA condition* raamwerk bestaat uit drie stappen:

1. In stap een worden de verschillende karakteristieken gekwantificeerd door middel van één of meer (meetbare en vooral scherp gedefinieerde) variabelen¹⁷. Zeewatertemperatuur kan bijvoorbeeld worden gemeten als de jaargemiddelde temperatuur van het oppervlaktewater op een specifieke locatie, of als het aantal dagen dat een bepaalde ecologisch relevante drempelwaarde wordt overschreden.
2. In de tweede stap worden de variabelen afgezet tegen referentiewaarden, welke dezelfde eenheden hebben als de variabelen. Hiermee kunnen de variabelen worden omgerekend naar dimensieloze indicatoren¹⁸, die bij voorkeur allemaal een bereik van 0 tot 1 hebben.
3. In de derde stap kunnen de afzonderlijke indicatoren worden gecombineerd tot een Index (zie paragraaf 2.4).

2.3

Referentiewaarden

Het doel van referentiewaarden is om meetwaarden zinvol te kunnen interpreteren, er betekenis aan te kunnen geven. Metingen leveren immers in principe enkel een getal op. Maar wat zegt dat getal? Referentiewaarden leveren hier de benodigde context om deze interpretatie mogelijk te maken.

In het algemeen gesproken zijn er verschillende typen referentiewaarden. Zo zijn er **absolute** referentiewaarden, denk aan 0 °C en 100 °C als referentiewaarden voor de temperatuur van de toestand van water, **ecologische** referentiewaarden, zoals het aantal vogels dat past bij de ecologische draagkracht van een intact ecosysteem, **beleidsmatige** referentiewaarden, zoals doelstellingen voor minimale populatieomvang. In bepaalde gevallen, zoals met de Natura-2000 instandhoudingsdoelstellingen, zijn deze in wetgeving verankerd en daarmee de facto **juridische** referentiewaarden. In andere gevallen is er geen sprake van een extern beoordelingskader, en kan enkel worden teruggerepen op de lange termijn dynamiek van de onderhavige variabelen. In de volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op referentietoestanden en -waarden.

2.3.1

SEEA referentiewaarden

De omrekening van (gemeten) variabelen naar dimensieloze indicatoren gebeurt door de variabelen te relateren aan een referentiewaarde. Dit is de waarde van de variabele die past bij de referentietoestand, en daarmee zinvol is om te gebruiken als maatlat¹⁹. De referentietoestand, of -staat, is een toestand van het ecosysteem die zinvol is om te gebruiken om

17 SEEA: "Ecosystem condition variables are quantitative metrics describing individual characteristics of an ecosystem asset" (UN et al., 2021; ¶5.41).

18 SEEA: "Ecosystem condition indicators are rescaled versions of ecosystem condition variables" (UN et al., 2021; ¶5.60).

19 SEEA: "A reference level is the value of a variable at the reference condition, against which it is meaningful to compare past, present or future measured values of the variable" (UN et al., 2021; ¶5.65).

heden, verleden en toekomst van het systeem te beoordelen²⁰. Bij voorkeur worden referentietoestand en -waarde zo gekozen dat indien het systeem zich in de referentietoestand bevindt de indicatoren een numerieke waarde van 1 of 100% hebben.

Zowel voor de toepassing in *SEEA* ecosysteemrekeningen, als voor de hier beschreven toepassing van de *SEEA-EA* methodologie voor de Staat van de natuur van de Waddenzee geldt dat de referentietoestand bij voorkeur gebaseerd is op ecologische principes, zoals integriteit, stabiliteit en veerkracht van het ecosysteem. Er kan dus het best wordt uitgegaan van een natuurlijke, ongestoorde toestand, rekening houdend met natuurlijke variabiliteit. Dit sluit ook aan bij het leidende principe voor de trilaterale samenwerking waarbij gestreefd wordt naar *'to achieve, as far as possible, a natural and sustainable ecosystem in which natural processes proceed in an undisturbed way'*²¹. In veel gevallen zal dat echter niet mogelijk zijn, en zal moeten worden uitgeweken naar alternatieve (beleidsmatige) referenties. In de praktijk is de grens tussen ecologische en beleidsmatige referentiewaardes echter minder scherp dan de termen doen denken. De discussie over de beste referentiewaarden wordt verder opgepakt in fase 2.

Op hoofdlijnen zijn er voor natuurlijke ecosystemen vier mogelijke referentietoestanden (*SEEA-EA*, Table 5.8):

- 1. De onverstoorte of minimaal verstoorte toestand** van een intact ecosysteem. Dat is met maximale integriteit en geen of minimale verstoringen.
- 2. Historische referentie.** De toestand van een ecosysteem op een bepaald punt of tijdvak in het verleden die verondersteld wordt geacht de stabiele natuurlijke toestand te representeren. Bijvoorbeeld het Holoceen (ongeveer 10.000 jaar geleden), pre-industrieel (tot 1850), voor of juist na de aanleg van de Afsluitdijk (1927-1932) of de periode voorafgaand aan de landbouwintensivering (tot 1950).
- 3. De minst verstoorte toestand.** Dit is de op dit moment best beschikbare toestand van een ecosysteem waarbij de minste verstoring plaatsvindt en plaats heeft gevonden.
- 4. Moderne toestand.** De toestand van het ecosysteem voor een specifiek tijdstip of -periode in het recente verleden, waar vergelijkbare data voor beschikbaar zijn.

Voor sterk antropogeen beïnvloede ecosystemen, waar de natuurlijke ecologische toestand niet (meer) haalbaar is en waar toekomstige interventies nodig zijn om het in een bepaalde toestand te houden, is referentietype #1 vanzelfsprekend niet van toepassing. Afhankelijk van de situatie en de (complexe) historische en ecologische context zijn referentietypen 2 t/m 4 dat wel. In aanvulling daarop kan er een vijfde type worden gedefinieerd:

- 5. Best haalbare toestand.** De ecologische toestand die verwacht kan worden onder de best mogelijke inrichting en beheer, waarbij een stabiele ecologische toestand behaald wordt. Hierbij dient naast ecologische haalbaarheid ook gekeken te worden naar haalbaarheid binnen juridische, sociaal-culturele en economische kaders.

20 SEEA: "A reference condition is the condition against which past, present and future ecosystem condition is compared to in order to measure relative change over time" (UN et al., 2021; ¶5.69).

21 <https://www.waddensea-secretariat.org/trilateral-wadden-sea-cooperation>

Het *SEEA-EA* suggereert acht verschillende methoden om deze typen van referentietoestanden te operationaliseren:

1. **Referentielocaties.** Dit zijn locaties waar de betrokken ecosystemen in niet of minimaal verstoorde toestand voorkomen.
2. **Gemodelleerde referentietoestand,** bijvoorbeeld op basis van habitatgeschiktheid of potentiële verspreiding.
3. **Statistische benadering,** gebaseerd op de (verdeling van) de data zelf, waarbij bijvoorbeeld extremen (minimum, maximum) of het gemiddelde gedurende een periode als referentie worden gebruikt.
4. **(Pre)historische observaties,** bij voorkeur uit een periode voor modernere verstoringen door de mens.
5. **Moderne data.** Hierbij wordt bijvoorbeeld het startjaar van monitoringsprogramma als (arbitraire) referentie gebruikt en per definitie op 100% gesteld.
6. **Vastgestelde niveau.** Dit kunnen natuurlijke basisniveaus zijn, zoals 0 voor kunstmatige stoffen, ecologische drempelwaardes, zoals de kritische depositiewaarde (KDW) voor stikstofdepositie, of anderszins formeel vastgestelde normen.
7. **Expertkennis.** Hierbij wordt op basis van domeinkennis en ervaring een referentietoestand gedefinieerd.
8. **Combinatie.** Hierbij worden elementen van bovenstaande benaderingen gecombineerd, bijvoorbeeld door expertkennis (7) statistisch te analyseren (3) met Bayesiaanse methoden.

Deze methoden voor operationalisering van referentietypen zijn steeds te combineren met één of meerdere van de eerder genoemde mogelijke referentietoestanden (Tabel 3).

De voorkeur gaat hierbij uit naar de eerste vier methoden, omdat deze het sterkst leunen op inzicht in de ecologische toestand onder de minst verstoorde omstandigheden. Het gebruik van de overige alternatieven (5 t/m 7) is in de praktijk echter vaak onontkoombaar, al is het maar omdat specifieke niveaus zijn vastgelegd in wetgeving. Voorbeelden daarvan zullen we tegenkomen in de volgende paragrafen die de rol van referenties in Natura 2000 en de Kaderrichtlijn Water beschrijven.

Referentietoestand		De onverstoorde of minimaal verstoorde toestand	Historische referentie	De minst verstoorde toestand	Moderne toestand	Best haalbare toestand
Methode	Referentielocaties	x	x	x	x	
	Gemodelleerde referentietoestand	x	x	x		
	Statistische benadering			x		
	(Pre)historische observaties		x			
	Moderne data				x	
	Vastgestelde niveau					x
	Expertkennis	x		x		x

Tabel 3. Mogelijke combinaties van referentietoestanden en methoden voor operationalisering (Bron: Table 5.9 in U.N. et al., 2021)

2.3.2

Natura 2000

Op Europese schaal worden de meeste waardevolle natuurgebieden beschermd onder de Vogel- en/of de Habitatrichtlijn. De Waddenzee is grotendeels beschermd onder beide richtlijnen m.u.v. een deel van de kustzone van het Eems estuarium (een deel van de Eemsmonding in het zogenaamde 'betwist gebied' dat alleen onder de Vogelrichtlijn valt)²².

Habitatrichtlijn

Onder de habitatrichtlijn is de Waddenzee beschermd op basis van 15 *habitat(sub)typen*, waarvan voor vier habitattypen de Waddenzee meer dan 50% van het totale areaal in Nederland huisvest (Tabel 4).

Habitatype	Subtype	Instandhoudingsdoelstelling		Relatieve bijdrage	
		Oppervlakte	Kwaliteit		
H1110	Permanent overstroomde zandbanken	A: getijdengebied	=	>	A4
H1130	Estuaria		=	>	A2
H1140	Slik- en zandplaten	A: getijdengebied	=	>	A4
H1310	Zilte pionierbegroeiingen	A: zeekraal	=	=	A3
		B: zeevetmuur	=	=	B2
H1320	Slijkgrasvelden		=	=	A2
H1330	Schorren en zilte graslanden	A: buitendijks	=	>	A3
		B: binnendijks	=	=	B1
H2110	Embryonale duinen		=	=	A1
H2120	Witte duinen		=	=	B2
H2130	Grijze duinen	A: kalkrijk	=	=	C
		B: kalkarm	=	>	B1
H2160	Duindoornstruwelen		=	=	C
H2170	Kruipwilgstruwelen		=	=	C
H2190	Vochtige duinvaleien	B: kalkrijk	=	=	C

Tabel 4. Habitattypen in Natura-2000 gebied Waddenzee. In de kolommen m.b.t. de Instandhoudingsdoelstelling betekent '=' een behoudsopgave en '>' een verbeteringsopgave. Kolom 'relatieve bijdrage' geeft de betekenis van het areaal ten opzichte van het landelijke totaal, welke loopt van C (<2%), B (2%–15%) tot A (>15%). Habitats waarvan de bijdrage van de Waddenzee in de hoogste categorieën valt, A3 (50%–75%) en A4 (>75%) zijn in geel aangegeven.

Voor de habitattypen gelden instandhoudingsdoelstelling in termen van oppervlakte en kwaliteit. Voor het habitatype H1110A: *Permanent overstroomde zandbanken (getijdengebied)* geldt bijvoorbeeld behoud van oppervlakte en verbetering van kwaliteit. Oppervlak wordt hierbij gemeten in hectares (0.01 km²), en behoud is ten opzichte van het oppervlakte tijdens de referentiedatum.

Voor Habitatrichtlijngebieden is de referentiedatum formeel het moment dat het gebied door de Europese Commissie is geplaatst op de lijst van gebieden van communautair belang. In de praktijk wordt in Nederland vaak niet het moment van ‘aanmelden’ (voor de Waddenzee was dit 7 december 2004²³) gebruikt, maar het moment van aanwijzing (vaak jaren later)²⁴. In november 2022 is het habitatype *H2170* via een wijzigingsbesluit toegevoegd.

Kwaliteit wordt gemeten op een aantal aspecten: *vegetatietype*; het voorkomen van *typische soorten*, *abiotische randvoorwaarden* en *overige kenmerken van structuur en functie*. Nemen we weer habitatype *H1110A* als voorbeeld, dan is het kenmerk *vegetatie* niet van toepassing. De (gunstige) abiotische randvoorwaarden voor dit habitatype is een *zwak-eutrofe* tot *eutrofe* voedselrijkdom; een *sterk brak* tot *zout* zoutgehalte; een dynamiek die beperkt is tot *incidenteel hoogdynamisch*, en *troebel* tot *matig helder* water.

Het kwaliteitskenmerk *typische soorten* betreft het aantal en de verspreiding van een aantal soorten die gezamenlijk een goede kwaliteitsindicator vormen voor de (compleetheid van de) levensgemeenschap van het habitatype. De *karakteristieke* soorten zijn daarbij soorten waarvan de ecologische vereisten vooral voorkomen in het betreffende habitatype: de soort komt vrijwel alleen voor binnen het habitatype, maar niet per se altijd en overal, en zelden erbuiten. Voor het voorbeeldhabitat *H1110A* zijn dit 19 soorten verdeeld over drie soortgroepen (Tabel 5).

Soortgroep	Soort		Indicatie
Borstelwormen	Zandzager	<i>Nephtys hombergii</i>	A
	Groene zeeduizendpoot	<i>Alitta virens</i>	A
		<i>Spio martinensis</i>	A
	Schelpkokerworm	<i>Lanice conchilega</i>	A
Vissen	Harnasmannetje	<i>Agonus cataphractus</i>	A
	Vijfdradige meun	<i>Ciliata mustela</i>	AB
	Haring	<i>Clupea harengus</i>	AB
	Schar	<i>Limanda limanda</i>	AB
	Slakdolf	<i>Liparis liparis</i>	AB
	Gewone zeedonderpad	<i>Myoxocephalus scorpius</i>	AB
	Botervis	<i>Pholis gunnellus</i>	ABK
	Bot	<i>Platichthys flesus</i>	AB
Weekdieren	Schol	<i>Pleuronectes platessa</i>	AB
	Puitaal	<i>Zoarces viviparus</i>	AB
	Wulck	<i>Buccinum undatum</i>	AB
	Nonnetje	<i>Macoma balthica</i>	AB
	Strandgaper	<i>Mya arenaria</i>	AB
	Mossel	<i>Mytilus edulis</i>	AB
	Kokkel	<i>Cerastoderma edule</i>	AB

Tabel 5. “Typische soorten” (volgens de N2000 systematiek) voor habitat ‘H1110A: Permanent overstroomde zandbanken (getijdengebied)’. Soorten kunnen indicatief zijn voor de abiotische toestand (A) of de biotische structuur (B). K geeft een “karakteristieke soort” voor dit habitatype aan.

23 https://www.ecologischeautoriteit.nl/docs/mer/p50/p5095/5095_advies_natuurdoelanalyse.pdf

24 <https://www.ecologischeautoriteit.nl/adviezen/5133>

Naast de habitattypes is de Waddenzee aangewezen onder de habitatrichtlijn vanwege de aanwezigheid van negen *habitatrichtlijnsoorten* (Tabel 6). De soorten H1340 Noordse woelmuis, H1351 Bruinvis en H1903 Groenknolorchis zijn pas met het Wijzigingsbesluit van november 2022 toegevoegd. Van deze negen soorten hebben er twee, namelijk de gewone en de grijze zeehond, een zeer groot nationaal belang omdat van deze zeehonden 50%–75% van hun populaties in de Waddenzee voorkomen. Voor alle habitatrichtlijnsoorten wordt de instandhoudingsdoelstelling beoordeeld op basis van verspreiding, populatie, leefgebied en toekomstperspectief.

Soort		Instandhoudingsdoelstelling		Relatieve bijdrage	
		Populatie	Leefgebied		
			Omvang	Kwaliteit	
H1014	Nauwe korfslak	=	=	=	C
H1095	Zeeprrik	>	=	=	B1
H1099	Rivierprrik	>	=	=	B1
H1103	Fint	>	=	=	A1
H1340	Noordse woelmuis	=	=	=	C
H1351	Bruinvis	=	=	=	C
H1364	Grijze zeehond	=	=	=	A3
H1365	Gewone zeehond	>	=	=	A3
H1903	Groenknolorchis	=	=	=	C

Tabel 6. Habitatrichtlijnsoorten waarvoor de Waddenzee is aangewezen. In de kolommen m.b.t. de Instandhoudingsdoelstelling betekent ‘=’ een behoudsopgave en ‘>’ een verbeteringsopgave. Kolom ‘relatieve bijdrage’ geeft de betekenis van de populatie ten opzichte van het landelijk totaal, welke loopt van C (<2%), B (2%–15%) tot A (>15%). Soorten waarvan de bijdrage van de Waddenzee in de hoogste categorieën valt, A3 (50%–75%) en A4 (>75%) zijn in geel aangegeven.

Vogelrichtlijn

Naast een aanwijzing onder de habitatrichtlijn is de Waddenzee ook aangewezen onder de Vogelrichtlijn. Voor doelen onder de Vogelrichtlijn geldt 8 november 1991 als referentiedatum. Hierbij worden twee groepen vogels onderscheiden: broedvogels en niet-broedvogels. Voor beide groepen zijn instandhoudingsdoelstellingen geformuleerd in termen van aantallen broedparen voor broedvogels en aantal individuen voor niet-broedvogels (Tabel 12).

Voor zowel habitattypen als soorten gelden verder op landelijke schaal zogenaamde *Favourable Reference Values* (FRV), voor verspreidingsgebied (*range*, FRR), oppervlak (*area*, FRA) en voor soorten voor verspreidingsgebied (*range*, FRR) en populatie (*population size*, FRP). Deze aanpak lijkt nog niet ver uitgewerkt, er ligt wel een voorstel voor Nederlandse waarden voor FRP, FRR en FRH voor de Brandgans²⁵.

25 <https://www.bij12.nl/wp-content/uploads/2023/11/Notitie-advies-Favourable-Reference-Values-voor-brandganzen.pdf>

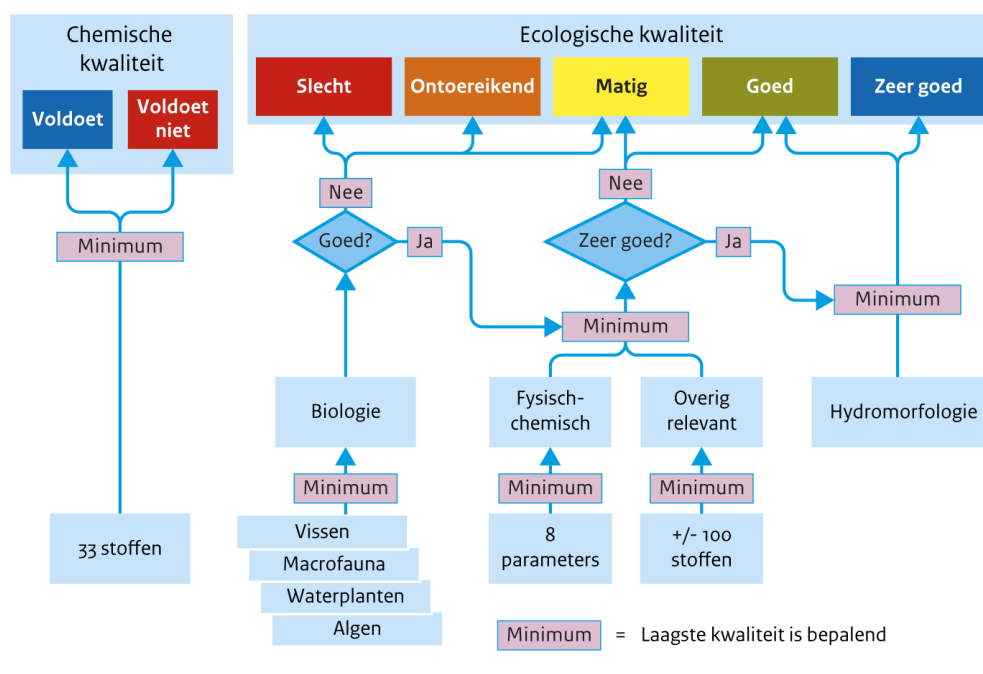
2.3.3

Kaderrichtlijn Water

In de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) is het beleid voor de beoordeling van de kwaliteit van het oppervlakte- en grondwater in Europa vastgelegd. In de KRW is een methode ontwikkeld om deze kwaliteit te beoordelen. Hiervoor is een hiërarchisch stelsel van beoordelingen ontwikkeld die op het hoogste niveau onderscheid maken tussen chemische en ecologische kwaliteit. De ecologische kwaliteit is op haar beurt opgebouwd uit een aantal deelbeoordelingen voor o.a. biologie, fysisch-chemisch en hydromorfologie (Figuur 3).

Figuur 3. Beoordelings-schema waterkwaliteit volgens de Kaderrichtlijn Water (Bron: CBS et al., 2024)

Beoordeling waterkwaliteit volgens Kaderrichtlijn Water



Waterkwaliteit wordt binnen het KRW raamwerk gerapporteerd per waterlichaam, die elk geclassificeerd zijn volgens een typologie die onderscheid maakt tussen natuurlijke, sterk veranderde en kunstmatige waterlichamen. Ten behoeve van de KRW wordt de Waddenzee in bredere zin opgedeeld in drie natuurlijke waterlichamen:

- › **Eems-Dollard**, van het type O2 (*Estuarium met matig getijverschil*)
- › **Eems-Dollard Kust**, van het type K1 (*Kustwater, open en polyhalien*)
- › **Waddenzee**, van het type K2 (*Kustwater, beschermt en polyhalien*)

Voor elk natuurlijk waterlichaam zijn referenties en maatlatten ontwikkeld (STOWA, 2018). Hierbij zijn naast een algemene karakterisering in termen van geografie, hydrologie, structuren, chemie en biologie een aantal, veelal numerieke, referentiewaarden gegeven voor abundantie van fytoplankton, oppervlakte en kwaliteit van kwelders en zeegras, macrofauna, vis, fysisch-chemische kwaliteit (temperatuur, zuurstofgehalte, nutriënten) en hydromorfologie.

2.3.4

Overige referentiewaarden

OSPAR

De OSPAR conventie is in 1992 opgericht om de mariene regio's van de Noordoostelijke Atlantische oceaan te beschermen, en het doel is 'a clean, healthy, and biologically diverse North-East Atlantic Ocean which is productive, used sustainably and resilient to climate change and ocean acidification'²⁶.

Ongeveer iedere tien jaar wordt er daarom ook het *OSPAR Quality Status Report* gepubliceerd om de status van de Noordoostelijke Atlantische oceaan te evalueren, waarbij er o.a. gekeken wordt naar biodiversiteit, het effect van menselijke activiteiten, en klimaatsverandering.

Voor het beoordelen van de status wordt er gebruik gemaakt van diverse methodes, waaronder de *Ecological Quality Scaled Ratio* (EQRS; zie paragraaf 3.1.3). Dit is een methode om observaties tegen een referentiewaarde te toetsen en deze te schalen tussen 0 ('worst case') tot 1 ('best case'), waarbij er vijf kwaliteitsoordelen vastzitten aan elke 0,2 grens (zie Tabel 9).

Deze methode of een variant hierop wordt gebruikt voor fytoplankton, vogels, en watertemperatuur. Het voordeel van deze methode is dat waardes van verschillende indicatoren ook eenvoudig te aggregeren zijn.

Verder worden er in OSPAR ook referentiewaarden gedefinieerd en gebruikt voor fytoplankton (chlorofyl-a). Deze worden hier ook gebruikt naast referentiewaarden uit de KRW.

BISI

Voor bodemdieren in de Noordzee is in 2017 de Benthische Indicator Soorten Index (BISI) ontwikkeld (Wijnhoven en Bos, 2017). Deze index is indicatief voor de kwaliteit en het ecologisch functioneren van de bodem op basis van aantallen van specifieke soorten schelpdieren (benthos). Met behulp van deze methode kunnen op basis de aantallen schelpdieren referentiewaarden vastgesteld worden en is er raamwerk om deze te toetsen.

2.4

Aggregatie

Het doel van aggregatie van indicatoren is om een *algemeen* beeld te schetsen van het onderhavige systeem. Hoe gaat het met "de" natuur van de Waddenzee? Het algemene principe dat hierbij wordt gehanteerd is het combineren van de veelvoud van afzonderlijke indicatoren tot een kleinere set van samengestelde indicatoren, en tenslotte één enkele hoofdindicator, die "*De Staat van de Waddenzee Natuur*" representeert.

Bij de hier voorgestelde methodiek wordt primair voortgebouwd op de methodiek zoals gebruik in de *SEEA-EA condition account*, waarbij de afzonderlijke variabelen eerst met behulp van referentiewaarden genormaliseerd worden op een onderling vergelijkbare schaal (bijvoorbeeld van 0 tot 100), en vervolgens groepsgewijs worden gemiddeld tot een samengestelde indicator. Binnen de context van de *SEEA-EA condition account* en de bijbehorende typologie (paragraaf 2.2.2) gebeurt dit groeperen hiërarchisch. Dus bijvoorbeeld eerst een samengestelde indicator voor alle variabelen die voor biotisch functioneren (B3) zijn geselecteerd, vervolgens een samengesteld biotische indicator (gemiddelde van B1, B2, B3) en uiteindelijk een algehele *condition* indicator.

In een recent, terrestrisch, voorbeeld (Maes *et al.*, 2033) wordt de kwaliteit van bos-ecosystemen in geheel Europa bepaald door middel van zeven indicatoren die het hele spectrum van de SEEA Ecosystem Condition Typology (paragraaf 2.2.2) bestrijken: vochtgehalte van de vegetatie, bodem organisch materiaal, soortenrijkdom aan bedreigde bosvogels, boomkronendichtheid, primaire productie, connectiviteit en natuurlijkheid. Elke indicator wordt geschaald binnen een referentie-bereik.

Deze indicatoren worden vervolgens geaggregeerd in een enkele *overall index* door middel van gewogen rekenkundige middeling. In de studie van Maes *et al.* (2023) is de weging op basis van hun relatieve belang voor het beoordelen van de totale kwaliteit van het ecosysteem. Hierbij worden de indicatoren gescoord op vijf criteria (relevantie voor ecologische integriteit, instrumentele waarde, eenduidige interpreteerbaarheid, relatie tot antropogene drukfactoren, en conformiteit met het SEEA raamwerk), waarbij de meest relevante variabele per criterium 7 punten krijgt, en de minst relevante 1 punt. Dit op basis van *expert-judgement*. De weegfactoren reflecteren vervolgens het totaal aantal punten per variabele.

Alternatieve methodes die gesuggereerd worden door Maes *et al.* (2023) zijn ongewogen middeling en weging op basis van voorkeuren van stakeholders. Een mogelijk voordeel van deze laatste methode zou kunnen zijn dat ze de diversiteit in waardepatronen en tussen de afzonderlijke stakeholders zichtbaar kunnen maken in de aggregatie. Dit kan een bijdrage vormen aan de legitimiteit van het aggregatieproces (Cash *et al.*, 2003).

Naast rekenkundig middelen, wat de meest gebruikte methode is voor generieke milieuconditie variabelen, wordt er specifiek voor abundantie of verspreiding van biota geregeld gebruik gemaakt van meetkundige middeling. Bij deze vorm van middelen kan een verdubbeling van aantallen in één soort een halvering in een andere soort compenseren. Deze vorm van middeling sluit dus aan bij het exponentiele karakter van populatiedynamica (van Strien *et al.*, 2012).

2.4.1

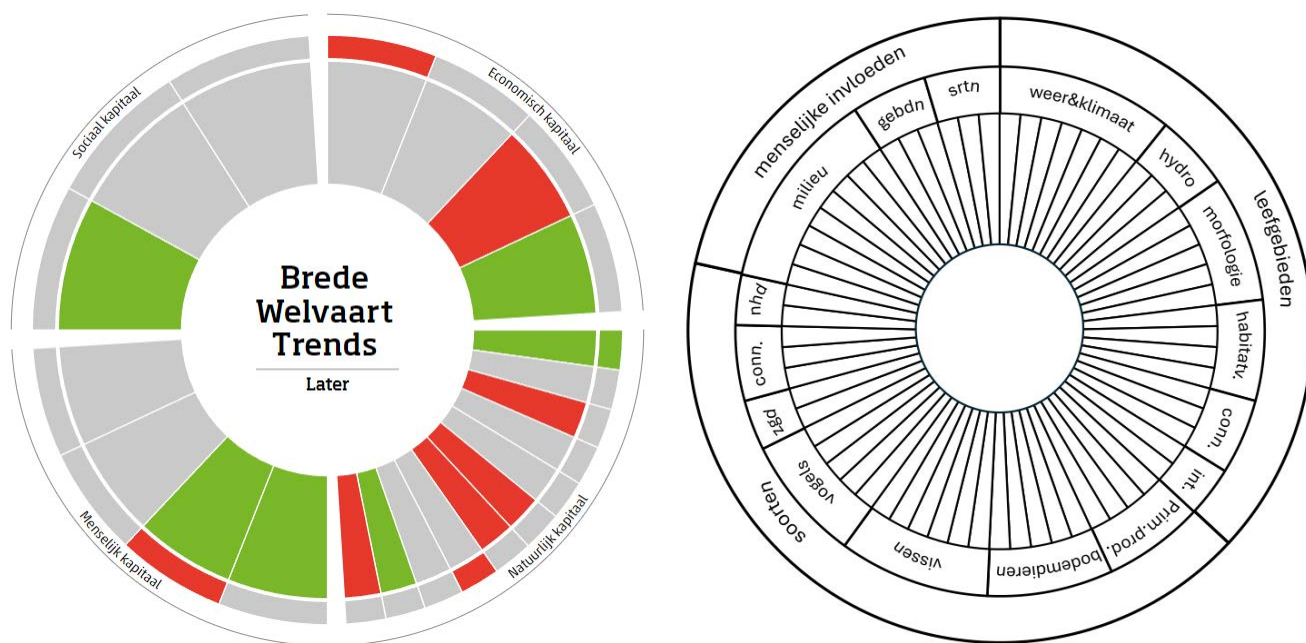
Aanpak in de ‘Staat’

Voor de Staat van de natuur van de Waddenzee zal vooralsnog gebruik gemaakt gaan worden van hiërarchische aggregatie volgens de structuur van het voorgestelde indicator-raamwerk (Tabel 2). Binnen de afzonderlijke aspecten die gebaseerd zijn op biota, *en waarbij met aantal is gerekend i.p.v. biomassa*, zal waar van toepassing gebruik worden gemaakt van meetkundige middeling. In alle overige gevallen zal gebruik worden gemaakt van rekenkundige middeling.

Nut en noodzaak van weging bij dit aggregatieschema zal nader worden onderzocht (fases 2 en 3).

Voor wat betreft de presentatie van deze hiërarchische benadering van het aggregatieproces zal worden aangesloten bij de vorm van de wielen, zoals die gebruik worden in de presentatie van de Monitor Brede Welvaart van het CBS²⁷.

27 <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/monitor-brede-welvaart-en-de-sustainable-development-goals>
<https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/monitor-brede-welvaart-en-de-sustainable-development-goals/latere-samenvatting>



Figuur 4. Voorstel voor visualisatie van de Staat van de Waddenzee (rechts) naar voorbeeld van de Monitor Brede Welvaart (links)

In deze eerste fase van de Staat is deze vorm (maar dan rechthoekig i.p.v. rond a.g.v. het nog beperkt aantal indicatoren) als voorbeeld voor vogels geïllustreerd (paragraaf 3.2.5).

3. Indicatoren

In dit hoofdstuk worden de indicatoren van Fase 1 van de Staat uitgewerkt. Achtereenvolgens worden behandeld: fytoplankton, vogels, schelpdieren, en watertemperatuur. Voor al deze indicatoren waren ten tijde van de statistische analyses voldoende data beschikbaar om de berekeningen uit te voeren, en kon gebruik gemaakt van verschillende typen referentiewaarden (van N2000 instandhoudingsdoelstellingen voor vogels tot historische waarden voor watertemperatuur). In het geval dat er verschillende typen referentiewaarden beschikbaar zijn (bijv. KRW en OSPAR voor fytoplankton) zijn deze beide doorgerekend om te onderzoeken wat dit voor gevolgen heeft voor de bepaling van de toestand.

3.1 Fytoplankton

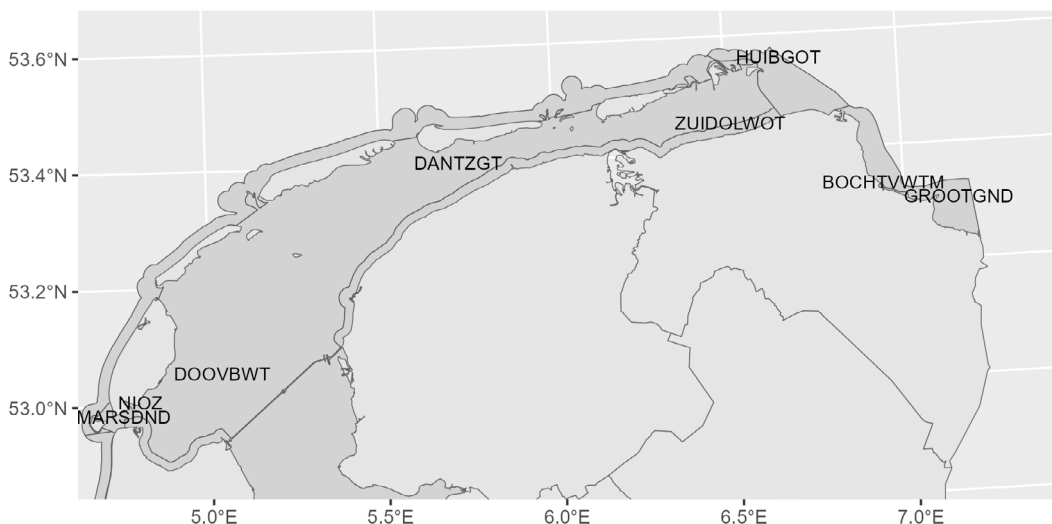
3.1.1 Dataselectie

Chlorofyl-a (chl-a) concentraties (gerapporteerd in $\mu\text{g L}^{-1}$) zijn gebruikt als indicator voor de abundantie (biomassa) van fytoplankton in de Waddenzee. De meetwaarden zijn afkomstig uit twee monitoringsprogramma's met een verschillende temporele en ruimtelijke dekking.

Zo zijn er *in situ* chl-a metingen uitgevoerd door Rijkswaterstaat (in het kader van het programma Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands, MWTL) vanaf 1990 tot en met 2021. Deze liggen verspreid over acht locaties in de Waddenzee en zijn ongeveer 1-2 maal per maand bemonsterd (Figuur 5). De frequentie van metingen per station varieert zowel tussen de jaren als binnen het jaar (in het groeiseizoen van maart tot en met september soms een meetpunt wel twee tot vier keer per maand bemonsterd kan worden). Monitoring van station Zuid Oost Lauwers Oost (ZUIDOLWOT) is gestopt in 2010.

Het NIOZ bemonstert *in situ* chl-a vanaf 1974 (vanaf station NIOZ; Figuur 5), ongeveer 40 keer per jaar, maar ook hier zitten wat onderbrekingen in de data (data voor 2009 is niet beschikbaar). Net als bij de MWTL bemonsteringen is ook hier de bemonsteringsfrequentie in het groeiseizoen hoger dan daarbuiten. De nu gebruikte datareeks loopt tot 2020.

Figuur 5. Chlorofyl-a monsterpunten in de Waddenzee. Station NIOZ wordt 40 maal per jaar bemonsterd vanaf 1974. De overige (MWTL) meetstations zijn 2 tot 25 maal per jaar bemonsterd tussen 1990 en 2021.



Om tot jaarcijfers te komen wordt doorgaans gekeken naar de metingen in het groeiseizoen (maart tot en met september), zo ook in onderstaande berekeningen.

De frequentie waarmee er *in situ* monsters zijn genomen is relatief laag (gemiddeld 1-2 per maand voor RWS monitoring), aangezien fytoplankton biomassa snel kan veranderen (pieken kunnen slechts enkele dagen duren). Daardoor kan het zijn dat er soms wel en soms niet de jaarlijkse algenbloeien meegenomen worden in de metingen, wat een vertekend beeld kan geven van de werkelijke gemiddelde chl-a waarden over het seizoen, en daarmee ruis veroorzaakt bij het berekenen van de meerjarige trends.

Een oplossing hiervoor is om niet naar de gemiddelde waarden tijdens het groeiseizoen maar naar de 90^e percentiel waarden te kijken^{28,29}, maar het 90^e percentiel is meer afhankelijk van de meetfrequentie en minder stabiel dan het gemiddelde over het seizoen. In de recente OSPAR beoordelingen wordt daarom ook gesuggereerd om gemiddelde chl-a waarden te gebruiken, maar in de Kaderrichtlijn Water (KRW) wordt voor het type kustwateren waar de Waddenzee onder valt nog altijd de 90^e percentiel referentiewaarden gebruikt. Om OSPAR en KRW referentiewaarden te gebruiken worden hier zowel gemiddelde als 90^e percentiel chl-a jaarlijkse groeiseizoencijfers berekend.

3.1.2

Trend berekening

Methode

Om te bepalen of chl-a in de verschillende monsterpunten is toe- of afgenomen door de jaren hebben we eerst van de maandcijfers in het groeiseizoen indexcijfers per jaar gemaakt met behulp van *rtrim* (zie paragraaf 2.1). Dit is per monsterpunt gedaan vanaf 1990 om de waarden te normaliseren. Om de verandering in chl-a door de tijd te bepalen is een lineaire regressie op de log-getransformeerde indexcijfers toegepast voor de hele periode (1990-2021) en voor een meer recente periode (2010-2021).

Indexcijfers van de afzonderlijke monsterpunten zijn ook nog gecombineerd tot één index vanaf 1990, om een beter beeld te krijgen van de veranderingen in chl-a gehalte in de gehele Waddenzee.

Resultaten

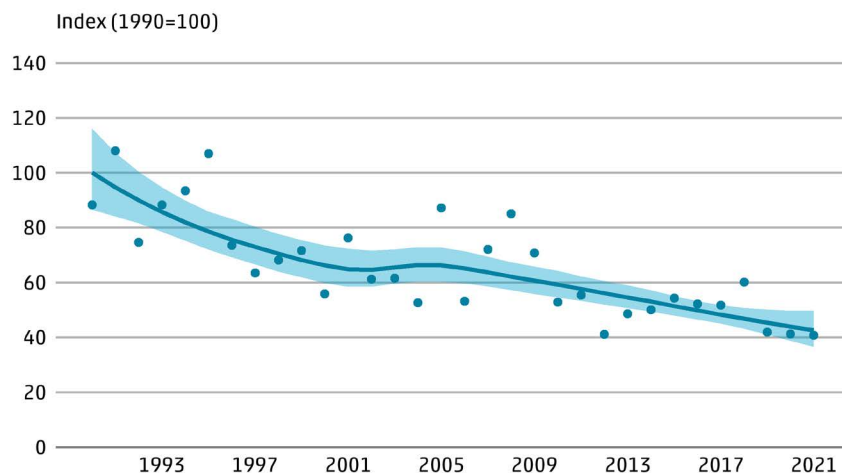
Vanaf 1990 is er een significante matige afname voor alle monsterpunten samen (Figuur 6), met een gemiddelde afname in de index van 2,3% per jaar. In alle monsterpunten afzonderlijk is over het algemeen ook een matige afname van de index (tussen de 0 en 5%) te zien sinds 1990, behalve in Dantziggat en het NIOZ monsterpunt waar er geen significante verandering plaatsvond (Tabel 7).

In de meer recente periode, tussen 2010 en 2021, is er ook een afname in de index rond de 1,5% per jaar zichtbaar, al valt deze verandering door de grote variatie in jaarlijkse data (SE) wel in de trendklasse stabiel (en is die afname dus niet statistisch significant). In de afzonderlijke punten is over het algemeen ook een afname te zien, behalve in Huibertgat Oost, maar door de hogere onzekerheid (SE) van de trend is deze alleen significant in Dantziggat (Tabel 7).

28 STOWA referenties en maatlatten, Alternburg et al. (2018) (rapport)

29 OSPAR agreement, Devlin et al. (2022) (document)

Figuur 6. Jaarlijkse indexcijfers (blauwe punten), trend (blauwe lijn) en 95% betrouwbaarheidsinterval van de trend (blauw vlak) van chlorofyl-a concentraties ($\mu\text{g L}^{-1}$; log-getransformeerd) tijdens het groeiseizoen (mrt-okt) in de periode 1990-2021 op basis van zes MWTL stations en het NIOZ station in de Nederlandse Waddenzee (zie Tabel 7).



Tabel 7. Trendresultaten van chlorophyl-a (in $\mu\text{g L}^{-1}$ per jaar; geïndexeerd en log-getransformeerd) per monsterpunt over de periodes 1990-2021 en 2010-2021 (zie Tabel 2 voor definities trendklassen).

Monsterpunt	Trend			Vanaf 2010			
	1990-2021						
Bocht van Watum	-4,9%	±	0,98%	Matige afname	-1,4%	± 4,31%	Onzeker
Dantziggat	+0,3%	±	0,78%	Stabiel	-4,1%	± 2,74%	Matige afname
Doove balg west	-3,5%	±	1,18%	Matige afname	-2,3%	± 4,31%	Onzeker
Groote gat noord	-2,0%	±	0,78%	Matige afname	-0,8%	± 3,33%	Stabiel
Huibertgat oost	-1,7%	±	0,78%	Matige afname	+2,5%	± 4,31%	Onzeker
Marsdiep noord	-2,2%	±	0,78%	Matige afname	-2,0%	± 3,33%	Onzeker
NIOZ	-0,5%	±	0,98%	Stabiel	-1,9%	± 5,29%	Onzeker

3.1.3

Referentiewaarden

Inleiding

Uit de richtlijnen van de KRW en OSPAR kunnen verschillende referentiewaarden omtrent chl-a worden ontleend voor de Waddenzee, welke getoetst kunnen worden tegen de jaarlijkse chl-a waarden binnen het groeiseizoen om zo een indicatie te geven over de ontwikkeling en de huidige waarde van de 'staat' van het fytoplankton.

Vastgesteld niveau (KRW) De referentiewaarden die in de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) gehanteerd worden zijn specifiek voor de Waddenzee, en zijn zelfs opgesplitst in een referentiewaarde van $14,4 \mu\text{g L}^{-1}$ voor de Waddenzee, en $10,13 \mu\text{g L}^{-1}$ voor het gebied voor de kust van Eems-Dollard (Tabel 8; 90^e percentielwaarde binnen het groeiseizoen).

Historische referentie (OSPAR) De referentiewaarden in het nieuwe internationale OSPAR rapport zijn gebaseerd op historische waarden (voor de eutrofiering, Nederland heeft hierbij 1930 als referentiejaar genomen) en aan de hand van historische nutriëntgegevens (aanvoer van stikstof en fosfaat via de rivieren) geschat³⁰. In deze nieuwe schatting is de Waddenzee niet specifiek meegenomen, maar de waarden van aangrenzende kustgebied-

den van de Noordzee kunnen wel een indicatie geven. Zo liggen de historische waarden voor de RHPM (Rijn pluim) en EMPM (Eems pluim) in de Noordzee tussen de 5,9 en 8 $\mu\text{g chl-a L}^{-1}$ voor scenario 1 (gebaseerd op toevoer van stikstof en fosfaat), en tussen de 5,3 en 6,9 $\mu\text{g chl-a L}^{-1}$ voor scenario 2 (alleen gebaseerd op de toevoer van fosfaat). Omdat de chl-a waarden in de Waddenzee over het algemeen hoger liggen dan die in de Noordzee hebben we de bovengrens van een referentiewaarde van 8 $\mu\text{g L}^{-1}$ gebruikt in onze berekeningen (Tabel 8; gemiddelde waarde binnen het groeiseizoen).

Waarde	Referentiekader	Referentiewaarde (Good/Moderate grens)	Geschaald bereik
0,9 percentiel	KRW	14,4/10,13 $\mu\text{g L}^{-1}$	0-1
gemiddelde	OSPAR1900	8 $\mu\text{g L}^{-1}$	0-1

Tabel 8. Overzicht gebruikte referentiewaarden voor chlorofyl-a concentraties (mg L^{-1}) in de Waddenzee op basis van vastgestelde niveaus (KRW) en historische waarden (OSPAR).

Berekeningen OSPAR

Het toetsen van de chl-a jaarcijfers tegen de referentiewaarden gaat op dezelfde manier zoals in het OSPAR Quality Status rapport, waarbij de Ecological Quality Scaled Ratio (EQRS) wordt berekend (Figuur 7). Deze loopt van 0 ('worst case') tot 1 ('best case') en wordt berekend door de referentiewaarde te delen door de gemeten waarden²⁶. Is de gemeten waarde kleiner dan de referentiewaarde (en de ratio dus > 1) wordt dit getal in de EQRS een 1, wat een goede status (= lage concentratie) van de chl-a waarde betekend.

De EQR grenzen worden berekend door de gemiddelde concentratie van de metingen aan chl-a in het groeiseizoen (maart-sept) te delen door de referentiewaarde van 8 $\mu\text{g L}^{-1}$. De EQR grenzen voor de uitkomsten van dergelijke ratio's zijn als volgt: High/Good: 0,808; Good/Moderate: 0,666; Moderate/Poor: 0,525; Poor/Bad: 0,383 (zie stap 3 in Figuur 7). Teruggerekend liggen de grenzen in chlorofyl-a concentraties tussen de beoordelingsklassen volgens deze systematiek en bij deze referentiewaarde dan op respectievelijk 9,90 (=8/0,808) $\mu\text{g chl-a L}^{-1}$, 12,01 $\mu\text{g chl-a L}^{-1}$, 15,24 $\mu\text{g chl-a L}^{-1}$ en 20,89 $\mu\text{g chl-a L}^{-1}$.

Vervolgens worden de waarden van de EQR geschaald naar EQRS zodat de uiteindelijke getallen allemaal tussen 0 en 1 liggen. De EQRS grenzen zijn $0 < \text{Bad} < 0,2 < \text{Poor} < 0,4 < \text{Moderate} < 0,6 < \text{Good} < 0,8 < \text{High} < 1,0$. De berekening van de EQRS voor elk jaar wordt dan als volgt berekend:

$$\text{EQRS} = (\text{EQR} - \text{EQR}_{\text{lo}}) \star (\text{EQRS}_{\text{hi}} - \text{EQRS}_{\text{lo}}) / (\text{EQR}_{\text{hi}} - \text{EQR}_{\text{lo}}) + \text{EQRS}_{\text{lo}} \text{ grens}$$

Waarbij $\text{EQR}(S)_{\text{lo}}$ en $\text{EQR}(S)_{\text{hi}}$ de laagste, respectievelijk hoogste grens van de $\text{EQR}(S)$ zijn.

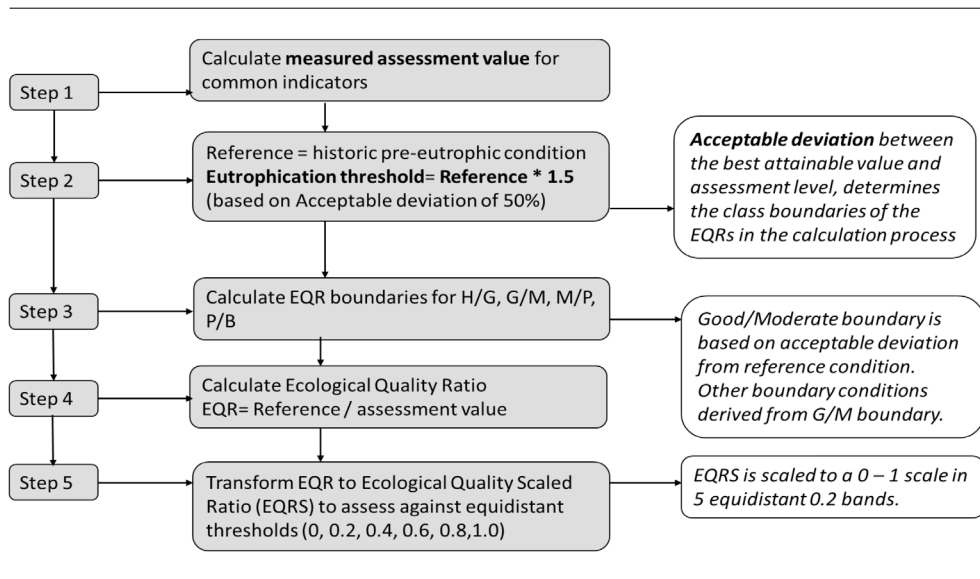
Als we (als voorbeeld) een gemiddelde concentratie van 14,5 $\mu\text{g L}^{-1}$ nemen en de referentiewaarde vanuit OSPAR van 8 $\mu\text{g L}^{-1}$:

$$8 / 14,5 = 0,55 \text{ (EQR)}$$

Een EQR van 0,55 valt tussen de 0,666 Good/Moderate grens (hoogste grens) en de 0,525 Moderate/Poor grens, deze wordt als volgt geschaald:

$$(0,55 - 0,525) \star (0,6 - 0,4) / (0,666 - 0,525) + 0,4 = 0,44 \text{ (EQRS)}$$

Figuur 7. Stapsgewijze berekening van EQRS volgens OSPAR.



Berekeningen KRW

De berekening van de EQRS op basis van de KRW referentiewaarden gaat op een vergelijkbare manier. Hierbij zijn de grenswaarden voor de EQRS al gedefinieerd en kan de tussenstap met de EQR berekening dus worden overgeslagen (Tabel 9). Ook zijn de referentiewaarden gebaseerd op de 90^e percentiel chl-a waarden in plaats van gemiddelden.

Tabel 9. Chlorofyl-a concentraties die de EQRS grenzen definiëren van de Waddenzee (watertype K2) en de Eems-Dollard (watertype O2) volgens de KRW in $\mu\text{g L}^{-1}$.

EQSR grenzen	Type kustwater	
	K2	O2
High	1	4,50
Good	0,8	6,75
Moderate	0,6	10,13**
Poor	0,4	20,26
Bad	0,2	40,52
	0	81,04

* Nederland is nog in overleg met de EU om deze waarden aan te passen. Uitslag daarvan werd verwacht eind 2018. Mogelijk dat dan de klassegrens voor good/moderate wordt aangepast van 14,4 naar 21 $\mu\text{g chl-a L}^{-1}$.

** Nederland is nog in overleg met de EU om deze waarden aan te passen. Uitslag daarvan werd verwacht eind 2018. Mogelijk dat dan de klassegrens voor good/moderate wordt aangepast van 10,13 naar 15 $\mu\text{g chl-a L}^{-1}$.

Drie monsterpunten van RWS (BOCHTVWTM, HUIBGOT & GROOTGND; Figuur 5) liggen in het Eems-Dollard kustgebied, de berekening en schaling zijn daarom per monsterpunt apart gedaan, en hiervan is per weer de gemiddelde indicatorwaarde berekend.

De berekening voor de KRW ziet er als volgt uit:

$$\text{EQRS} = (q_{0,9} - \text{laagste_grenswaarde}) / (\text{hoogste_grenswaarde} - \text{laagste_grenswaarde}) \\ * (\text{hoogste_grens} - \text{laagste_grens}) + \text{laagste_grens}$$

Resultaten

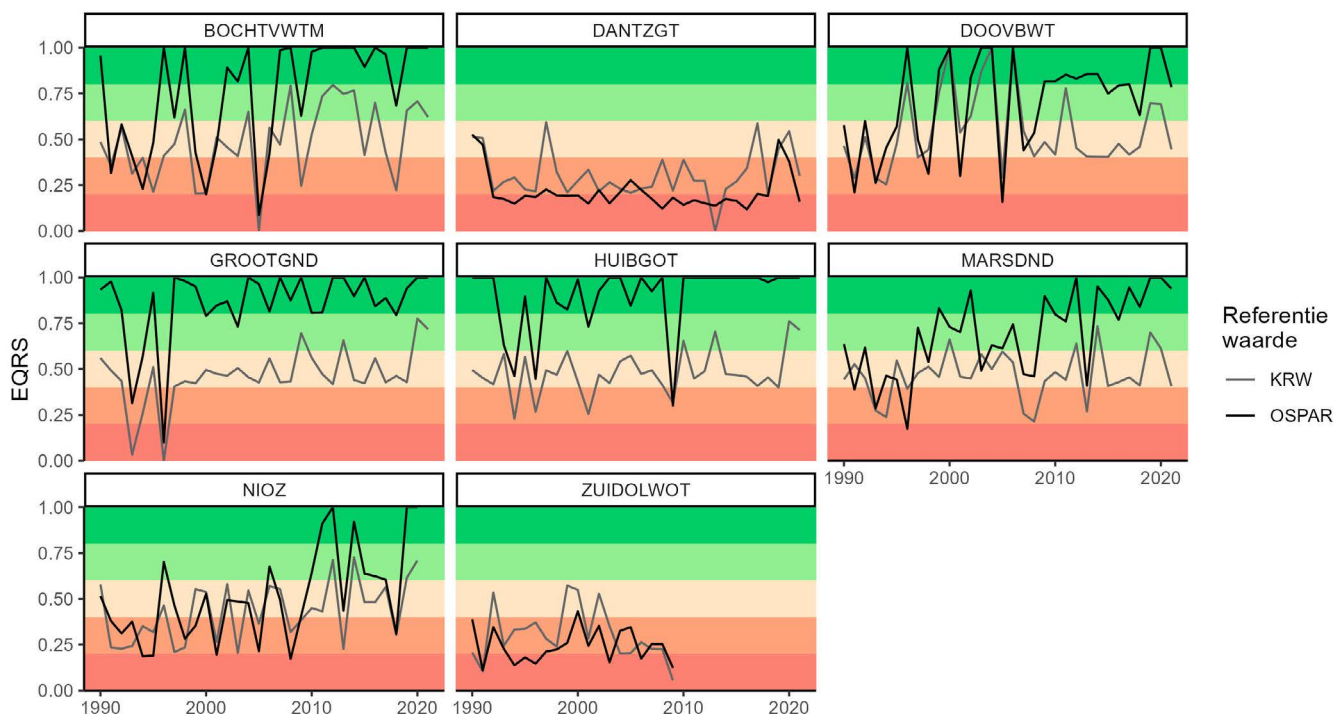
Wat betreft de ruimtelijke verschillen liggen de beoordelingen van de waterkwaliteit op basis van de chlorofyl-a concentraties bij Dantziggat en Zuid Oost Lauwers Oost lager dan voor de andere meetstations die meer naar het westen of naar het oosten liggen (Figuur 8).

De stations in het Eems estuarium (BOCHTVWTM, HUIBGOT & GROOTGND) hebben i.h.a. hogere waarden voor OSPAR dan voor KRW, waarschijnlijk als gevolg van het verschil in drempelwaarden ($12 \mu\text{g chl-a L}^{-1}$ voor OSPAR vs. $10,13 \mu\text{g chl-a L}^{-1}$ voor de KRW; Figuur 8). Voor de Waddenzee liggen deze drempelwaarden voor OSPAR juist lager dan die voor de KRW (12 versus $14,40 \mu\text{g chl-a L}^{-1}$). Verder kunnen de verschillen in beoordeling ook het gevolg zijn van het gebruik van gemiddelden (KRW) versus 90^e percentiel (OSPAR).

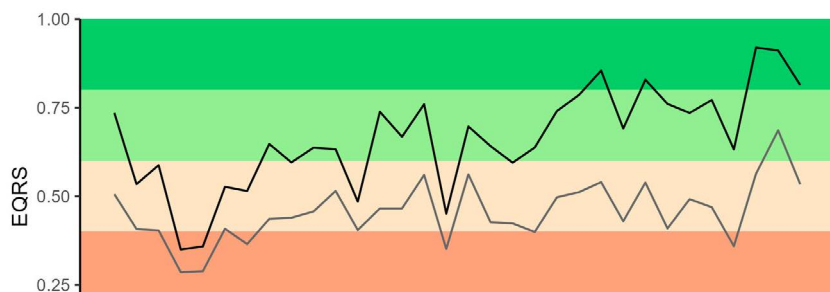
Volgens de KRW beoordeling hadden de meeste jaren tussen 1990 en 2021 gemiddeld genomen een 'moderate' status, behalve 1993, 1994, 2005, 2007, en 2009 met een 'poor' status, en alleen 2020 heeft een 'good' status (Figuur 9). Ook is er volgens deze beoordeling geen significante verandering in de tijd te zien. Daarentegen nam de EQRS van het chl-a volgens de OSPAR beoordeling toe met de jaren (met 0,01 per jaar; $P < 0,001$), en is er vanaf 2010 consequent een 'good' tot 'high' status.

Deze methode geeft de algemene kwaliteit van het fytoplankton/chl-a in de Waddenzee weer, waarbij minder chl-a/fytoplankton gelijk staat aan een betere kwaliteit van het systeem. Deze indicator kan goed gecombineerd worden met indicatoren van andere soortgroepen of leefgebieden mits ze allen op dezelfde manier geschaald kunnen worden (bijv. tussen 0 en 1, en met vergelijkbare grenzen tussen beoordelingsklassen).

Afhankelijk van de vraagstelling kan als indicator voor de biomassa van het fytoplankton de EQRS van KRW (Waddenzee specifiek, verschillend voor twee aangrenzende wateren), de EQRS van OSPAR (historische referentie, niet Waddenzee-specifiek maar wel gelijk voor het hele gebied) of een combinatie van deze EQRS's voor de Staat gebruikt worden.



Figuur 8. Station-specifieke EQRS waarden op basis van chlorofyl-a concentraties ($\mu\text{g L}^{-1}$) tijdens het groeiseizoen (mrt–okt) in de periode 1990–2021 van zes MWTL stations en het NIOZ station in de Nederlandse Waddenzee (zie Tabel 7) in relatie tot gebied-specifieke (Waddenzee en Eems estuarium) en kader-specifieke (OSPAR of KRW) referentiewaarden.



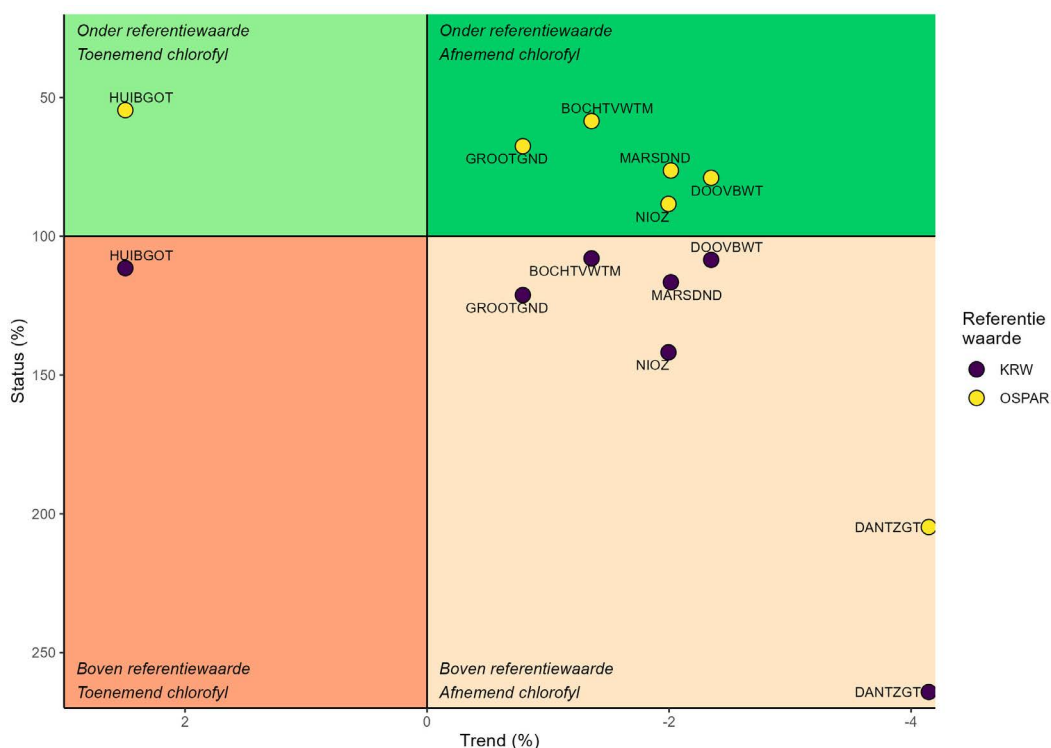
Figuur 9. Geaggregeerde EQRS waarden op basis van chlorofyl-a concentraties ($\mu\text{g L}^{-1}$) tijdens het groeiseizoen (mrt–okt) in de periode 1990–2021 van zes MWTL stations en het NIOZ station in de Nederlandse Waddenzee (zie Tabel 7) in relatie tot gebied-specifieke (Waddenzee en Eems estuarium) en kader-specifieke (OSPAR of KRW) referentiewaarden.

3.1.4

Combinatie status en trend

Om een beeld te krijgen hoe chl-a zich in het Waddengebied heeft ontwikkeld de afgelopen 10 jaar, zijn de resultaten van de trend analyse vanaf 2010 en de gemiddelde concentraties chl-a in het groeiseizoen ten opzichte van de referentiewaarden gecombineerd in Figuur 10 per monsterpunt. Hierbij is de gemiddelde of 90^e percentiel (afhankelijk van de referentiewaarde) chl-a concentratie van maart tot en met september in de periode 2010 tot 2021 gebruikt om de 'status' van chl-a ten opzichte van de KRW of OSPAR referentiewaarde te bepalen (percentage ten opzichte van de referentie, waarbij 100% = referentiewaarde). De indexcijfers van de chl-a trend zijn gebruikt om de relatieve veranderingen (trend in % toename of afname per jaar) in concentratie in de periode 2010 tot 2021/2022 te bepalen.

Afhankelijk van de referentiewaarden liggen de chl-a waarden rond een moderate (KRW) / good (OSPAR) status, maar in vrijwel alle locaties is chl-a ook afgenomen sinds 2010, behalve in Huibertgat Oost.



Figuur 10. Waddenkwadrant van chlorofyl-a concentraties ($\mu\text{g L}^{-1}$) in de Waddenzee, op basis van afwijking t.o.v. OSPAR of KRW referentiewaarden (status, waarbij 100% = referentiewaarde; Tabel 8) en veranderingen in concentratie (trend; % per jaar, op basis van log-getransformeerde chl-a concentraties) in de periode 2010–2021. De chlorofyl-a concentraties zijn de gemiddelde waarden tijdens het groeiseizoen (mrt–okt) zoals gemeten op zes MWTL stations en het NIOZ station (zie Tabel 7). De (OSPAR of KRW) referentiewaarden zijn gebied-specifiek.

3.2

Vogels

3.2.1

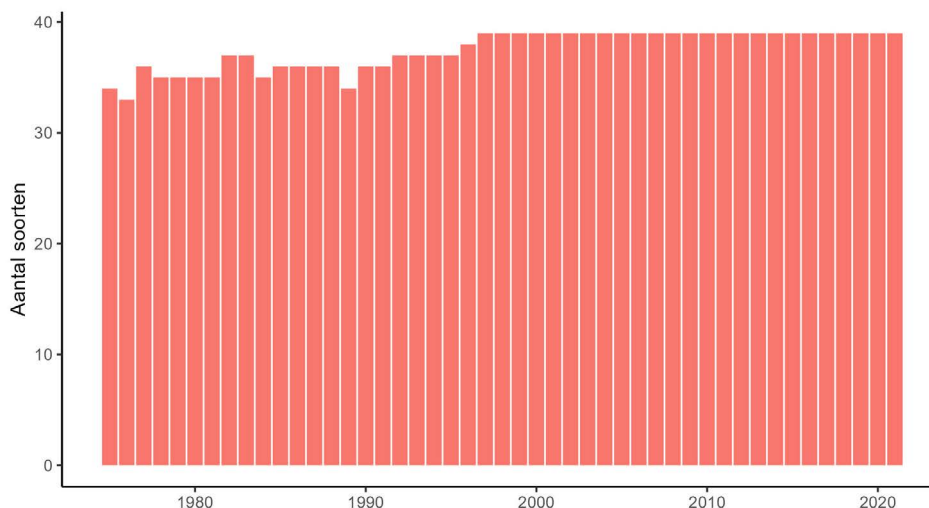
Dataselectie

Aantallen vogels en aantal broedparen in het Waddengebied worden bijgehouden door SOVON en de data vanaf 1975/1980 is te downloaden³¹ voor de soorten die moeten voldoen aan de instandhoudingsdoelstelling (IHD) voor Natura2000 gebieden³².

SOVON publiceert dan het aantal vogels worden per jaar (broedvogels) of per seizoen (winter- en trekvogels). Een seizoen loopt van juli tot en met juni. Bij broedvogels gaat het om het aantal broedparen, bij winter- en trekvogels om het gemiddelde maandelijkse aantal per seizoen (seiz. gem. = seizoensgemiddelde) of het maximale aantal binnen een seizoen (seiz. max. = seizoensmaximum). Deze keuze hangt samen met de wijze waarop de instandhoudingsdoelen worden uitgedrukt: bij slaapplaatsen zijn dit bijvoorbeeld seizoensmaxima. In incidentele gevallen wordt alleen een aantal uit januari gepresenteerd (midwinter)³³.

Er zijn in totaal 39 soorten waarvan aantallen worden bijgehouden die het gebied als slaap/foerageerplek gebruiken. Vanaf 1975 worden hiervan aantallen bijgehouden, al zijn er pas betrouwbare aantallen van al deze soorten vanaf 1997 (Figuur 11).

Figuur 11. Aantal soorten niet-broedvogels waarvan betrouwbare aantallen individuen zijn gemeten over de jaren.



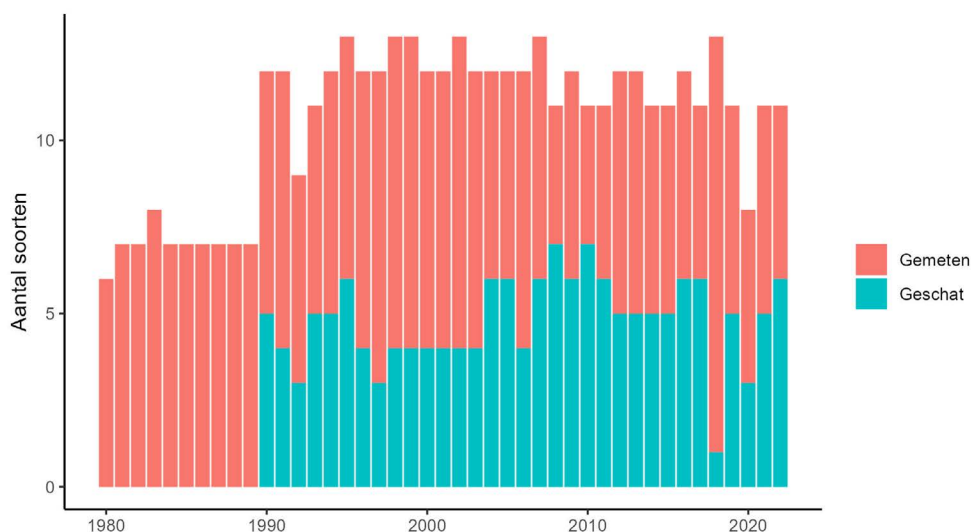
Voor de broedvogels wordt het aantal broedparen bijgehouden vanaf 1980 voor 13 soorten. Soms kan dit niet met zekerheid worden vastgesteld, maar kan er wel een schatting gemaakt worden (Figuur 12). In 2018 waren er bijvoorbeeld voor bijna alle soorten betrouwbare metingen gedaan, maar voor andere jaren (zoals 2010) zijn de aantallen broedparen voor meer dan de helft van de vogelsoorten geschat i.p.v. gemeten. Voor de analyses worden zowel het gemeten en het geschatte aantal paren gebruikt.

³¹ <https://stats.sovon.nl/stats/gebied/1000001>

³² Instandhoudingsdoelstelling voor het Waddengebied, Natura2000

³³ <https://stats.sovon.nl/stats/gebied/1000001>

Figuur 12. Aantal soorten broedvogels waarvan het aantal broedparen is gemeten of geschat over de jaren.



3.2.2

MSI methode

Methode

De MSI methode kan worden gebruikt om de verandering in aantallen van vogelsoorten in beeld te brengen (zie paragraaf 2.1). Deze methode laat goed de relatieve veranderingen door de tijd zien, maar de staat van de vogelsoorten niet wordt getoetst tegen relevante referentiewaarden, dit gebeurt in paragraaf 3.2.3.

Aantalstrends voor verschillende watervogels zijn berekend middels de methodes *Uindex* (Underhill and Pryce-Jones, 1994) en *TrendSpotter* (Visser *et al.*, 2004; Soldaat *et al.*, 2007). De aantallen per maand zijn bepaald met behulp van *Uindex* en vervolgens gesommeerd tot jaarcijfers. Door deze jaartotalen is een trend berekend met het programma *TrendSpotter*. Vanwege het integrale karakter van de watervogeltellingen zijn er geen betrouwbaarheidsintervallen van de jaarindexen bepaald. De trend in de aantallen van verscheidene kustbroedvogelsoorten is bepaald met *rtrim*. Ook zijn de trends voor broedvogels en niet-broedvogels gescheiden gehouden, aangezien deze meetreeksen een ander startjaar hebben.

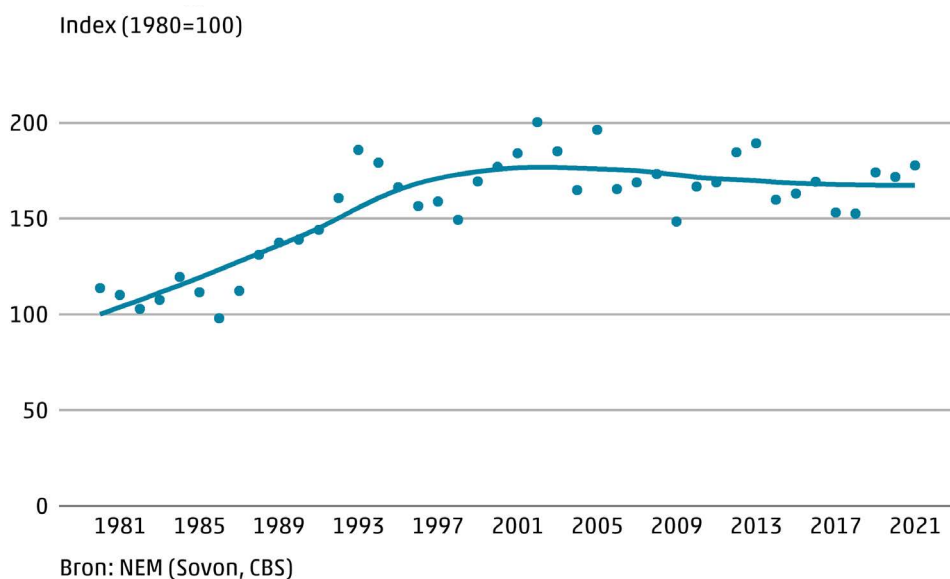
Resultaten

Voor de niet-broedvogels zijn de resultaten gepresenteerd in Tabel 10 en Figuur 13. Gemiddeld genomen zijn aantallen niet-broedvogels in de Waddenzee met 50% toegenomen sinds 1980, alleen is er wel een plateau bereikt omstreeks 2001. In Tabel 10 staan de resultaten uitgesplitst per soort. Doordat de analyse met *TrendSpotter* in plaats van *rtrim* is uitgevoerd is alleen de trendklasse weergegeven.

Het aantal broedvogels in de Waddenzee is daarentegen afgenomen ($P < 0,05$; Figuur 14; Tabel 11). Na een initiële toename van 1990 tot en met 1998, zijn aantallen weer gedaald tot 40% lager ten opzichte van 1990.

Soort	Trend		Soort	Trend	
	1980–2021	Vanaf 2010		1980–2021	Vanaf 2010
Aalscholver	Sterke toename	Onzeker	Lepelaar	Sterke toename	Matige toename
Bergeend	Matige toename	Stabiel	Middelste zaagbek	Stabiel	Onzeker
Bontbekplevier	Matige toename	Matige toename	Pijlstaart	Matige toename	Onzeker
Bonte strandloper	Matige toename	Stabiel	Rosse grutto	Matige toename	Stabiel
Brandgans	Sterke toename	Onzeker	Rotgans	Matige toename	Stabiel
Brilduiker	Matige afname	Matige afname	Scholekster	Matige afname	Matige afname
Drieteenstrandloper	Matige toename	Matige toename	Slechtvalk	Stabiel	Matige afname
Eider	Matige afname	Sterke afname	Slobeend	Matige toename	Onzeker
Fuut	Stabiel	Onzeker	Smient	Stabiel	Onzeker
Goudplevier	Matige toename	Onzeker	Steenloper	Stabiel	Matige toename
Grauwe gans	Sterke toename	Matige toename	Toendrarietgans	Matige toename	Onzeker
Groenpootruiter	Stabiel	Matige afname	Topper	Onzeker	Onzeker
Grote zaagbek	Matige afname	Sterke afname	Tureluur	Matige afname	Stabiel
Grutto	Matige toename	Matige toename	Wilde eend	Matige afname	Matige afname
Kanoet	Matige toename	Stabiel	Wintertaling	Stabiel	Onzeker
Kievit	Matige toename	Stabiel	Wulp	Matige toename	Matige afname
Kleine zwaan	Stabiel	Onzeker	Zilverplevier	Matige toename	Stabiel
Kluut	Stabiel	Stabiel	Zwarte ruiter	Stabiel	Onzeker
Krakeend	Sterke toename	Matige toename	Zwarte stern	Sterke afname	Onzeker
Krombekstrandloper	Matige toename	Matige toename			

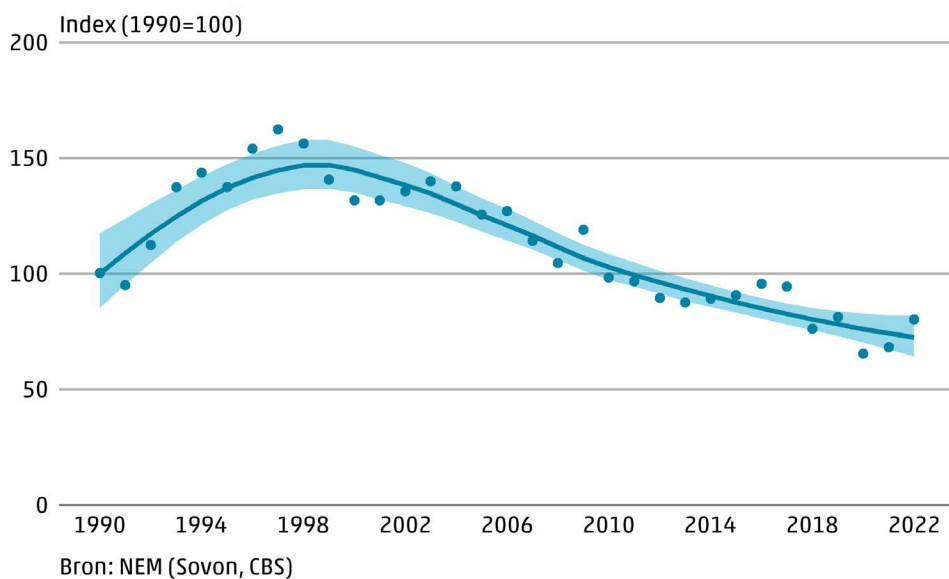
Tabel 10. Resultaten van de MSI-berekening per soort voor de niet-broedvogels voor de periodes 1980-2021 en 2010-2021 (zie Tabel 2 voor definities trendklassen).



Figuur 13. Jaargemiddelden (blauwe punten) en trend (blauwe lijn) van de MSI voor 39 soorten niet-broedvogels (zie Tabel 10) in de periode 1980-2021 in de Waddenzee. De indicator is dusdanig geschaald dat de waarde in het startjaar (hier: 1980) per definitie op 100 gesteld is.

Nederlandse naam	Trend			Vanaf 2010		
	1990–2022					
Lepelaar	+6,7% ±	13,13%	Matige toename	+0,5% ±	0,98%	Stabiel
Kleine mantelmeeuw	+1,8% ±	3,53%	Matige toename	-1,2% ±	-2,35%	Stabiel
Grote stern	-3,6% ±	-7,06%	Matige afname	-11,5% ±	-22,54%	Matige afname
Visdief	-5,1% ±	-10,00%	Matige afname	-0,9% ±	-1,76%	Onzeker
Noordse stern	-3,9% ±	-7,64%	Matige afname	-5,6% ±	-10,98%	Onzeker
Dwergstern	+4,6% ±	9,02%	Matige toename	+11,2% ±	21,95%	Matige toename
Eidereend	-1,3% ±	-2,55%	Matige afname	-1,9% ±	-3,72%	Onzeker
Bruine kiekendief	+1,7% ±	3,33%	Matige toename	-4,0% ±	-7,84%	Matige afname
Blauwe kiekendief	-6,4% ±	-12,54%	Matige afname	+0,0% ±	0,00%	Stabiel
Kluut	-5,2% ±	-10,19%	Sterke afname	+1,1% ±	2,16%	Matige toename
Bontbekplevier	-2,7% ±	-5,29%	Matige afname	-2,4% ±	-4,70%	Onzeker
Strandplevier	-5,6% ±	-10,98%	Matige afname	+0,2% ±	0,39%	Onzeker
Velduil	+0,0% ±	0,00%	Stabiel	-21,5% ±	-42,14%	Matige afname

Tabel 11. Resultaten van de MSI-berekening per soort voor broedvogels voor de periodes 1980–2021 en 2010–2021 (zie Tabel 2 voor definities trendklassen).



Figuur 14. Jaargemiddelden (blauwe punten), trend (blauwe lijn) en 95% betrouwbaarheidsinterval van de trend (blauw vlak) van de MSI voor 13 soorten broedvogels (zie Tabel 11) in de periode 1990–2021 in de Waddenzee. De indicator is dusdanig geschaald dat de waarde in het startjaar (hier: 1990) per definitie op 100 gesteld is.

3.2.3

Referentiewaarden

Inleiding

Indicatoren voor hoe het met het aantal vogels/broedparen in de Waddenzee gaat kunnen op verschillende manieren onderscheid maken, bijvoorbeeld op basis van het gebruik van het leefgebied (zoals een onderscheid tussen broedvogels en niet-broedvogels) of op basis van verschillen in dieet. Wat betreft het onderscheid tussen broedvogels en niet-broedvogels (winter- en trekvogels) kunnen sommige vogelsoorten (zoals de eidereend en de lepelaar) tot beide groepen worden berekend, zij het met andere referentiewaarden vanwege hun ander gebiedsgebruik. Voor al deze opties is een indicator berekend.

De referentiewaarden waaraan de aantallen/broedparen getoetst zijn afkomstig van de IHD voor de Waddenzee van Natura2000³². Referentiewaarden omvatten aantal broedparen, en de gemiddelde of maximale aantallen van niet-broedvogels (Tabel 12). Voor de toendrarietgans was er geen exacte drempelwaarde, maar 'behoud' opgegeven, dus is hiervoor de waarde in het eerst gemeten jaar gebruikt. Voor soorten waar een range voor is opgegeven is de ondergrens genomen als drempelwaarde. Per soort is er voor dit rapport bovendien ook nog een uitsplitsing gemaakt naar dieet die de indeling volgt zoals die is gemaakt voor 27 vogelsoorten in het meest recente *Waddenzee Quality Status* rapport³⁴.

Gebruikte methode

Om de data te schalen en per groep een indicator te kunnen berekenen, kan een vergelijkbare methode gebruikt worden als de *Ecological Quality Scaled Ratio (EQRS)* van OSPAR²⁶. De geschaalde versie loopt van 0 ('worst case') tot 1 ('best case'). In de berekening wordt wel de inverse van deze methode zoals toegepast voor chlorofyl a gebruikt (zie paragraaf 3.1.3), aangezien in het geval van vogels aantallen boven de referentiewaarde een verbetering zijn.

In de EQRS methode zijn de grenzen als volgt: $0 < \text{Bad} < 0,2 < \text{Poor} < 0,4 < \text{Moderate} < 0,6 < \text{Good} < 0,8 < \text{High} < 1,0$. De IHD is de grens tussen Good/Moderate, dus de referentiewaarde waardoor de gemeten waarden worden gedeeld om de waarden te schalen en een index te kunnen berekenen is de instandhoudingsdrempel $\times 1,666$ (zodat $0,6 = \text{Good/Moderate grens}$). Als de gemeten waarden/ referentiewaarde groter zijn dan 1 wordt dit getal in de EQRS een 1, wat een goede status van de vogelaantallen betekent.

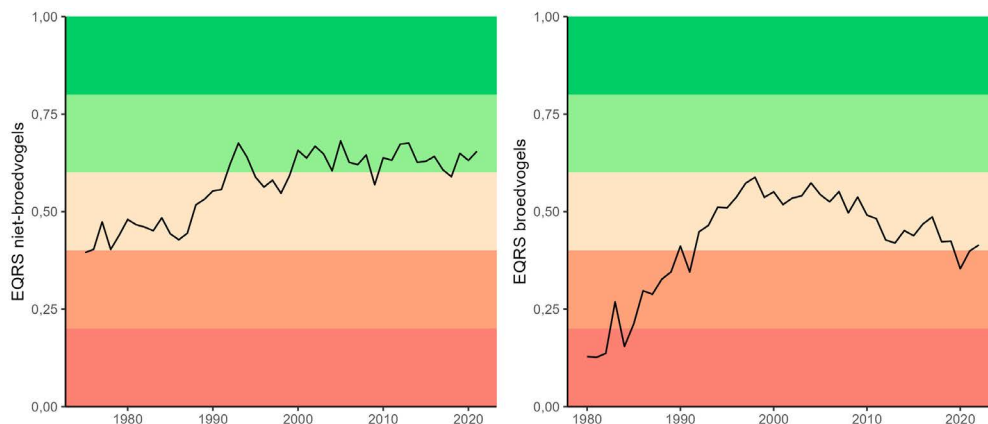
Soort	Instandhoudingsdoelstelling voor			Dieet	Aantal in	IHD grenswaarde
	Broedplaats	Foerageergebied	Slaap en rustplaats			
Blauwe Kiekendief	x				broedparen	3
Bontbekplevier	x			Wormen/benthos	broedparen	60
Bruine Kiekendief	x				broedparen	30
Dwergstern	x				broedparen	200
Eidereend	x			Schelpdieren	broedparen	5.000
Grote Stern	x				broedparen	16.000
Kleine Mantelmeeuw	x				broedparen	19.000
Kluut	x				broedparen	3.800
Lepelaar	x			Vis	broedparen	430
Noordse Stern	x				broedparen	1.500
Strandplevier	x			Wormen/benthos	broedparen	50
Velduil	x				broedparen	5
Visdief	x				broedparen	5.300
Eidereend		x		Schelpdieren	midwinter	90.000–115.000
Aalscholver		x	x	Vis	seiz.gem.	4.200
Bergeend		x	x	Andere invertebraten	seiz.gem.	38.400
Bontbekplevier		x	x	Wormen/benthos	seiz.gem.	1.800
Bonte Strandloper		x	x	Wormen/benthos	seiz.gem.	206.000
Brandgans		x	x	Planten	seiz.gem.	36.800
Briduiker		x			seiz.gem.	100
Drieteenstrandloper		x	x	Wormen/benthos	seiz.gem.	3.700
Fuut		x			seiz.gem.	310
Goudplevier		x	x	Wormen/benthos	seiz.gem.	19.200
Grauwe Gans		x	x		seiz.gem.	7.000
Groenpootruiter		x	x	Vis	seiz.gem.	1.900
Grote Zaagbek		x			seiz.gem.	70
Grutto		x	x	Wormen/benthos	seiz.gem.	1.100
Kanoet		x	x	Schelpdieren	seiz.gem.	44.400
Kievit		x	x	Wormen/benthos	seiz.gem.	10.800
Kluut		x	x		seiz.gem.	6.700
Krakeend		x			seiz.gem.	320
Lepelaar		x	x	Vis	seiz.gem.	520
Middelste Zaagbek		x			seiz.gem.	150
Pijlstaart		x		Planten	seiz.gem.	5.900
Rosse Grutto		x	x		seiz.gem.	54.400
Rotgans		x	x	Planten	seiz.gem.	26.400
Scholekster		x	x	Schelpdieren	seiz.gem.	140.000–160.000
Slobeend		x		Andere invertebraten	seiz.gem.	750
Smient		x	x	Planten	seiz.gem.	33.100
Steenloper		x	x	Andere invertebraten	seiz.gem.	2.300–3.000
Topper		x			seiz.gem.	3.100
Tureluur		x	x	Andere invertebraten	seiz.gem.	16.500
Wilde Eend		x		Planten	seiz.gem.	25.400
Wintertaling		x		Planten	seiz.gem.	5.000
Wulp		x	x	Andere invertebraten	seiz.gem.	96.200
Zilverplevier		x	x	Wormen/benthos	seiz.gem.	22.300
Zwarte Ruiter		x	x	Vis	seiz.gem.	1.200
Kleine Zwaan			x		seiz.max.	1.600
Krombekstrandloper		x	x	Wormen/benthos	seiz.max.	2.000
Slechtvalk		x			seiz.max.	40
Toendrarietgans			x		seiz.max.	behoud
Zwarte Stern			x		seiz.max.	23.000

Tabel 12. Instandhoudingsdoelstelling (IHD) per soort³¹, met uitsplitsing naar dieet³⁴, in aantal broedparen (broedvogels) en aantal individuen (niet-broedvogels).

Resultaten

In het berekenen van indicatoren is er dus onderscheid gemaakt in verschillende groepen, waaronder broedvogels en niet-broedvogels (Figuur 15). Hierin is te zien dat niet-broedvogels het in het algemeen beter doen dan broedvogels: de niet-broedvogels hebben als groep vanaf 2000 consequent een 'good' status, terwijl de status van de groep broedvogels vanaf 2000 langzaam afneemt en in 2020 zelfs 'poor' scoorde.

Figuur 15. EQRS geschaalde aantallen individuen van niet-broedvogels (links; 39 soorten) of aantallen broedparen van broedvogels (rechts; 13 soorten) volgens referentiewaarden van de IHD (0,6 = IHD, grens tussen 'moderate' en 'good') in de periode 1980–2021 in de Waddenzee.



Data van aantallen individuele vogels en aantallen broedparen kan worden samengevoegd en op basis van dieet kan er nog een uitsplitsing worden gemaakt voor 27 soorten (Tabel 12; Figuur 16). Voor de soorten in deze selectie die zowel in de broedvogel als de niet-broedvogel dataset (eidereend, lepelaar en strandplevier) is voor deze berekening het aantal broedparen gebruikt.

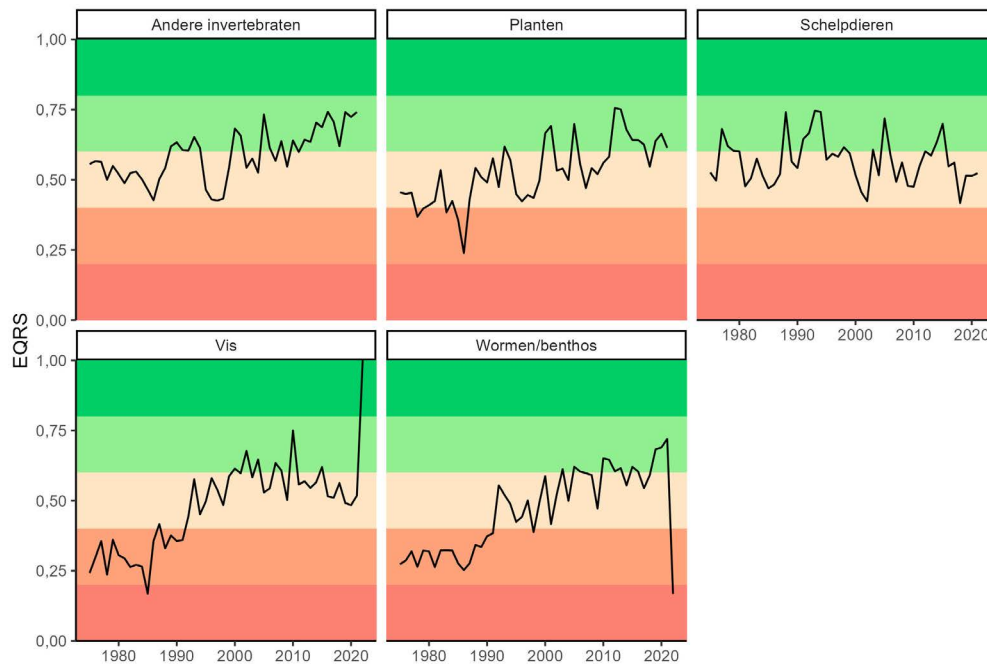
In Figuur 17 staan ook het aantal soorten waarop deze index is gebaseerd. Hierin is te zien dat er in het laatste waarnemingsjaar nog niet van alle vogelsoorten aantallen zijn geregistreerd (en er nog helemaal geen waarden voor schelpdiereters beschikbaar zijn). Dit betekent dat de toename (viseters) of afname (wormen/benthos-eters) van 2021 naar 2022 niet realistisch is, maar waarschijnlijk een artefact van de beperkte databeschikbaarheid.

Over het algemeen lijkt deze eerste Staat voor vogels op basis van hun dieet een stijgende lijn te vertonen, behalve die van de soorten die zich (voornamelijk) met schelpdieren voeden. Maar de Staat van de dieetgroepen met een algemene stijgende lijn schommelt de laatste jaren meestal nog tussen 'moderate' en 'good' (Figuur 16).

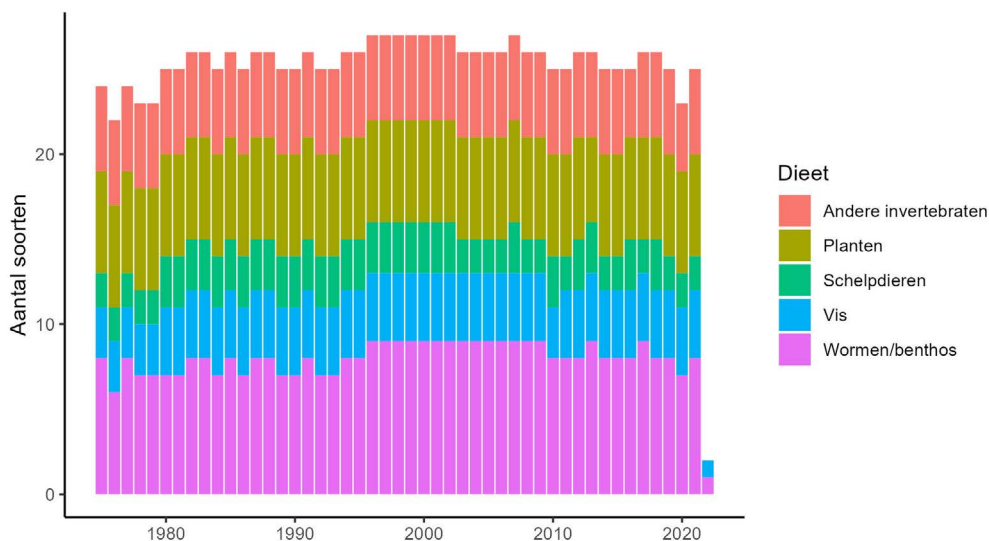
Cijfers van broedvogels en niet-broedvogels kunnen ook samengevoegd worden naar één algemene vogelindicator voor de Waddenzee (Figuur 18). Ook hier zijn dubbelstellingen uitgehaald, waardoor de trend nu is gebaseerd op 46 soorten. Het jaar 2022 niet weergegeven, vanwege het verschil in databeschikbaarheid met de andere jaren.

Vanaf 1975 is er een verbetering van alle vogelaantallen t.o.v. hun N2000 instandhoudingsdoelstellingen van 'moderate/poor' in de zeventiger en tachtiger jaren naar een 'moderate' met af en toe 'good' status hierna. Maar ondanks deze stijgende lijn liggen de EQRS waarden gedurende de afgelopen drie decennia in het algemeen nog steeds onder die van de IHD (Figuur 18).

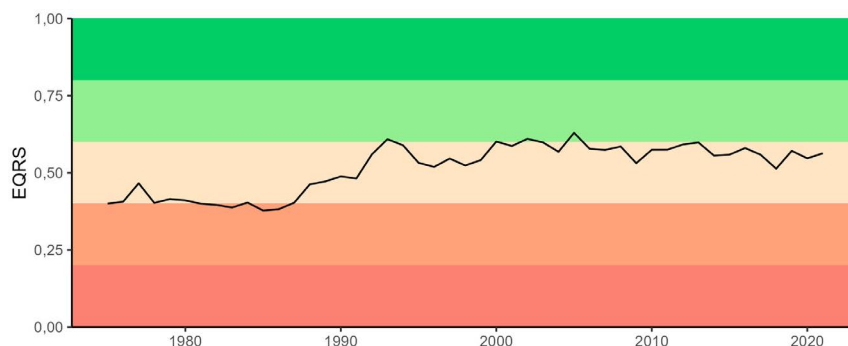
Figuur 16. EQRS geschaalde aantallen individuen en broedparen van vogels uitgesplitst naar hun dieet gebaseerd op soort-specifieke referentiewaarden van de IHD (0,6 = IHD) in de periode 1975-2021 in de Waddenzee.



Figuur 17. Aantal soorten vogels, uitgesplitst naar hun dieet, waarvan data beschikbaar is over jaren.



Figuur 18. Geaggregeerde EQRS van geschaalde aantallen individuen en broedparen van 46 soorten vogels gebaseerd op soort-specifieke referentiewaarden van de IHD (0,6 = IHD) in de periode 1975-2021 in de Waddenzee.



3.2.4

Combinatie status en trend

Om een beeld te krijgen hoe vogelaantallen zich in het Waddengebied hebben ontwikkeld de afgelopen 10 jaar, zijn de resultaten van de MSI analyse vanaf 2010 en de gemiddelde aantallen vogels ten opzichte van de IHD gecombineerd in Figuur 19. Hierbij is het gemiddelde van de jaarcijfers in de periode 2010 tot 2021/2022 is gebruikt om de 'status' van de vogelaantallen ten opzichte van de IHD te bepalen (percentage ten opzichte van de IHD, met IHD als 100%). De indexcijfers van de aantaltrends voor vogels zijn gebruikt om de relatieve veranderingen (trend in % toename of afname per jaar) in aantallen per soort in de periode 2010 tot 2021/2022 te bepalen.

Als we in meer detail naar de staat en ontwikkelingen binnen deze selectie van 27 vogelsoorten kijken, dan zijn het wat de *plantenetende* soorten betreft de Brandgans, Wintertaling, Pijlstaart en Rotgans waarvan de aantallen boven hun drempelwaardes (IHD) liggen (Figuur 19). De Smient en de Wilde Eend liggen eronder. Er gaan evenveel plantenetende soorten vooruit als achteruit.

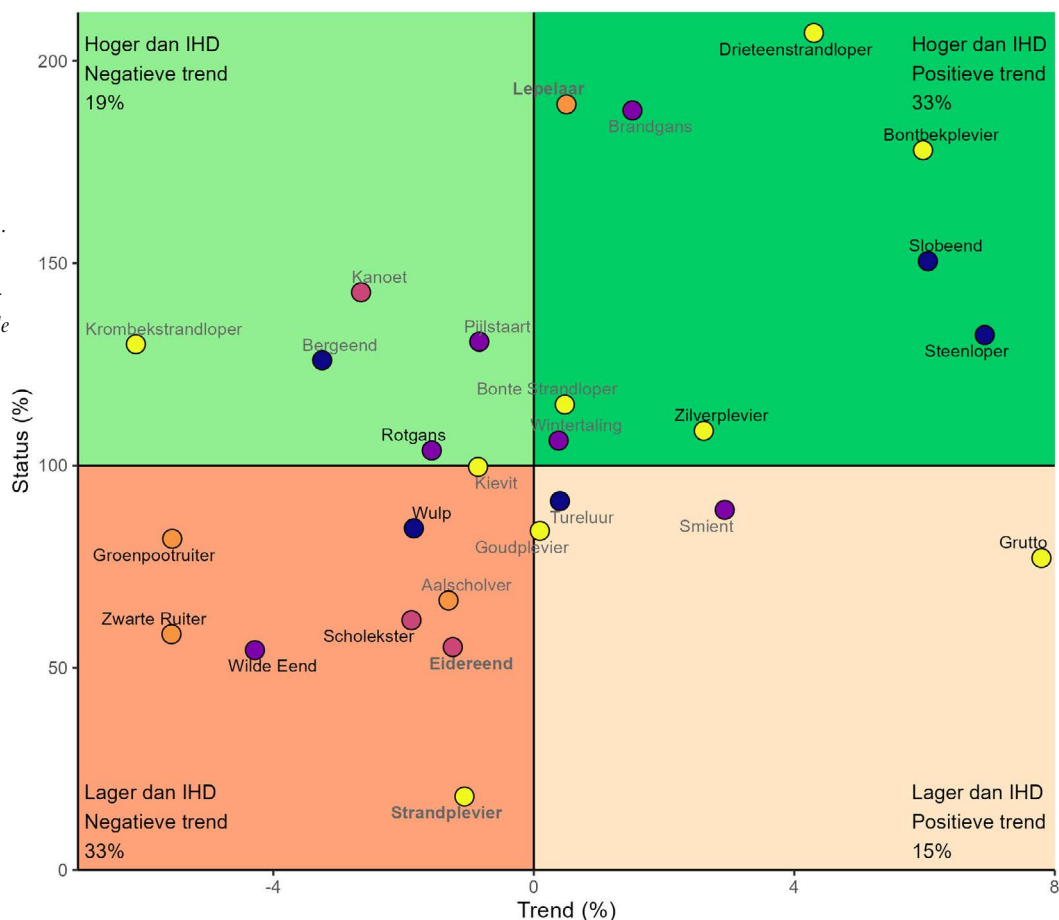
In de groep van *schelpdier-etende* vogels bevinden de aantallen van de Kanoetstrandloper zich boven de IHD, maar die van de Eidereend en Scholekster niet (Figuur 19). Alle schelpdier-etende vogels namen het afgelopen decennium in aantal af.

Wat betreft de vogels met een *wormen/benthos dieet* zijn het vooral de Bontbekplevier en de Drieteenstrandloper die het goed doen (Figuur 19). Hun aantallen bevinden zich niet alleen (ruim) boven de instandhoudingsdoelstellingen, maar nemen ook nog steeds verder toe. Maar niet alle wormen/benthos-etende vogels doen het goed, de aantallen van met name de Strandplevier bevinden zich onder de IHD. In het algemeen zijn er meer wormen/benthos-etende soorten die vooruit dan achteruit gaan.

Vogels die *andere invertebraten* dan schelpdieren en worm eten (bijv. krabbetjes en garnalen) doen het deels goed (zoals de Slobeend en de Steenloper), maar andere soorten bevinden zich onder de IHD en gaan in aantallen achteruit (zoals de Wulp) (Figuur 19).

Wat betreft de *visetende* vogels zijn het de Zwarte Ruiters, de Groenpootruiter en de Aalscholver waar het slecht mee gaat: hun aantallen bevinden zich onder de IHD en nemen ook nog eens verder af (Figuur 19). Alleen de aantallen van de Lepelaar bevinden zich boven de IHD en nemen verder toe.

Figuur 19. Waddenkwadrant van (een selectie aan) vogels in de Waddenzee (zie Tabel 12) op basis van afwijking t.o.v. IHD (100% = IHD) en veranderingen in aantallen (% per jaar) tussen 2010 en 2021. De namen van de broedvogels zijn vetgedrukt, en bij de grijs-gedrukte namen is de berekende trend niet significant.



3.2.5

Aggregatie

Als illustratief voorbeeld voor het samenvoegen van indices van soorten op basis van een gemeenschappelijk kenmerk is er een aggregatie uitgevoerd van vogels naar dieet. Hierbij is de beoordeling ten opzichte van de Natura-2000 instandhoudingsdoelstellingen als referentiemaatlat gebruikt. De 'status' score is per dieetgroep steeds het gemiddeld voor de periode 2010–2021 (12 jaar), en vervolgens is een gemiddelde over alle dieetgroepen bepaald (Tabel 13).

Tabel 13. Huidige status van (een selectie van) vogels van de Waddenzee, ingedeeld op basis van hun dieet, in relatie tot de instandhoudingsdoelstellingen (IHD) in procenten, en veranderingen (% per jaar) in de periode 2010–2021.

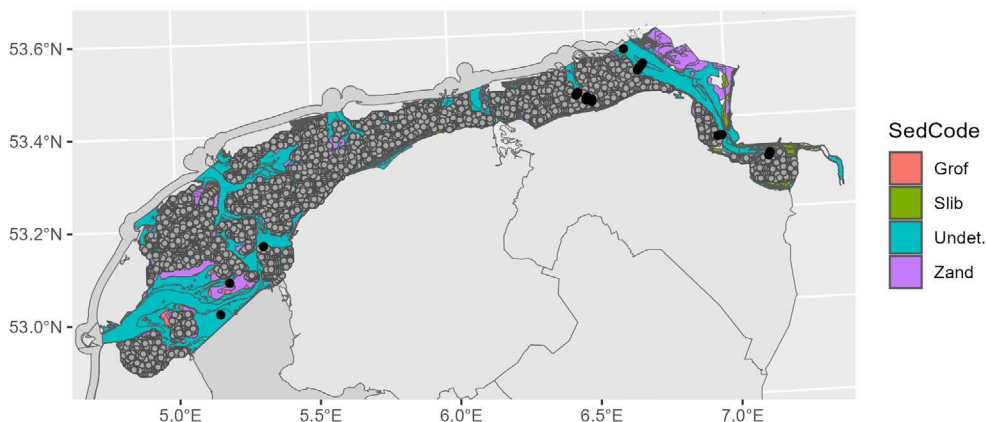
Dieet	Status (to.v. IHD)				Trend			
	Per dieetgroep		Totaal		Per dieetgroep		Totaal	
	Waarde	Status	Waarde	Status	Waarde	Status	Waarde	Status
Planten	112%	> IHD			-0,3%	afname		
Schelpdieren	87%	< IHD			-1,9%	afname		
Wormen/benthos	113%	> IHD	108%	> IHD	+1,5%	toename	+0,07%	toename
Andere invertebr.	117%	> IHD			+1,7%	toename		
Vis	99%	< IHD			-3,0%	afname		

3.3 Schelpdieren (benthos)

3.3.1 Dataselectie

Er zijn drie meetprogramma's in de Waddenzee die de benthos bemonsteren: het Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL) programma van RWS, het SIBES programma van het NIOZ en de WOt (Wettelijke Onderzoekstaken) schelpdiermonitoring van WMR. Deze programma's variëren in temporele en ruimtelijke dekking. De MWTL monitoring is gestart in 1991 en data is tot en met 2021 beschikbaar. In de beginjaren zijn er maar zes punten bemonsterd verdeeld over de Waddenzee, maar het aantal monsterpunten is de laatste jaren wel toegenomen (Figuur 20). Het SIBES programma is gestart in 2008 en heeft data beschikbaar tot en met 2022, met een extreem hoge ruimtelijke dekking (Figuur 20; 1391 tot 4398 monsterpunten per jaar). De WOt is gestart met metingen rond 1990 en heeft data beschikbaar tot en met 2021, en bemonstert ongeveer 1200-1500 keer per jaar³⁵.

Figuur 20. Monsterpunten van de SIBES (grijs) en RWS-MWTL (zwart) meetprogramma's, de overige kleuren geven het sedimenttype van de zeebodem in de Waddenzee weer.



3.3.2

MSI methode

Methode

De data van MWTL en het SIBES is voor deze indicator gecombineerd, omdat er op een vergelijkbare manier is bemonsterd (met boxcorer of steekbuis). Wel is er gecorrigeerd voor mogelijke verschillen in bemonsterd oppervlakte door aantallen per m² te gebruiken.

De *Benthische Indicator Soorten Index* (BISI) is gebaseerd op een aantal indicatorsoorten die indicatief worden geacht voor de kwaliteit van de zeebodem en de ecologische functie (Wijnhoven en Bos, 2017). Om verschillen in analysemethoden van MWTL en SIBES te reduceren zijn deze soorten tot op genus niveau gegroepeerd voor trendberekeningen (Tabel 14), en in sommige gevallen ook voor de BISI (Tabel 16). Voor de classificatie van de wadbodem (slib, zand en grof zand) is een ecotopenkaart van de Waddenzee gebruikt (Baptist *et al.*, 2019).

35 Inmiddels is de data ontsloten, maar niet op tijd voor dit rapport.

De meetpunten per 1x1 km hok geaggregeerd en verschillen in bemonstering (oppervlakte) als weefactor meegenomen in de *rtrim* berekening (paragraaf 2.1). Missende meetpunten door de jaren worden door *rtrim* per soort bijgeschat (imputatie). De individuele *rtrim* resultaten per genus zijn uiteindelijk gecombineerd tot één trend.

De BISI methode laat goed de relatieve veranderingen door de tijd zien, maar de staat van de benthos wordt hiermee niet getoetst tegen relevante referentiewaarden (zie paragraaf 2.1 voor een gedetailleerde methodebeschrijving). De trendanalyses (deze paragraaf) zijn gebaseerd op biomassa, omdat dit kenmerk meer representatief is voor de functionele rol in het ecosysteem dan aantallen. De BISI is echter uitgevoerd op basis van dichtheden (aantallen per m²) omdat alleen voor deze eenheid referentiewaarden (voor de Noordzee kustzone) beschikbaar waren.

Tabel 14. Overzicht van de verschillende soorten bodemdieren per genus, zoals gebruikt in dit rapport voor de BISI analyse.

Genus	Soorten
<i>Bathyporeia</i>	<i>B. pelagica</i> , <i>B. pilosa</i> , <i>B. sarsi</i> , <i>B. sp.</i>
<i>Echinocardium</i>	<i>E. cordatum</i>
<i>Ensis</i>	<i>E. ensis</i>
<i>Lanice</i>	<i>L. conchilega</i>
<i>Macoma</i>	<i>M. balthica</i>
<i>Nephtys</i>	<i>N. cirrosa</i> , <i>N. hombergii</i>
<i>Spiosphanes</i>	<i>S. bombyx</i>
<i>Spisula</i>	<i>S. subtruncata</i>
<i>Urothoe</i>	<i>U. poseidonis</i> , <i>U. sp.</i>

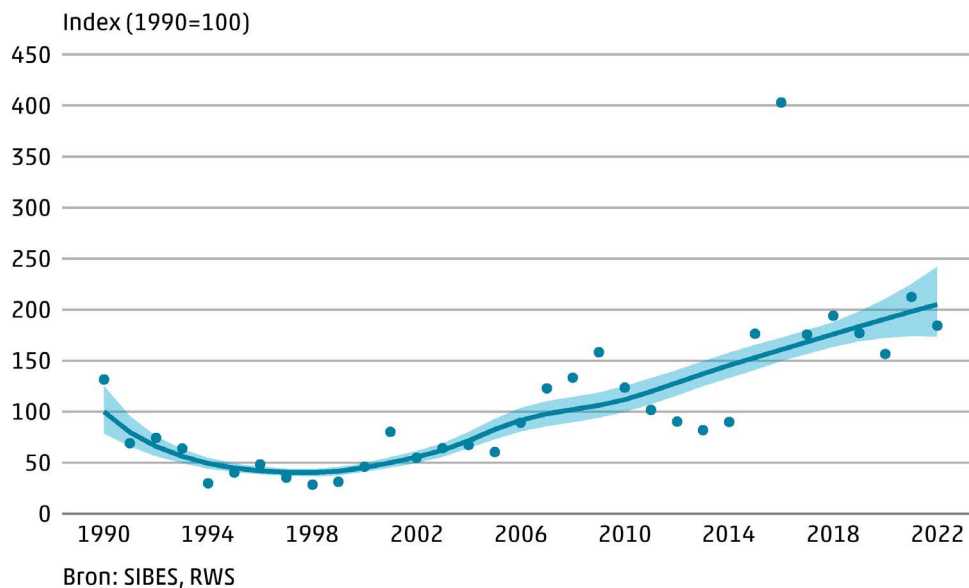
Resultaten

De berekende index voor de benthos biomassa is weergegeven in Figuur 21. Het beginjaar van de metingen (1990) is op 100 gezet. Over de gehele periode is er een matige toename geweest in de biomassa van de aangemerkte genera ($P < 0,05$). In 2022 staat deze op 200, wat betekent dat biomassa van deze genera is verdubbeld. Van de zeven geselecteerde genera (Tabel 14) kunnen trends worden berekend over een langere tijdsreeks. Voor *Echinocardium* en *Macoma* is de tijdsreeks te kort voor een significante beoordeling (Tabel 15).

Tabel 15. Resultaten van de MSI berekening van bodemdieren per genus (zie Tabel 2 voor definities trendklassen). Trends voor *Echinocardium* zijn berekend van 2018–2022, voor *Macoma* van 2017–2022, en voor *Urothoe* van 2008–2022, vandaar dat hiervoor geen trendklassen gegeven zijn.³⁶

Genus	Trend			Vanaf 2010		
	1990–2022					
<i>Bathyporeia</i>	+21,1% ±	41,36%	Sterke toename	+1,1% ±	2,16%	Stabiel
<i>Echinocardium</i>	+22,0% ±	43,12%				
<i>Ensis</i>	+13,7% ±	26,85%	Sterke toename	+8,2% ±	16,07%	Matige toename
<i>Lanice</i>	+13,8% ±	27,05%	Sterke toename	+14,1% ±	27,64%	Sterke toename
<i>Macoma</i>	+6,8% ±	13,33%				
<i>Nephtys</i>	-1,5% ±	-2,94%	Matige afname	+7,7% ±	15,09%	Sterke toename
<i>Spiophanes</i>	-10,7% ±	-20,97%	Sterke afname	+2,4% ±	4,70%	Onzeker
<i>Spisula</i>	-17,6% ±	-34,50%	Onzeker	-33,2% ±	-65,07%	Onzeker
<i>Urothoe</i>	+4,6% ±	9,02%	Matige toename	+3,1% ±	6,08%	Matige toename

Figuur 21. Jaargemiddelden (blauwe punten), trend (blauwe lijn) en 95% betrouwbaarheidsinterval van de trend (blauw vlak) van de MSI voor de biomassa van zeven genera bodemdieren (met in totaal 12 soorten), in de periode 1990–2022 zoals bepaald aan de hand van twee bemonsteringsprogramma's (SIBES en MWTL) in de Waddenzee.³⁶



3.3.3

BISI analyse – referentiewaarden

Inleiding: referentiewaarden

De Benthische Indicator Soorten Index (BISI) is ontwikkeld voor de evaluatie van de habitatkwaliteit, bodemintegriteit en het ecologisch functioneren van de bodemfauna voor de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM; Wijnhoven en Bos, 2017). Omdat de door ons gebruikte BISI referentiewaarden ontwikkeld zijn voor de Noordzee kustzone, zijn er hoogstwaarschijnlijk wel enkele aanpassingen nodig om deze methodiek voor de Waddenzee geschikt te maken.

In de BISI worden dichtheden (n/m^2) van specifieke (indicator)soorten gebruikt om een index tussen 0.01 en 100 te berekenen, waarbij 1 een ‘realistisch’ referentiescenario weergeeft (Wijnhoven en Bos, 2017). Ook wordt er onderscheid gemaakt naar verschillende sedimenttypen (slib, zand, en grof zand). De referentiewaarden worden bepaald aan de hand van de gemiddelde gemeten aantallen in het referentiegebied, waarbij er ook rekening gehouden kan worden met schaarste in observaties.

De beperking van de methode zit echter in het minimaal aantal monsters dat nodig is om een juiste voorspelling te kunnen maken, en de relatief grote invloed van nulmetingen (‘lege’ monsters). Dit is met name van toepassing in de beginjaren, omdat er toen veel minder is bemonsterd en het aantal nulmetingen ook hoger ligt, waardoor de beoordeling aanvankelijk negatiever uitpakte.

Met de BISI kan data van de verschillende meetprogramma's worden gecombineerd en hiermee kunnen vervolgens referentiewaarden naar sedimenttype voor de verschillende soorten worden bepaald (Tabel 16). Uiteindelijk zijn er voor zand 23, voor slib 14, en voor grof zand 15 soorten/genera (gebaseerd op de Noordzee kustzone) die meegenomen werden in de BISI berekening voor de Waddenzee.

Tabel 16. Referentiewaarden in aantallen bodemdieren per m² per soort/genus per sedimenttype bepaald met de BISI methode voor het Nederlandse deel van de Noordzee kustzone.³⁶

Soort/genus	Referentiewaarde (n/m ²)		
	Zand	Slib	Grof
<i>Abra alba</i>	98,91	79,38	168,91
<i>Bathyporeia</i>	169,39	12,80	241,57
<i>Cerastoderma edule</i>	229,95	285,04	579,76
<i>Donax</i>	29,97		
<i>Echinocardium cordatum</i>	67,65	57,74	57,74
<i>Ensis ensis</i>	587,79	59,48	61,55
<i>Eteone</i>	84,53	140,90	204,82
<i>Fabulina fabula</i>	58,33	57,74	56,59
<i>Lanice conchilega</i>	218,26	206,23	557,10
<i>Liocarcinus holsatus</i>	12,80		
<i>Macoma balthica</i>	22,03		
<i>Mactra</i>	42,76	57,74	
<i>Magelona</i>	44,54	62,31	86,83
<i>Mytilus edulis</i>	371,73	420,93	554,90
<i>Nephtys cirrosa</i>	62,53	52,16	67,56
<i>Nephtys hombergii</i>	37,61	54,08	56,17
<i>Ophiothrix fragilis</i>	57,74		
<i>Ophiura</i>	36,12		57,74
<i>Pagurus bernhardus</i>	52,69		
<i>Pontocrates altamarinus</i>	39,12		
<i>Spiophanes bombyx</i>	51,93	80,08	131,51
<i>Spisula</i>	25,63	42,35	
<i>Urothoe</i>	915,24		820,71

Gebruikte methode

Met de BISI kunnen verschillende drukfactoren en ecologische functies op het ecosysteem als geheel worden bepaald. Voor nu ligt de focus hier op de algemene kwaliteit van het ecosysteem, hierbij worden vrijwel alle BISI soorten meegenomen, behalve *Spiophanes bombyx*, *Pontocrates altamarinus* en *Urothoe*. Deze zijn volgens de BISI niet indicatief voor algemene kwaliteit.

De volgende formule wordt gebruikt om de BISI per jaar te berekenen:

$$BISI = \exp\left(\frac{1}{S} \sum IV_i \ln\left(\frac{O_i}{R_i}\right)\right)$$

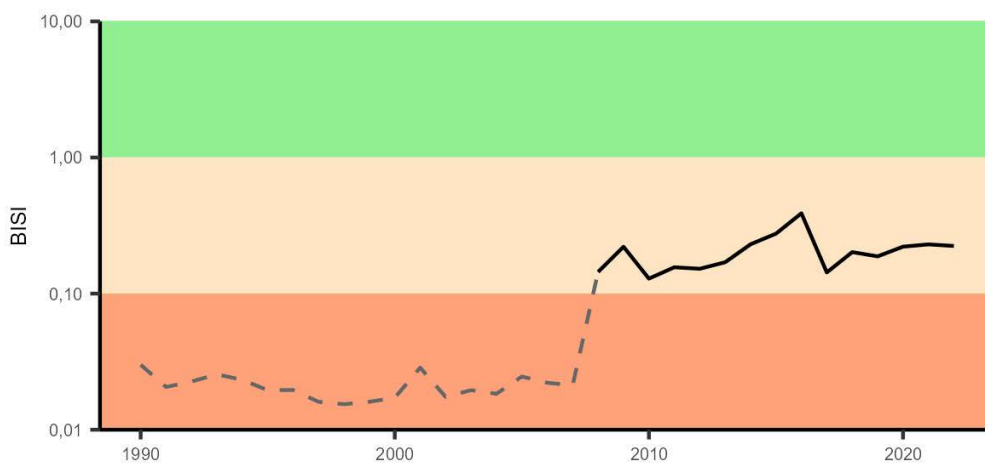
Waarbij S het totaal aantal soorten is, IV_i de gemiddelde indicatorwaarde per soort i (voor algemene kwaliteit: per soort), O de gemeten aantallen in n/m² per soort per jaar, en R de referentiewaarde per soort.

Resultaten

De resultaten van de berekening staan voor alle sedimenttypen gecombineerd in Figuur 22, en per sedimenttype in Figuur 23. Tot en met 2008 zijn de resultaten onzeker omdat bij 11 soorten (van de 23) het minimale aantal monsters om tot een betrouwbaar resultaat te komen niet werd gehaald.

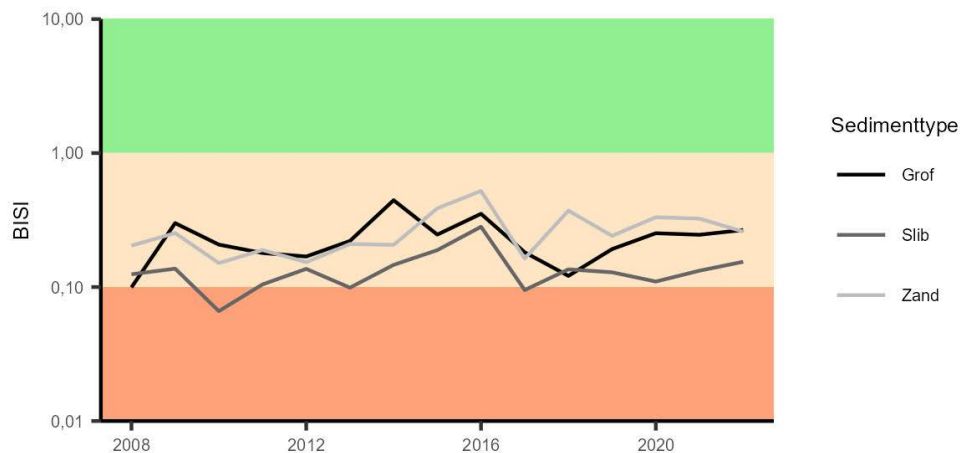
De kleuren van de banden komen overeen met de EQRS beoordelingen van OSPAR, waarbij lichtgroen voor 'Good' staat, roze voor 'Moderate', en oranje voor 'Poor'. De 'Good/Moderate' grens ligt hier bij 1, omdat dit volgens de BISI een 'realistisch' referentiescenario weergeeft (Wijnhoven en Bos, 2017). Vanaf het moment dat de BISI betrouwbaar is (dus voor de periode 2009-2022), geeft deze een index een 'Moderate' status weer (Figuur 22).

Figuur 22. Geaggregeerde BISI van bodemdieren in de Waddenzee in de periode 1990–2022, voor alle sedimenttypen gecombineerd, gebaseerd op soort-specifieke referentiewaarden (Tabel 16)³⁶. De γ -as is log-getransformeerd. De grijze onderbroken lijn geeft de waarden van voor 2008 aan, een periode waarvoor data van slechts een zeer beperkt aantal meetstations (alleen MWTL) beschikbaar was.



Dit algemene beeld verschilt niet sterk na de onderverdeling in sedimenttypen, al ligt de status van de genera die het meest representatief zijn voor het meest slijkige sediment het laagst en zakt af en toe onder de 'moderate/poor' grens (Figuur 23).

Figuur 23. BISI van bodemdieren in de Waddenzee in de periode 2008–2022, per sedimenttype, gebaseerd op soort-specifieke referentiewaarden (Tabel 16)³⁶. De γ -as is log-getransformeerd.



3.3.4

Combinatie status en trend

Om een beeld te krijgen hoe benthos indicatorsoorten zich in het Waddengebied hebben ontwikkeld in de afgelopen periode (2010–2022), zijn de resultaten van de MSI analyse vanaf 2010 en de gemiddelde dichtheid van de benthos ten opzichte van de BISI gemiddelde referentiewaarden gecombineerd in Figuur 24. Hierbij is de data gegroepeerd op genus niveau, en zijn alleen de soorten meegenomen waar zowel de status als de trend voor berekend kon worden. Voor het bepalen van de status zijn de gemiddelde dichtheid ($n\ m^{-2}$) in de periode 2010–2022 ten opzichte van de BISI gemiddelde referentiewaarden per sedimenttype gebruikt (Tabel 16; waarbij 100% = gemiddelde referentiewaarde). De indexcijfers van de trends voor benthos zijn gebruikt om de relatieve veranderingen (trend in % toename of afname per jaar) in biomassa (gADW (Asvrij–DrooggeWicht) m^{-2}) per soort in de periode 2010 tot 2022 te bepalen.

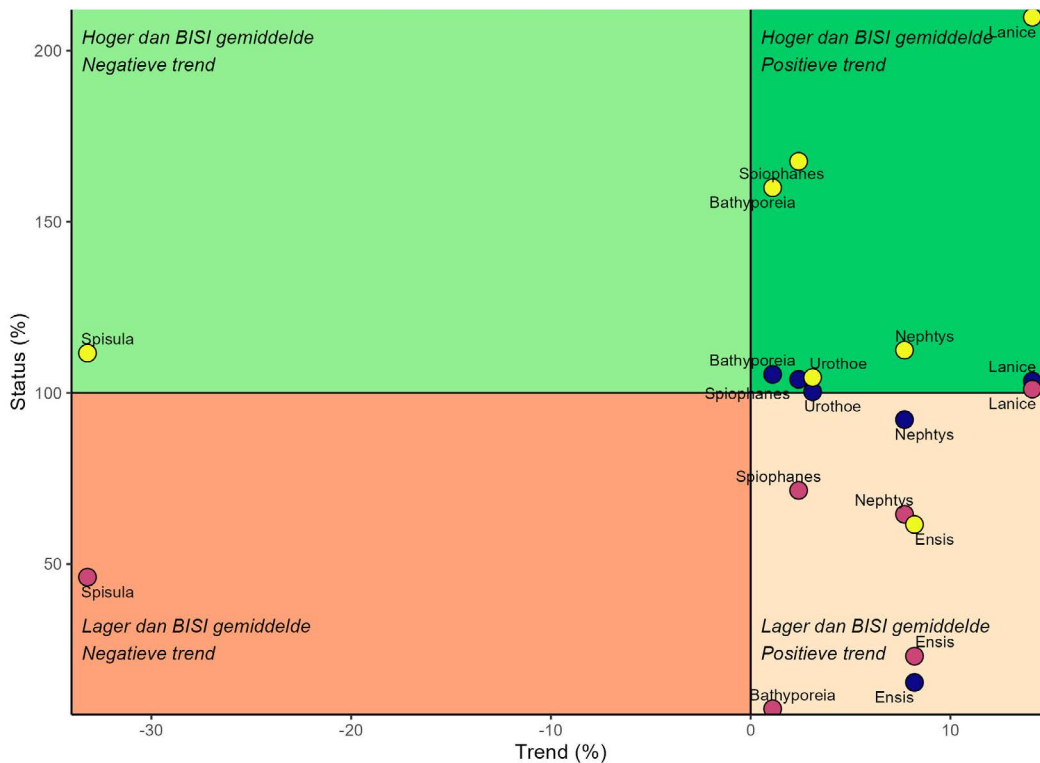
Over het algemeen nemen de geselecteerde indicator genera toe vanaf 2010, behalve *Spisula*, die juist enorm is afgenomen. Ook is er een duidelijk verschil te zien tussen sedimenttypen, dichtheid van benthos in een zanderige bodem is vanaf 2010 hoger dan gemiddeld, terwijl dichtheden in het slib juist lager liggen.

De status is met gemiddelde referentiewaarden bepaald door gebrek aan historische data of bruikbare beleidsmatige vastgestelde doelstellingen. Een andere mogelijkheid om nog te verkennen is werken met bijvoorbeeld maten voor soortenrijkdom (zie paragraaf 4.7).

Figuur 24. Waddenkwadrant van (een selectie aan) benthos genera in de Waddenzee op basis van afwijking t.o.v. gemiddelde BISI referentiewaarden (status op basis van aantallen, waarbij 100% = referentiewaarde; Tabel 16) en veranderingen (trend op basis van biomassa; % per jaar) tussen 2010 en 2022. Status per genera is uitgesplitst naar sedimenttype.³⁶

Sedimenttype

- Grof
- Slib
- Zand



3.4 Watertemperatuur

3.4.1 Dataselectie

Voor watertemperatuur zijn meerdere meetreeksen beschikbaar. Elk met hun specifieke eigenschappen.

- › NIOZ meetreeks 't Horntje (Texel): maandelijks sinds 1861, en uurlijks vanaf 2002
- › Rijkswaterstaat MWTL meetreeksen zoals ontsloten via waterinfo.nl

In de analyses die hier zijn gepresenteerd is enkel gekeken naar gemiddelde temperaturen, met een nadruk op langere tijdreeksen. In een vervolg zal ook worden ingegaan op extremen, zoals bijvoorbeeld de frequentie en duur van de overschrijding van ecologisch relevante drempelwaarden.

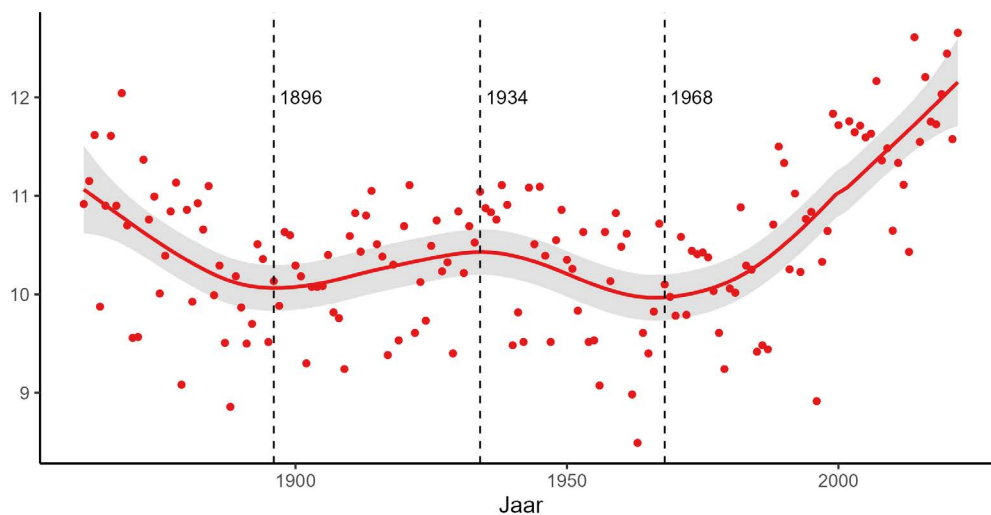
3.4.2 Ruwe indicatoren

Methode

Voor de lange meetreeks van het Marsdiep (oorspronkelijk gestart in Den Helder en vervolgens voortgezet op Texel aan de noordzijde van dit zeegat) zijn de maandwaarden geaggregeerd tot jaarwaarden (rekenkundig gemiddelde). Hierbij is alleen gebruik gemaakt van jaren waarvoor data voor alle maanden beschikbaar waren (1961–2022).

Toepassing van een flexibel trendmodel (Visser, 2004; Visser et al., 2015) suggereert dat er sprake is van een zeker mate van cycliciteit: een (trendmatige) afkoeling tot ≈1896, opwarming tot 1934, afkoeling tot 1968 en vervolgens een doorgaande opwarming (Figuur 25). De magnitude van deze cycli is echter klein ten opzicht van de variatie tussen de jaren, en wellicht ook niet significant³⁷.

Figuur 25. Jaargemiddelden (rode punten) en lopend gemiddelde (rode lijn) met 95% betrouwbaarheidsinterval (grijze vlak) van de watertemperatuur in het Marsdiep (°C), het meest westelijke zeegat in de Waddenzee (oorspronkelijk gemeten in Den Helder, daarna vanaf Texel, en gecorrigeerd voor veranderingen in locatie en methodiek), in de periode 1861-2022. De verticale gestippelde lijnen geven overgangen tussen perioden van langjarige afkoeling en opwarming weer.

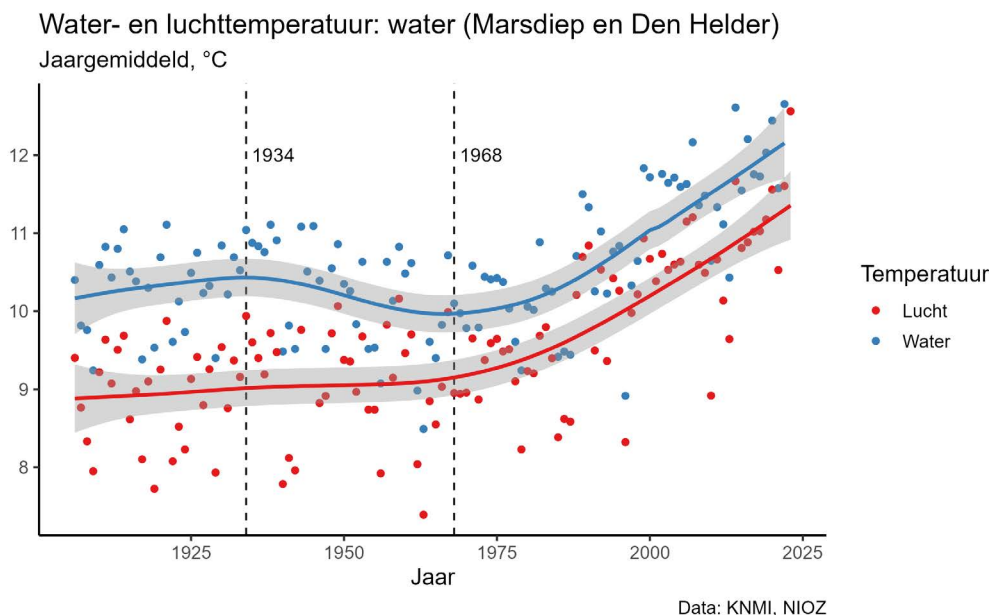


Data: NIOZ

De opwarming van het zeewater in de Waddenzee zal voor een deel worden veroorzaakt door de lokale klimaatverandering (opwarming van de lucht) en voor deel door aanvoer van warmer (of eventueel kouder) water via stroming, grotendeels via de Noordzee. Ter illustratie is de NIOZ meetreeks van het Marsdiep dan ook vergeleken met de meetreeks voor luchttemperatuur in het nabijgelegen meteorologisch station De Kooy in Den Helder.

Ook hier zijn de gegevens (die vanaf 1096 op dagbasis beschikbaar zijn) geaggregeerd naar jaren. In de winter van 1944–1945 zit een gat in de meetreeks a.g.v. de Tweede Wereldoorlog, en deze jaren zijn daarom verder niet meegenomen (Figuur 26). De resultaten laten zien dat luchttemperatuur trendmatig gezien vrijwel constant is vanaf 1906 tot ≈1970, waarna een doorlopende fase van opwarming heeft ingezet.

Figuur 26. Jaargemiddelden (rode punten) en lopend gemiddelde (rode lijn) met 95% betrouwbaarheidsinterval (grijze vlak) van de watertemperatuur (gemeten in het Marsdiep, Den Helder/Texel) en de luchttemperatuur (gemeten op vliegveld De Kooy, Den Helder) in de periode 1901-2022. De verticale gestippelde lijnen geven de overgangen tussen perioden van langjarige afkoeling en opwarming weer.



De simultane opwarming van de lucht- en watertemperatuur sinds ≈1970 suggereren dat lokale klimaatverandering de oorzaak is van opwarming van de Waddenzee sinds dat moment. De fluctuaties in zeewatertemperatuur in de eerdere periode zouden dan wellicht eerder aan veranderingen in zeestromingen en de temperatuur van het aangevoerde water moeten worden toegeschreven³⁸.

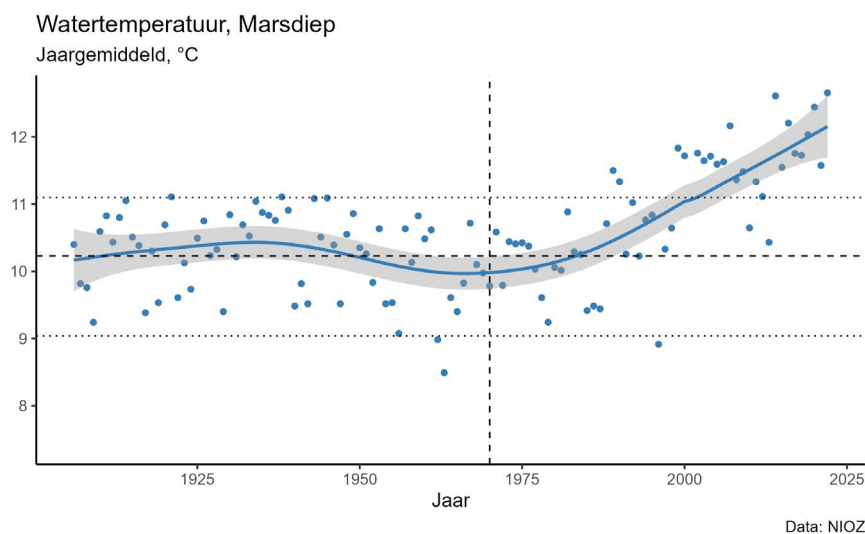
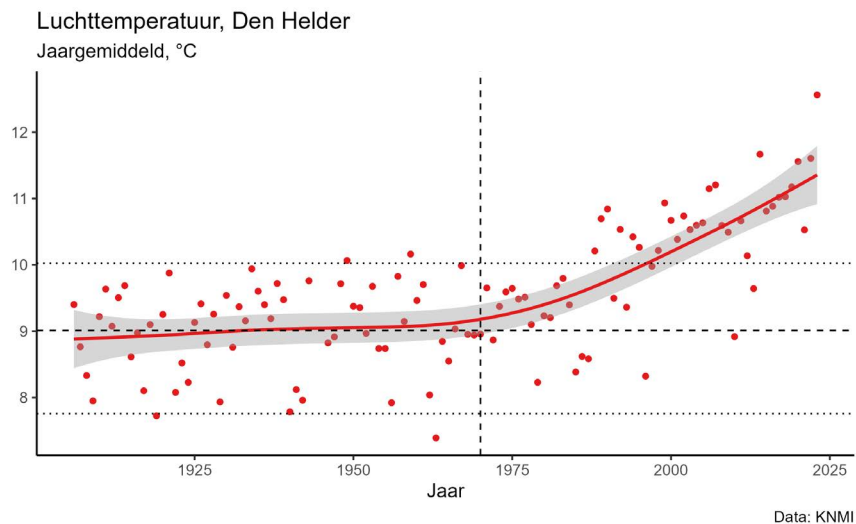
3.4.3

Normalisatie

Jaargemiddelde zeewatertemperatuur

Voor jaargemiddelde zeewatertemperatuur in de Waddenzee bestaat geen a priori referentiewaarde op ecologische basis. Hooguit kan gesteld worden dat de biodiversiteit is aangepast aan de heersende omstandigheden, inclusief de daarbij behorende fluctuaties. Om deze reden wordt daarom voor jaargemiddelde zeewatertemperatuur aangesloten bij het beginsel dat de pre-industriële, stabiele, laat-Holocene dynamiek als referentie wordt genomen. In de praktijk van deze Staat wordt dit vertaald naar de periode van vóór ≈1970.

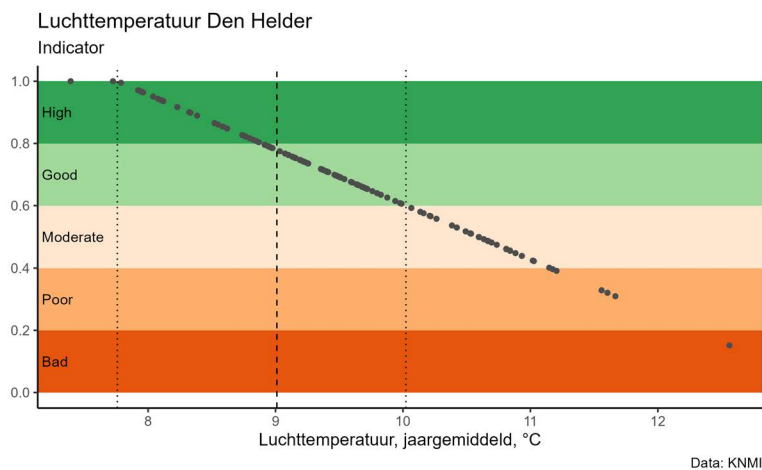
Figuur 27. Jaargemiddelden (rode punten), lopende gemiddelden (rode lijn) en 95% interval van de lopende gemiddelden (grijs gebied) van de lucht- en watertemperatuur in het uiterste westen van de Waddenzee, zoals bepaald voor de periode vóór 1970.



In eerste stap wordt voor de referentieperiode het 95% interval bepaald (2,5% en 97,5% percentielen) op basis van de tijdserie van jaargemiddelde temperaturen.

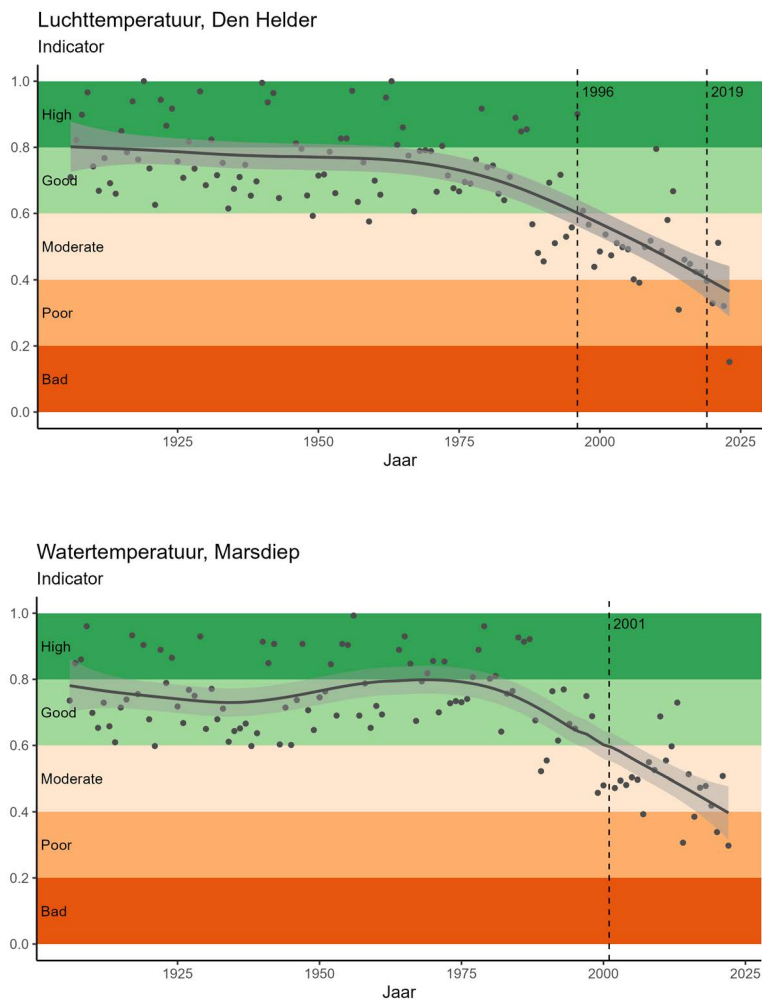
In een tweede stap worden op basis van dit interval de temperaturen geschaald naar een bereik van 0 tot 1. Vooral nog wordt deze schaling lineair uitgevoerd, waarbij het 95% interval zelf wordt geschaald naar het bereik 0,6 tot 1,0, dat wil zeggen de klassen *Good* en *High* uit de EQRS systematiek.

Figuur 28. Illustratie van de schaling van luchttemperatuur naar een dimensieloze indicator 0–1, op basis van een historisch referentiebereik, gebaseerd op de 2,5% en 97,5% percentielen van 1906-1969 (stippellijnen), welk bereik naar de klassen ‘Good’ en ‘High’ is vertaald.



De resultaten laten zien dat de veranderingen in lucht- en watertemperatuur na de referentieperiode (1970) er toe leiden dat de beoordeling op gegeven moment niet langer ‘Good’ of hoger zijn. Op basis van de trend zakt de beoordeling van luchttemperatuur na 1996 van ‘Good’ tot ‘Moderate’. Voor watertemperatuur was dat na 2001. Luchttemperatuur is op basis van deze methodiek zelfs sinds 2019 tot de beoordeling ‘Poor’ gezakt.

Figuur 29. Beoordeling van lucht- en watertemperatuur volgens de ESQR systematiek, waarbij de dynamiek van de respectievelijke tijdseries in de periode vóór 1970 (2,5% en 97,5% percentielen in de periode 1906-1969) als referentiewaarden zijn gebruikt.

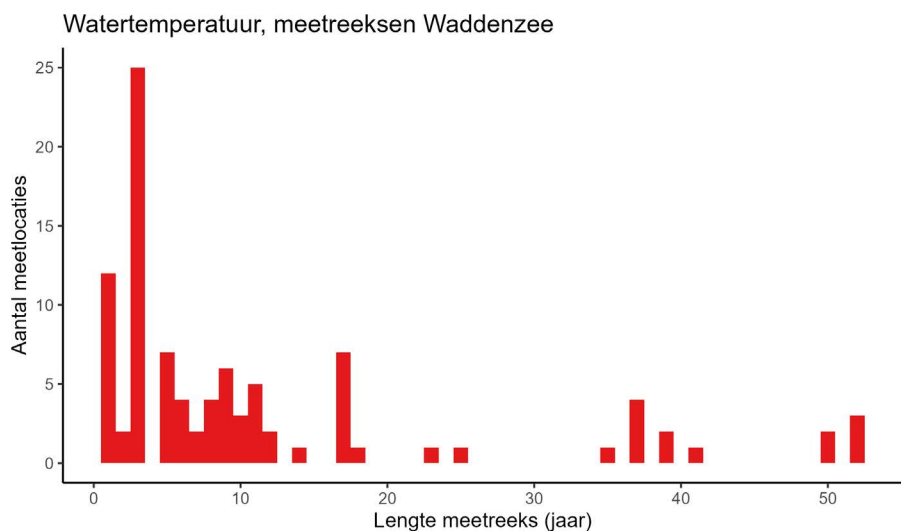


3.4.4 Rijkswaterstaat

Naast de langjarige NIOZ meetreeksen in het Marsdiep zijn er meerdere meetreeksen beschikbaar vanuit het MWTL programma van Rijkswaterstaat. De lengte van deze meetreeksen varieert onderling echter aanzienlijk: voor het merendeel (65%) van de meetstations zijn data voor slechts 10 jaar of minder beschikbaar (Figuur 30). Ook zijn niet voor alle tijdseries de gegevens voor alle maanden beschikbaar (Figuur 31).

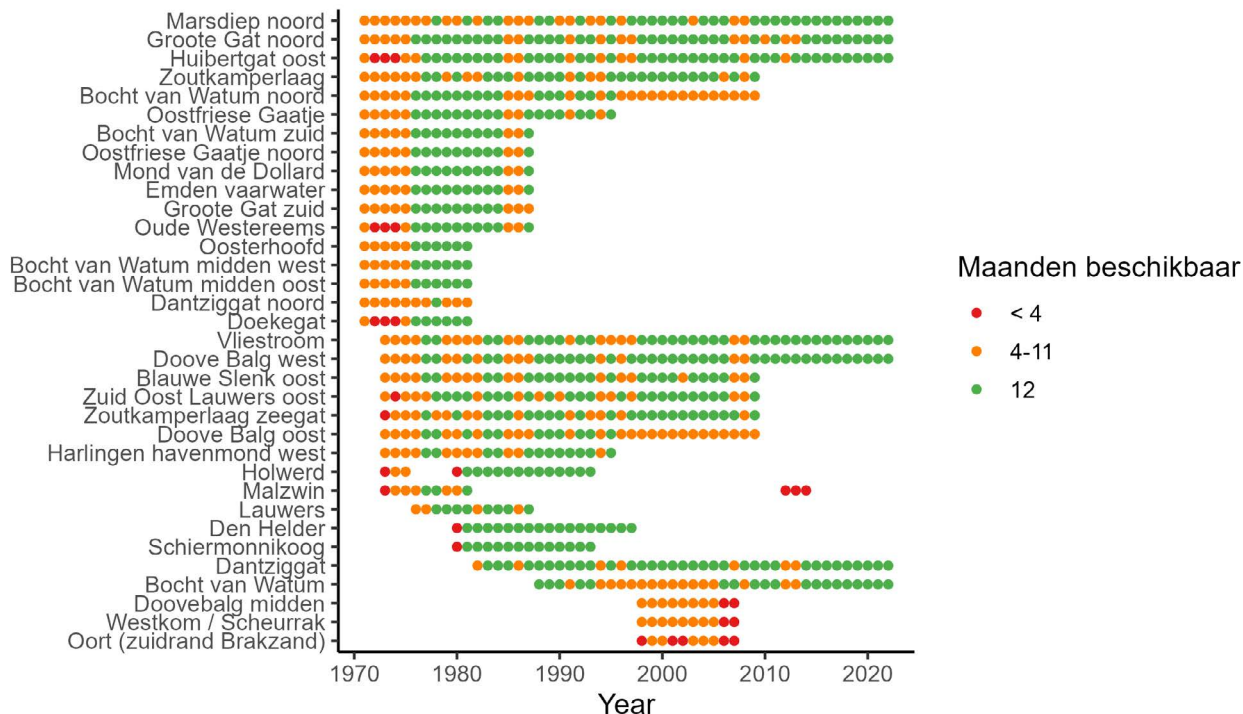
Figuur 30. Lengte van meetreeksen watertemperatuur voor de locaties van het MWTL programma van Rijkswaterstaat in de Waddenzee in de periode 1970-2022 (53 jaar).

Figuur 31. Maandelijks beschikbaarheid van watertemperatuur-data in de Waddenzee, voor alle meetlocaties met minstens 10 jaar aan data (zie Figuur 30).

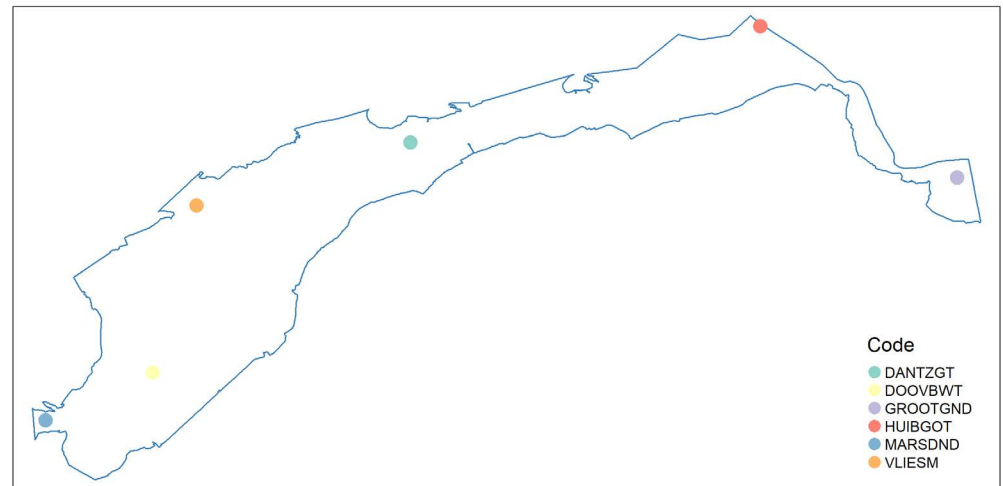


Data: Rijkswaterstaat

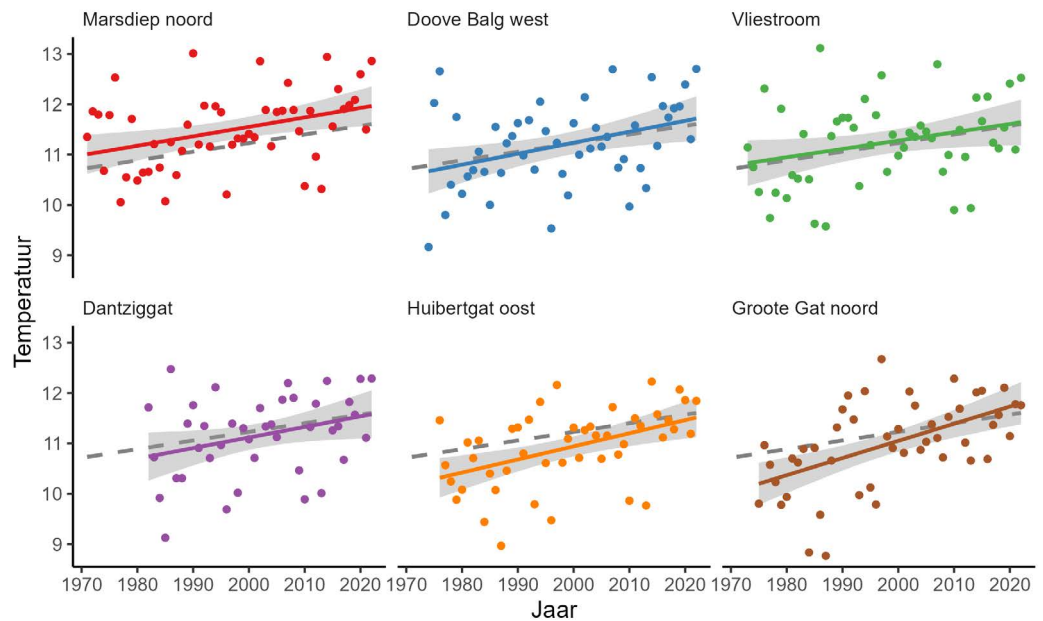
Databeschikbaarheid watertemperatuur



Figuur 32. Ligging van MWTL meetlocaties voor zeewatertemperatuur met de beste databeschikbaarheid.



Figuur 33. Jaarlijkse gemiddelden (punten) en lineaire trends (gekleurde lijn) met 95% betrouwbaarheidsinterval (grijs vlak) in zeewatertemperatuur (°C) voor de zes MWTL locaties met de langste tijdreeksen (zie Figuur 32 voor de ligging van de locaties). De grijs gestreepte lijn is de **overall** lineaire trend voor deze zes stations.



Voor de zes meetstations met de langste meetreeksen zijn (lineaire) trends berekend. Deze stations liggen goed verdeeld over gehele Waddenzee (Figuur 32). Voor alle meetlocaties is de trend significant ($p < 0,05$) toenemend (Figuur 33).

4. Discussie, aanbevelingen en suggesties voor vervolgstappen

4.1 Data

Een deel van de benodigde data wordt als onderdeel van wettelijke rapportageverplichting verzameld (zoals N2000 en de KRW), en binnen nationale en internationale meetprogramma's van de overheid (zoals de Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands MWTL, Netwerk Ecologische Monitoring NEM en de Wettelijke Onderzoekstaken WOt). Deze data bleken echter in mindere mate vindbaar, beschikbaar en compleet als bij aanvang van het ontwikkelen van de Staat was aangenomen.

Zo bleek lang niet alle data altijd compleet (bijv. missende jaren in tijdseries), of van onvoldoende resolutie (bijv. op het niveau van kombergingen) om er direct mee aan de slag te kunnen voor de Staat. Andere data zoals die van de WOt (bijv. schelpdieren en vissen) waren tijdens de start van dit project nog helemaal niet openbaar beschikbaar en konden alleen (tegen betaling) bij de uitvoerende organisaties worden opgevraagd.

Na overleg heeft de Basismonitoring Wadden (o.l.v. RWS-NN) zich in de loop van 2023 tot taak gesteld om alle relevante data openbaar beschikbaar te maken in afstemming met de betrokkenen uitvoerende organisaties.

Na overleg heeft RWS-NN zich (in het kader van de Basismonitoring Wadden) bereid verklaard om het toegankelijk maken van de data die nodig zijn voor de Staat prioriteit te geven. Zij zal hierbij ondersteund worden vanuit het project LTER-LIFE dat zich mede tot doel heeft gesteld om Waddenzee data FAIR te maken.

Verwacht wordt dat een deel van de data sets (ecotopen, plankton, bodemdieren, vissen, vogels, zeezoogdieren) gebruikt kan worden voor de oplevering van Fase 2 van de Staat (eind 2024). Een ander deel van de data (zoals primaire productie) vraagt nog om verdere uitwerking, deze data zal niet eerder dan in de loop van 2025 beschikbaar komen en dan kunnen worden ingezet voor Fase 3 van de Staat (eind 2025).

Het actueel houden van de Staat (na de ontwikkeling) vraagt ook het creëren van een (min of meer automatische) dataflow, waarin nieuwe veldgegevens op een FAIRE wijze aan bestaande tijdseries worden toegevoegd. Dit vraagt nog nader overleg met het LTER-LIFE programma en de Basismonitoring Wadden, en kan hopelijk in de loop van 2025 worden gerealiseerd. Fase 2 zal aanbevelingen doen hoe dit op termijn bewerkstelligd kan worden.

Aanbevelingen

- › Maak de data die nodig zijn voor de Staat zo snel mogelijk FAIR;
- › Organiseer een automatische workflow om nieuwe data aan de bestaande toe te voegen.

Suggesties voor vervolgstappen (Fase 2 en Fase 3)

- › Opstellen van een datarapport, met een focus op de beschikbaarheid van de data in ruimte en tijd (zie paragraaf 4.6), en een inschatting van het eventueel ontbreken van deze data voor de compleetheid, robuustheid en benodigde (extra) inzet (bijv. via *expert judgement*) van de Staat;
- › Ontwerpen van een plan voor een automatische workflow (in samenspraak met RWS-NN, het LTER-LIFE project en de organisaties die de data verzamelen) om bestaande en nieuwe data zo FAIR mogelijk te maken;
- › Uitwerken van de (groepen van) indicatoren waarvoor inmiddels (sinds de start van Fase 1) data beschikbaar zijn gekomen door CBS en de Waddenacademie.

4.2

Indicatoren

Voor een juiste weergave van de Staat' is **selectie** van de onderliggende tijdreeksen essentieel, waar bijvoorbeeld de soorten die meegenomen in de indicator representatief voor de soortgroep in het Waddengebied zijn, en idealiter ook indicatief voor de kwaliteit en het functioneren (van het specifieke trofische niveau) van het ecosysteem.

Zowel voor soortgroepen, als voor leefgebieden en menselijke invloeden leert het verder uitwerken van de indicatoren (mede op basis van het *Waddenzee Quality Status rapport* en in verdere samenspraak met experts) welke tijdseries het meest geschikt zijn.

Naast de verdere aanscherping selectie van soorten, leefgebieden en menselijke invloeden is de keuze van de **eenheid** van de indicator ook van belang. Afhankelijk van de vraagstelling (en de beschikbaarheid van data en de referentiewaarden) kan er bijvoorbeeld gerekend worden met biomassa en/of dichtheden. Ook dit vraagt een nadere aanscherping in de vervolgaanpak.

Aanbevelingen

- › Feedback van experts vast onderdeel maken bij het verder ontwikkelen van de Staat.

Suggesties voor concrete vervolgstappen

- › Betrekken van (nader te bepalen) experts bij het aanscherpen van de indicatoren en alle keuzes die hierbij horen (soortselectie, eenheid, welke soort in welke tijd van het jaar) middels een workshop en aparte sessies voor specifieke vragen.

4.3

Tijdreeksen en trends

Het aggregeren van soorten naar soortgroepen (bijv. vogels op basis van dieet) met behulp van een multi-species indicering lijkt een goede werkwijze om een algemene trend op basis van een aantal tijdseries te berekenen, maar de variatie tussen de soorten onderschrijft het belang om ook de afzonderlijke trends te berekenen,

De multi-species indicering blijkt ook een goede methode om vergelijkbare metingen van verschillende stations te aggregeren tot een algemene Waddenzee-brede trend voor die indicator (bijv. biomassa van fytoplankton). Ook hiervoor is gebleken dat de lokale trends ruimtelijk kunnen variëren, waardoor ook de gebieds-specifieke ontwikkelingen niet uit het oog mogen worden verloren.

Er zijn duidelijke verschillen in de tijdsreeksen van de verschillende deelindicatoren (zoals fytoplankton en vogels) geconstateerd. De meeste data (tot nu toe) zijn al beschikbaar vanaf 1990. Dit zou een goed startpunt zijn voor een combinatie indicator, een zeer voorlopige 'Staat'. Omdat niet alle tijdreeksen even lang zijn (zie bijv. de MWTL watertemperatuur) zal voor een aanvullende beschrijving van langere ontwikkeling (bijv. sinds de zeventiger jaren) gewerkt moeten gaan worden met een selectie van de indicatoren waarvoor voldoende data beschikbaar zijn.

Mogelijk kunnen ontbrekende waarden in data reeksen (zoals bijv. de MWTL watertemperatuur) in beperkte mate nog worden gegenereerd met behulp van statistisch verantwoorde schattingen ('*imputatie*') net als dat door CBS en SOVON voor de vogel- en andere biodiversiteitsdata is uitgevoerd.

Aanbevelingen

- › Ontwikkelen van methodes om waar mogelijk gaten in tijdreeksen op te vullen.

Suggesties voor concrete vervolgstappen

- › Uitwerken van een methodiek om de impact van verschillen in databeschikbaarheid in individuele tijdreeksen en/of indicatoren mee te nemen in de analyses (bijv. als een schatting van de onzekerheid voor de geaggregeerde indicatoren) (zie ook paragraaf 4.5)

4.4

Schaling

Er worden in dit rapport per onderwerp verschillende methoden gebruikt om tot een indicator te komen. Zo laat de MSI methode bijvoorbeeld goed de relatieve veranderingen van de soortgroep door de tijd zien, terwijl de EQRS methode aantallen schaaft ten opzichte van referentiewaarde en er ook een kwaliteitsoordeel vastzit aan de mate waarvan de observatie afwijkt van deze referentiewaarde.

Zowel in de MSI methode als de EQRS methode reflecteert een toename in aantallen (of afname in geval van chlorofyl) altijd een verbetering een van de toestand. De EQRS wordt namelijk afgetopt op 1, en de index van de MSI gaat omhoog. Nu is de toestand in de Waddenzee nog niet zodanig dat dit een probleem vormt, maar een sterke afname in chlorofyl, en te grote populaties van soorten benthos of vogels zijn ook niet goed voor het ecosysteem. In een volgende fase kan dit nog worden verwerkt in de methode.

Het aftoppen op 1 van de EQRS methode heeft wel als voordeel dat een soort waar het extreem goed mee gaat niet kan compenseren voor een soort waar het slecht mee gaat. In de MSI methode is dit niet het geval en dus wel iets om rekening om te houden in de beoordeling van de trend en de representativiteit voor de soortgroep als geheel.

Een mogelijk nadeel van de EQRS methode is dat alles afhankelijk is van correcte referentiewaarden. In het geval van vogels of chlorofyl is dit geen probleem, aangezien voor beide groepen duidelijke doelstellingen voor de Waddenzee zijn geformuleerd. Maar voor de benthos is dit niet het geval, en wordt het ingewikkelder om een dergelijke methode toe te passen. Daarom hebben we in dit rapport de BISI methode geprobeerd toe te passen, maar daarvan is de schaling dusdanig anders dat dit waarschijnlijk geen goed alternatief is. Bovendien is deze specifiek ontwikkeld voor de Noordzee, en zijn er wellicht betere opties (zie 4.7).

Voor een indicatie van de 'staat' van bepaalde soortgroepen sinds 2010 zijn de uitkomsten van de MSI methode, en de status aan de hand van referentiewaarden gecombineerd in één figuur (zie 3.1.4, 3.3.4, en 3.2.4). Hierin zijn status en trend eenvoudiger weergegeven om een beeld te krijgen van de ontwikkelingen per soortgroep in de laatste 12 jaar, ook omdat de EQRS schaling lastiger te interpreteren is met de good/moderate grens op 0,6. De resultaten hiervan zijn echter niet makkelijk te aggregeren zoals mogelijk is bij MSI trends of de EQRS.

Aanbevelingen

- › In overleg met experts tot duidelijke referentiewaarden komen voor de verschillende deelindicatoren.

Suggesties voor concrete vervolgstappen

- › Onderzoeken welke representatie van de toestand voor de deelindicatoren gewenst is (EQRS/trend-status), waarbij aggregatie ook van belang is.

4.5

Aggregatie

Schaling heeft ook invloed op de wijze waarop de indicatoren kunnen worden geaggregeerd. Vogels en fytoplankton zijn geschaald volgens de EQRS methode van OSPAR, welke waarden geeft tussen 0 en 1, waarbij 0 een slechte status weergeeft en 1 een uitstekende status. De schaling van de EQRS is daarom zeer geschikt voor aggregatie, waaraan ook nog eens kwaliteitsoordeel aan toebedeeld is.

Een mogelijk nadeel van de EQRS is echter dat afhankelijk van het type variabele de berekening inverteerd wordt uitgevoerd. Bij variabelen waarbij in principe méér beter is, zoals bijvoorbeeld zuurstofgehalte, wordt de meetwaarde gedeeld door de referentiewaarde. Bij variabelen waarbij méér slechter is, zoals vervuilende stoffen, wordt de referentiewaarde door de meetwaarde gedeeld. Hoewel na schaling naar het bereik tussen 0 en 1 (EQRS) indicatorwaarden rekenkundig gecombineerd kunnen worden, gaat daarbij toch een deel van de intuïtieve veronderstelde lineaire relatie tussen meetwaarde en indicatorwaarde verloren.

Een soortgelijk probleem speelt bij de BISI. Deze is logaritmisch geschaald. In het combineren moet hier op een bepaalde manier rekening mee gehouden worden. Een oplossing zou zijn om de BISI zo aan te passen dat hier ook waarden tussen 0 en 1 uitkomen, met de referentiewaarden op de 0,6 good/moderate grens, bijvoorbeeld aan de hand van gemiddelde referentiewaarden die de BISI uiteindelijk ook gebruikt. Een voorbeeld hiervan is al gebruikt voor een berekening van de 'status' in Figuur 24.

Wat betreft de aggregatie dient ook besloten te worden over de weging van de te aggregeren indicatoren. In Fase 1 is deze weging niet expliciet opgenomen, waardoor in feite de bijdragen van alle onderliggende tijdreeksen aan een geaggregeerde trend gelijk is gesteld. Weging zou bijvoorbeeld plaats kunnen vinden op basis van oppervlak (een meetpunt in een groter deelgebied weegt zwaarder dan een meetpunt in een kleiner deelgebied), biomassa (de dichtheden van een zwaardere soort wegen zwaarder dan die van een lichtere), op basis van ecologisch belang (de aantallen van sleutelsoorten wegen zwaarder dan die van de overige soorten), op basis van betrouwbaarheid van de afzonderlijke indicatoren, of op basis van de (mogelijk divergente) voorkeuren van betrokken en belanghebbenden.

Aanbevelingen

- › Maak een definitieve keuze voor een preferente aggregatiesystematiek op basis van alle indicatoren waarvoor data en referentiewaarden beschikbaar zijn.
- › Omschrijf eerst de specifieke waarden van en trends in de onderliggende niet-getransformeerde data (oorspronkelijke waarnemingen), en dan pas die voortkomend uit alternatieve aggregatiesystematieken.
- › Laat deze volgorde terugkomen in de rapportage, dus bijvoorbeeld eerst absolute aantallen, gevolgd door de Multi-Species Indicator en tot slot de EQRS.
- › Analyseer nut en noodzaak van het meenemen van weegfactoren. Betrek hierbij kennis en kunde van externe domeinexperts.
- › Breid (in fase 3) de EQRS methode uit met een onzekerheidscomponent.

Suggesties voor concrete vervolgstappen

- › Uitwerken van bovenstaande aanbevelingen. Hierbij wordt zoveel mogelijk aangesloten bij bestaande methodieken en procedures (vanuit OSPAR en KRW, maar ook vanuit het CBS).
- › Bepalen van weegfactoren waarbij ook rekening gehouden wordt met onzekerheden in de data, in samenspraak met domeinexperts.

4.6

Ruimtelijke patronen

In de BISI is zijn ruimtelijke patronen al wel meegenomen door in de index rekening te houden met de verschillende ecotopen (sedimenttypen) die voorkomen in de Waddenzee. Verder is het natuurlijk ook mogelijk hier in andere indicatoren rekening mee te houden, al is een onderscheid in sedimenttypen voor bijvoorbeeld fytoplankton en vogels veel minder logisch (geen ecologische relevantie).

Het zou in theorie mogelijk zijn om indexen te berekenen voor de verschillende kombergingen, al is de ruimtelijke dekking van de benthos tussen 1990 en 2008, en van fytoplankton, niet hoog genoeg zodat elke komberging in alle jaren een monsterpunt heeft. Bij vogels zou dit beter mogelijk zijn. Onderscheid op een iets hoger ruimtelijk aggregatie niveau zou wel mogelijk zijn, bijvoorbeeld de westelijke, en oostelijke Waddenzee en het Eems-Dollard gebied.

In navolging van de Bouwsteen “Streefbeeld” zal, waar de data het toelaten, ook ‘deelstaten’ voor ‘deelgebieden’ worden gemaakt, zodat een vergelijking tussen bijv. kombergingen mogelijk wordt. Dit wordt al in Fase 2 opgepakt.

Aanbevelingen

- › Onderzoek welke ruimtelijke onderverdeling voor alle indicatoren gebruikt kan worden, rekening houdend met databeschikbaarheid.
- › Richt hierbij in fase 2 op drie afzonderlijke niveaus: ecotoop; komberging; west/oost/Eems-Dollard.
- › Uitbreiding van de Staat naar de trilaterale Waddenzee in haar geheel (fase 3), de indicatoren set is hiervoor in principe geschikt en de benodigde data trilateraal verzameld (zie QSR Wadden Sea).
- › Verwerk de resultaten hiervan in het datarapport (zie 4.1)

Suggesties voor concrete vervolgstappen

- › Uitvoeren van dit onderzoek, en het verwerken van de resultaten daarvan in het datarapport (zie 4.1)

4.7

Referentiewaarden

Voor fytoplankton en vogels zijn door OSPAR, KRW, en Natura2000 duidelijke referentiewaarden gedefinieerd die een goede status van de Waddenzee weergeven. Hieraan kan monitoringsdata eenvoudig getoetst worden. Voor de benthos is dit niet het geval. Referentiewaarden zijn voor de benthos ontleend aan waarden in de monitoringsdata zelf. Dit hoeft geen probleem te zijn, maar hierbij is het meer van belang om met experts deze kaders te beoordelen en om de juiste soorten te selecteren. In de KRW is er voor benthos soorten/genera wel aangegeven in welke dichtheid ze verwacht worden voor te komen in de Waddenzee, waarop ook meer specifieke referentiewaarden geformuleerd kunnen worden. Ook worden er in de KRW nog andere methodes voorgesteld om de benthos te beoordelen, namelijk aan de hand van soortenrijkdom, de Shannon index (maat voor diversiteit voor alle soorten in een monster), en de AMBI (AZTI Marine Biotic Index)³⁹. In de AMBI zijn aan meer dan 11.000 benthos genera bepaalde scores toegekend, welke kunnen worden gecombineerd om de kwaliteit van benthos op zacht substraat weer te geven. Deze mogelijkheden kunnen beter verkend worden in de volgende fase.

In de beoordeling van de status aan de hand van referentiewaarden, worden in de huidige methode waarden boven (of onder in geval van chlorofyl-a) de referentiewaarde altijd als positief gezien. Als waarden er ver boven liggen heeft dit waarschijnlijk geen positief effect; teveel vogels van één soort, te lage temperaturen etc. zijn ook niet wenselijk. Daarom kan in een volgende fase verkend worden hoe dit gegeven per indicator geïmplementeerd kan worden.

Binnen het Beleidskader Natuur Waddenzee wordt in opdracht van LNV samen met experts op de verschillende domeinen verder gewerkt aan het vaststellen van referentiewaarden, die deels zullen voortkomen uit de Bouwsteen “Streefwaarden” (uitgevoerd door RVO, SBB en RWS).

Aanbevelingen

- › Bouw bij het vastleggen van referentiewaarden zo veel mogelijk (kritisch) voort op operationele raamwerken zoals OSPAR/KRM, de KRW en Natura 2000.

Suggesties voor concrete vervolgstappen

- › Analyseer, gegeven de verschillen in ontwerpdoelen, in hoeverre deze raamwerken daadwerkelijk bruikbaar zijn binnen de Staat
- › Inventariseer zo veel mogelijk bronnen m.b.t referentiewaarden. Rapporteer hierover in het datarapport

Dankwoord

We zijn de opdrachtgevers, de opdrachtnemers van de andere bouwstenen, de deelnemers aan diverse interne en externe bijeenkomsten, de Basismonitoring Wadden, het LTER LIFE programma, en de meelezers van eerdere versies van dit rapport zeer erkentelijk voor hun bijdragen. Onze dank gaat met name uit naar diegenen die de in dit rapport besproken tijdseries zijn gestart, diegenen die langjarige observaties blijven volhouden of het werk van hun voorgangers hebben voortgezet, en ook de diverse instanties en kennisinstellingen die deze meetprogramma's financieren.

Literatuur

- Baptist, M. J., Van Der Wal, J. T., Folmer, E. O., Gräwe, U., & Elschot, K. (2019). An ecotope map of the trilateral Wadden Sea. *Journal of sea research*, 152, 101761. DOI: 10.1016/j.seares.2019.05.003
- Cash, D. W., Clark, W. C., Alcock, F., Dickson, N. M., Eckley, N., Guston, D. H., Jäger, J. and Mitchell, R. B. (2003). Knowledge systems for sustainable development. *Proceedings of the national academy of sciences*, 100 (14), 8086–8091. DOI: 10.1073/pnas.1231332100
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2024). Europese Kaderrichtlijn Water (indicator 1412, versie 05, 30 juli 2020) www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen
- Maes, J., Bruzón, A. G., Barredo, J. I., Vallecillo, S., Vogt, P., Rivero, I. M., & Santos-Martín, F. (2023). Accounting for forest condition in Europe based on an international statistical standard. *Nat Commun* 14, 3723 (2023). DOI: 10.1038/s41467-023-39434-0
- Soldaat, L., H. Visser, M. van Roomen en A. van Strien (2007). Smoothing and trend detection in waterbird monitoring data using structural time-series analysis and the Kalman filter. *J. Ornithol.* 148 (Suppl 2): 351–357. DOI: 10.1007/s10336-007-0176-7
- STOWA (2018), Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021–2027, versie mei 2024. STOWA rapport 2018/49. <https://www.stowa.nl/publicaties/referenties-en-maatlatten-voor-natuurlijke-watertypen-voor-de-kaderrichtlijn-water-2021-2027-versie>
- Van Strien, A. J., Soldaat, L. L., & Gregory, R. D. (2012). Desirable mathematical properties of indicators for biodiversity change. *Ecological indicators*, 14(1), 202–208. DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.07.007
- Van Strien, A., Pannekoek, J., Hagemeyer, W., & Verstrael, T. (2004). A loglinear Poisson regression method to analyse bird monitoring data. *Bird*, 482, 33–39
- Underhill L.G. en R.P. Prys-Jones (1994). Index numbers for waterbird populations. (I) review and methodology. *J. Appl. Ecol.* 31: 463–480. DOI: 10.2307/2404443
- United Nations *et al.* (2021). *System of Environmental-Economic Accounting—Ecosystem Accounting (SEEA EA)*. White cover publication, pre-edited text subject to official editing. Available at: <https://seea.un.org/ecosystem-accounting>
- Visser, H. (2004). Estimation and detection of flexible trends. *Atmospheric Environment*, 38 (25), 4135–4145. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2004.04.014
- Visser, H., Dangendorf, S., & Petersen, A. C. (2015). A review of trend models applied to sea level data with reference to the “acceleration-deceleration debate”. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120 (6), 3873–3895. DOI: 10.1002/2015JC010716
- Wijnhoven, S., Bos, O.G. (2017). *Benthische Indicator Soorten Index (BISI): Ontwikkelingsproces en beschrijving van de Nationale Benthos Indicator Noordzee inclusief protocol voor toepassing*. Ecoauthor Report Series 2017 - 02, Heinkenszand, the Netherlands. [pdf]



waddenacademie

