



Verkenning waterbodembodem en natuur in het IJsselmeergebied

Veranderingen in diepteverdeling in samenhang met ecologische waarden



Verkenning waterbodembodem en natuur in het IJsselmeergebied

Veranderingen in diepteverdeling in samenhang met ecologische waarden

Auteur(s)

Ruurd Noordhuis

John van Schie

Gijs Hekkert

Verkenning waterbodem en natuur in het IJsselmeergebied

Veranderingen in diepteverdeling in samenhang met ecologische waarden

Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Contactpersoon	Koen Kaffener
Projectreferenties	
Trefwoorden	IJsselmeergebied, dieptelodingen, waterbodem, erosie, sedimentatie, benthos, natuurwaarden

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	21-11-2025
Projectnummer	11212140-002
Document ID	11212140-002-ZWS-0002
Pagina's	42
Classificatie	
Status	Definitief

Auteur(s)

	Ruurd Noordhuis (Deltares) John van Schie (RWS-CIV) Gijs Hekkert (WUR)	

Samenvatting (conclusies)

Vooraf

Dit onderzoek is een verkenning van mogelijke relaties tussen veranderingen in bodemhoogte en ecologische waarden in het IJsselmeer en Markermeer. Het onderzoek is uitgevoerd binnen een samenwerkingsverband van onderzoekers van Rijkswaterstaat (WVL en CIV), WUR (WEnR), UvA, Deltares en Coalitie Blauwe Hart Natuurlijk.

De dieptelodungen die regulier worden uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat, zijn de basis van de studie. Deze metingen zijn in de eerste plaats opgezet ten behoeve van scheepvaart. De in dit rapport beschreven veranderingen in bodemhoogte en mogelijke ecologische gevolgen moeten daarom kritisch worden bekeken. Het is een eerste verkenning met als resultaat aannames over de relevante processen die de een rol spelen in de ruimtelijke variatie van ecologische waarden.

De lodingsdata kennen onnauwkeurigheidsmarges. Die marges worden veroorzaakt door een verscheidenheid aan factoren en zijn relatief groot bij gebruik op een klein schaalniveau (specifieke locatie). Door ze op een ruimtelijke grote schaal te gebruiken worden die marges kleiner. Drie lodingsrondes zijn uitgevoerd over een periode van dertig jaar (vanaf 1996). Gedurende deze periode zijn de methodes geavanceerder geworden. Uitvoering van een volledige ronde lodingen duurt enkele jaren en wordt uitgevoerd in enkele vakken van ca 10x15 km per jaar. Verschillen tussen vakken kunnen daarbij ook zijn ontstaan doordat verschillende aannemers met verschillende schepen werkten.

Deze onnauwkeurigheidsmarges zijn nog niet gedegen geanalyseerd. Gezien de verrassende bevinden in deze verkenning moet die analyse een cruciaal onderdeel zijn van de beoogde vervolgstudie. Dan kan ook grondverzet, zoals zandwinning, vaargeulonderhoud en natuurbouw worden meegenomen.

In deze studie is een analyse gemaakt van de veranderingen in bodemhoogte in het IJsselmeer en Markermeer sinds de afsluiting en van de relatie met de dichtheden van Driehoeks- en Quaggamosselen. Uit de resultaten kan het volgende worden afgeleid:

- Sinds de bouw van de Afsluitdijk is een zekere bodemvervlakking opgetreden door erosie en verdieping van ondiepe delen en opvulling en verondieping van diepe delen, zoals de centrale geulen in het IJsselmeer.
- In het gebied dat in 2006 nog uit buitendijks water bestond was sinds de afsluiting ca 135 km² in de dieptezone 0-3 meter (begroeibaar areaal voor waterplanten volgens de KRW) verdwenen (ca 30%). De zone dieper dan 7 meter is met 80% afgenomen, de zone van 3-7 meter is overeenkomstig in areaal toegenomen.
- Uit analyse van recente lodingsgegevens in de periode 1996-2023 blijkt dat een dergelijke vervlakking recent nauwelijks meer optreedt.
- In het IJsselmeer lijkt de verondieping van de centrale geulen min of meer tot stiltand te zijn gekomen. In het noorden lijkt sprake van een afwisseling van verdieping en verondieping. Het zuiden van het IJsselmeer is recent over een groot deel van het totale areaal dieper geworden.

- In het Markermeer is in het verleden vooral in het westen verdieping opgetreden, terwijl in het oosten bij Lelystad bepaalde gebieden ondieper werden. De westelijke helft van het Markermeer is sinds 1935 ongeveer een halve meter dieper geworden.
- Recent lijkt er in het Markermeer sprake te zijn van gemiddeld orde grootte 8-10 mm verdieping per jaar. Deze verdieping betreft bijna het gehele Markermeer-IJmeer buiten de IJmeerput en Marker Wadden. In het laatste decennium is de verdieping relatief sterk in de diepere gebieden, mogelijk door consolidatie van op langere termijn gesedimenteerd slib.
- Mosselen komen in het IJsselmeer in de hoogste dichtheden voor waar weinig verandering in bodemhoogte optreedt. In het Markermeer ligt de piek op de schaal van bodemhoogte verandering rond 1 cm verdieping, ongeveer de waarde waarmee het Markermeer gemiddeld per jaar verdiept. De dichtheden in het Markermeer zijn lager dan in het IJsselmeer en komen overeen met de dichtheden bij deze mate van erosie daar.
- Er zijn geen aanwijzingen gevonden voor een stimulans van sedimentatie of een afremming van erosie door de aanwezigheid van hogere dichtheden van mosselen.

Deze resultaten moeten nog worden getoetst met betrekking tot effecten van foutmarges en technische details van de gebruikte lodingstechnieken en de data. De gepresenteerde resultaten zijn dus voorlopig en bedoeld voor hypothesevorming en verdere uitwerking. Mogelijke vervolgstappen zijn onder meer: koppeling met modelresultaten voor bodemschuifspanning en stroming (o.m. invloed IJssel en andere aanvoerbronnen), meer gedetailleerd kuberen van de veranderingen, vergelijking met gegevens over onttrekking van sediment en een survey van de recente bodemsamenstelling en stoffenconcentraties. De kennis over de stoffenbalans en de productiviteit van de ecosystemen wordt zo verder verfijnd.

Inhoud

	Samenvatting (conclusies)	4
	Inhoud	6
1	Inleiding	8
1.1	Onderwaternatuur in het IJsselmeergebied	8
1.1.1	Context	8
1.1.2	Project Onderwaternatuurkaarten	8
1.2	Opzet project Onderwaternatuurkaarten	9
2	Bestaande kennis	10
2.1	Diepteveranderingen na de afsluiting	10
2.2	Aspecten van diepte-afhankelijkheid natuurwaarden	12
2.2.1	Begroeibaar areaal waterplanten	12
2.2.2	Diepte en bodemfauna	13
2.2.3	Diepte en benthivore watervogels	13
3	Recente diepteveranderingen	14
3.1	Beschikbare data en methoden	14
3.1.1	Kartering jaren 1930	14
3.1.2	Recente karteringen: singlebeam lodingen RWS	14
3.1.3	Putten en geulen; multibeam lodingen	15
3.1.4	Vergelijking in twee stappen	16
3.2	Geïnterpoleerde kaarten per ronde	17
3.2.1	Verschilkaarten	17
3.2.2	Raaien	18
3.2.2.1	Raai 1: Noordelijk IJsselmeer	19
3.2.2.2	Raai 2: Centraal IJsselmeer	20
3.2.2.3	Raai 3: Markermeer	21
3.2.3	Kubering	22
3.3	Uitwerking per lodingsvak	24
3.3.1	IJsselmeer	25
3.3.2	Markermeer	26
4	Koppeling met biologische gegevens	27
4.1	Mosselkarteringen	27
4.1.1	Beschikbaarheid van gegevens	27
4.1.2	Verschilkaarten dichtheden mosselen	28
4.1.3	Koppeling van bodemhoogte verschillen en mosselen	30
4.1.3.1	Diepteverdeling	30
4.1.3.2	Effect van bodemdynamiek	32
5	Discussie	35
5.1	Meetstrategie dieptelodingen	35

5.2	Koppeling ecologie	36
5.3	Toepassingsmogelijkheden en aanbevelingen	37
6	Referenties	39
7	Bijlage 1	40

1 Inleiding

1.1 Onderwaternatuur in het IJsselmeergebied

1.1.1 Context

Het IJsselmeergebied kent belangrijke natuurwaarden, waarvan een deel erkenning heeft gekregen in de doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water en Natura 2000 en in beheersplannen. Er zijn ook tekortkomingen, die vooral te maken hebben met de kunstmatige inrichting en het peilbeheer van de meren. Daardoor zijn de ecosystemen niet veerkrachtig genoeg om de verschillende vormen van druk te weerstaan en worden niet alle doelen gehaald. Dit wordt geadresseerd in programma's zoals de Programmatische Aanpak Grote Wateren. Om dit efficiënt te kunnen doen is kennis nodig van de sturende factoren en processen achter de natuurwaarden. Veel kennis is beschikbaar uit monitoringsprogramma's en onderzoeks- en uitvoeringsprojecten ANT (Autonome Neergaande Trends) en KIMA (Kennis- en Innovatieprogramma Marker Wadden). De ruimtelijke verdeling en diversiteit van natuurwaarden onder water is echter maar beperkt in beeld, zeker als het gaat om de interactie met fysische bodemkarakteristieken, stromingsdynamiek en erosie-sedimentatieprocessen. Ook is de laatste 15 jaar relatief veel aandacht aan het Markermeer besteed, waardoor het IJsselmeer en de Randmeren wat buiten beeld zijn geraakt.

1.1.2 Project Onderwaternatuurkaarten

Het project Onderwaternatuurkaarten wordt uitgevoerd in een samenwerkingsverband van WUR, UvA, Rijkswaterstaat, Deltares en Coalitie Blauwe Hart Natuurlijk. Het is gericht op kennisontwikkeling over de ruimtelijke diversiteit aan bodemkarakteristieken in samenhang met natuurwaarden. In het project wordt gepoogd de kennis over de interactie tussen bodemkarakteristieken en ecologie te verbeteren in het gehele IJsselmeergebied. Dit document rapporteert een start met behulp van een bewerking van de beschikbare ruimtelijke informatie over de diepteverdeling in het IJsselmeer en het Markermeer. Daarmee zijn de veranderingen en de dynamiek van de bodemhoogte door erosie en sedimentatie sinds de aanleg van de Afsluitdijk in beeld gebracht. Ook is een start gemaakt met de koppeling met ruimtelijke ecologische gegevens, in de vorm van de beschikbare reeks mosselkarteringen sinds 1969.

1.2 Opzet project Onderwaternatuurkaarten

Het project is in 2024 gestart met inventarisatie en opslag van beschikbare kaartbeelden en gerelateerde kennis, een beoordeling van de bruikbaarheid daarvan t.b.v. gestelde vragen en een identificatie van de kennisleemtes. In 2025 is een start gemaakt met het vullen van een deel van die leemtes door middel van koppeling van fysische en ecologische informatie.

In deze rapportage:

Hoofdstuk 2:

Een samenvatting van beschikbare kennis in de vorm van een bewerking van dieptegegevens van het IJsselmeergebied op basis van een oude dieptekaart uit ca. 1935 en een op basis daarvan gemaakte bodemhoogte verschilkaart tussen 1935 en 2006 (Sterk 2010). Deze kaart vormde een belangrijke inspiratiebron voor de invulling van het project Onderwaternatuurkaarten.

Hoofdstuk 3:

Een bewerking van drie recente rondes van dieptelodingen door Rijkswaterstaat uit de perioden 1996-2001, 2005-2011 en 2016-2023. Deze gegevens zijn met name verwerkt tot nieuwe bodemhoogteverschilkaarten voor de twee perioden tussen de drie laatstgenoemde lodingsrondes.

Hoofdstuk 4:

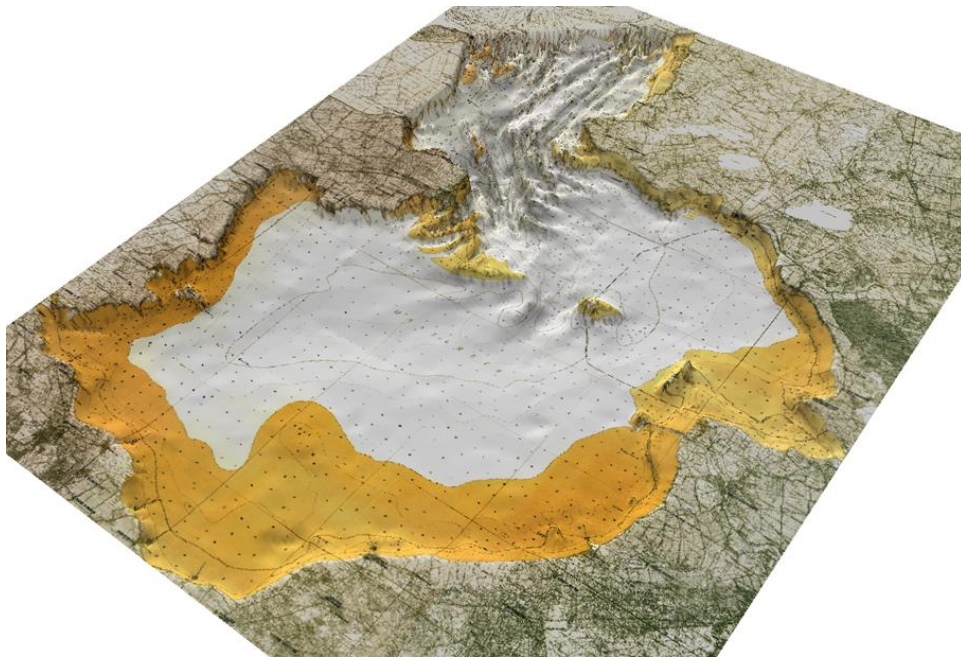
Eerste analyse van de relatie tussen de gevonden bodemeigenschappen met biologische data, in de vorm van de verspreiding van zoetwatermosselen. Gebaseerd op de koppeling van data over de dichtheid van Driehoeks- en Quaggamosselen met de veranderingen in bodemhoogte op het meetgrid van de mosselkarteringen.

2 Bestaande kennis

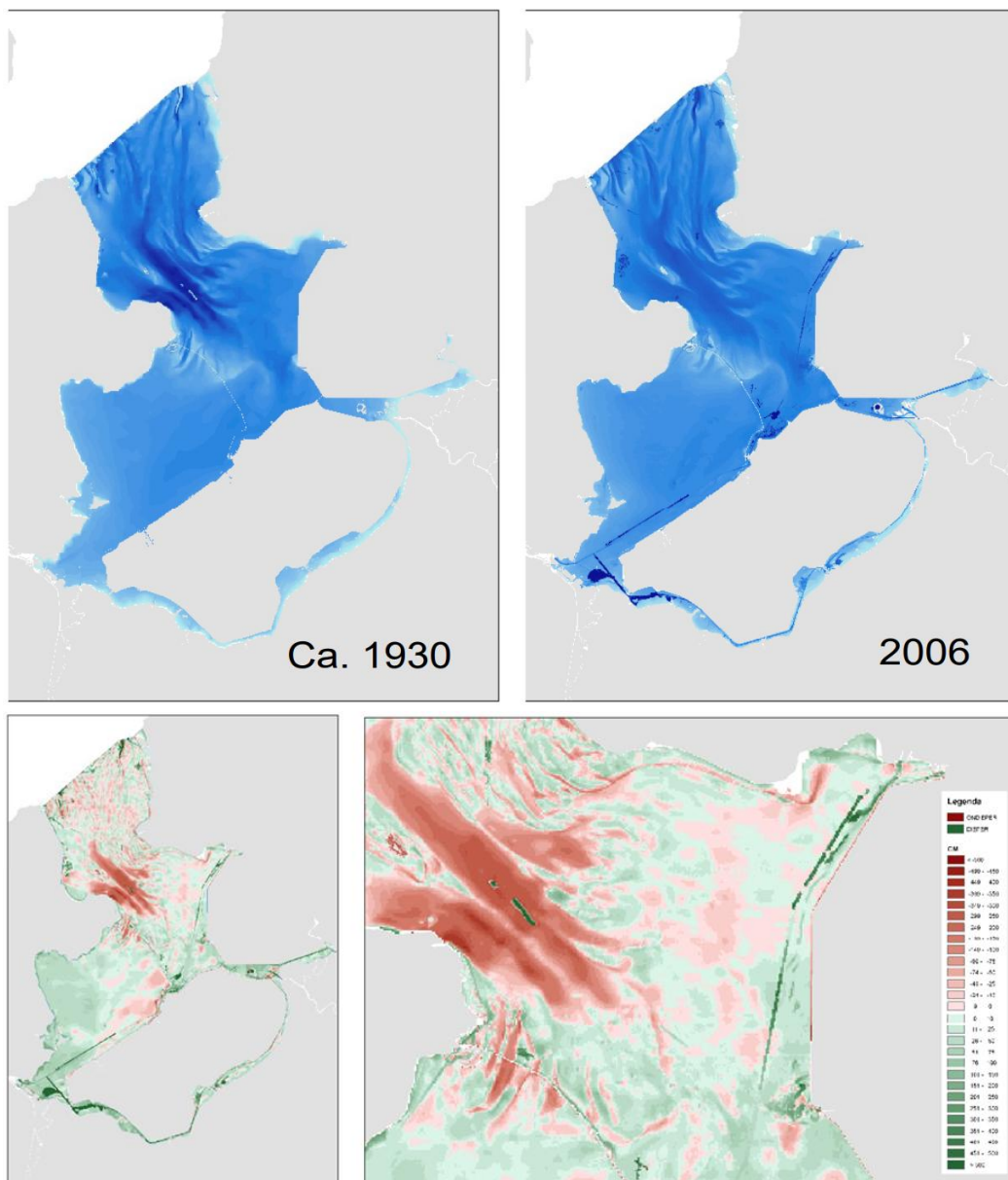
2.1 Diepteveranderingen na de afsluiting

Voor 1932 had de Zuiderzee een diepteverdeling die werd gekenmerkt door relatief vlakke bodems in de zuidelijke kom en relatief diepe geulen van de IJsselmonding naar het noorden. Geulen bij Wieringen en voor de kust van Makkum leidden naar een complexer geheel van geulen in de huidige Waddenzee, in verbinding met de Noordzee tussen de Waddeneilanden.

De aanleg van de Afsluitdijk doorsneed de twee geulen bij Wieringen en Makkum en had gevolgen voor de verdeling van diepte en stroming in de nieuw gevormde Waddenzee. De gevolgen voor de diepteverdeling in het IJsselmeergebied zijn minder goed in beeld. Het meest bruikbaar wat dat betreft is de analyse van Hans Sterk (2010), die in het kader van een stage bij Rijkswaterstaat een dieptekaart van omstreeks 1930 (of 1935, zie toelichting par. 3.1.1) digitaliseerde (figuur 2.1) en vergeleek met de op dat moment meest recente lodingsronde, omstreeks 2006. Belangrijk resultaat was een bodemhoogte verschilkaart die de diepteveranderingen tussen deze twee periodes liet zien (figuur 2.2).



Figuur 2.1. 3D weergave van een dieptekaart van omstreeks 1930 (ArcScene, uit Sterk 2010).



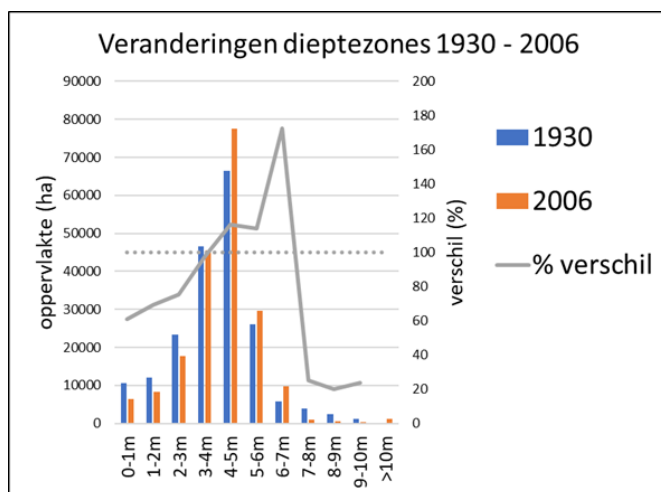
Figuur 2.2. Dieptekaarten en Hoogteverschilkaart 1930 – 2006. Uit Sterk 2010. Legenda (ook in origineel slecht leesbaar) loopt van >500 cm verhoging (rood) tot >500 cm verdieping (groen).

Deze kaart laat zien dat ondiepe gebieden op veel plaatsen dieper zijn geworden en diepe gebieden ondieper. Met betrekking tot IJsselmeer en Markermeer valt met name op:

- In het IJsselmeer zijn de oude stromingsgeulen flink verondiept
- In het Markermeer is het ondiepere westen dieper geworden, het diepere oosten is ondieper geworden.

Uit de gegevens in het genoemde rapport blijkt dat het areaal van de dieptezone tussen NAP -4 meter en NAP -7 meter tussen deze twee perioden is toegenomen. Het areaal van de zone met een diepte van meer dan NAP -7 meter is met 80% afgenomen, het areaal met dieptes van 0 tot 3 meter is afgenomen met 30% (figuur 2.3).

De analyse betreft een periode van ca 75 jaar. Binnen deze periode zijn geen andere dieptegegevens gebruikt. Het is dus niet in beeld in welk tempo de weergegeven veranderingen zich hebben voltrokken. Van belang is dat het gebied ondertussen sterk is gecompartimenteerd door de aanleg van de IJsselmeerpolders en de Houtribdijk. Met name de sluiting van de Houtribdijk in 1975 is waarschijnlijk van belang voor de interpretatie van de veranderingen.



Figuur 2.3. Diepteverdeling in zones van een meter t.o.v. NAP in 1930 (1935) en omstreeks 2006, met verschilpercentages.

2.2 Aspecten van diepte-afhankelijkheid natuurwaarden

2.2.1 Begroeibaar areaal waterplanten

In combinatie met de helderheid van het water is de diepte bepalend voor de hoeveelheid licht die op de bodem valt, en daarmee voor de aanwezigheid van waterplanten. Binnen de Europese Kaderrichtlijn Water is per watertype de diepte bepaald tot waarop waterplanten groeien wanneer voldaan wordt aan het Goed Ecologisch Potentieel (GEP; in de praktijk het KRW doel). In de wateren van het IJsselmeergebied is dat een waterdiepte van 3 meter.

Verlies van 30% van het areaal van 0-3 meter sinds 1930 (ca 135 km²) betekent dus ongeveer overeenkomstig verlies van het “begroeibare areaal”, met enig verschil omdat een waterdiepte van 3 meter bij zomerpeil in feite overeenkomt met ongeveer NAP -3,2 meter. Hoewel de KRW vooral de dichtheid en samenstelling van vegetatie binnen dat areaal beoordeelt, worden ten aanzien van het areaal zelf ook doelen gesteld in het kader van de PAGW en de kernopgaven van het ministerie van LVVN (presentatie Kevin Verdel, platformdag Ondiepe Meren, Almere, 25 sept 2025). Relevant is dus enerzijds hoe het resterende areaal zich verhoudt tot deze doelen, anderzijds hoe de afname van het areaal door de tijd is verlopen (en naar verwachting in de toekomst zal verlopen).

Voor het IJsselmeergebied worden door (of in opdracht van) RWS in de zone tot 3 meter elke drie jaar gedetailleerde karteringen van samenstelling en dichtheden van de ondergedoken vegetatie uitgevoerd. De relatie tussen bodemdynamiek en waterplanten is in het project nog niet uitgewerkt, en wordt dus in dit document verder niet besproken. In een vervolg is dit goed mogelijk, hoewel de lodingen in de meest ondiepe gebieden zijn beperkt tot de dieptezone waar het vaartuig dat de lodingen uitvoert nog kan varen.

2.2.2 Diepte en bodemfauna

Abundantie en samenstelling van de bodemfauna is via verschillende mechanismen diepte – afhankelijk. In deze studie is vanwege de goede beschikbaarheid en kwaliteit van data gestart met koppeling van gegevens uit mosselkarteringen met de dieptegegevens. Het betreft dan vooral banken van Driehoeksmossel *Dreissena polymorpha*, vanaf 2007 vergezeld door de nauw verwante Quaggamossel *D. bugensis*, die in een paar jaar tijd dominant werd. Hiervan is een reeks van ongeveer 9 min of meer volledige karteringen van IJsselmeer en Markermeer beschikbaar, de eerste uit 1969. In deze banken vormen de dichtheden naar verwachting een wisselwerking met erosie- en sedimentatiekarakteristieken. Dit is uitgewerkt in hoofdstuk 4.

2.2.3 Diepte en benthivore watervogels

Ook watervogels zijn in deze studie nog niet meegenomen, behalve als een van de factoren die van invloed is op de diepteverdeling van de mosselen. Mosselen kunnen tot op een zekere diepte door duikeenden worden benut (De Leeuw 1997; De Leeuw & Van Eerden 1995; Van Eerden et al. 2005). De energetische opbrengst is tot op die diepte voldoende om de kosten van het duiken te overtreffen. Die diepte hangt onder meer af van de kwaliteit en de dichtheid van de mosselen.

Watervogels worden door Rijkswaterstaat maandelijks vanuit een vliegtuig geteld in telgebieden langs de kusten van het IJsselmeer en Markermeer. Het open water wordt steekproefsgewijs geteld door het vliegtuig lussen in de richting van het midden van het meer te laten vliegen. Deze gegevens zijn nog niet geïnterpoleerd. De meeste soorten komen ook vooral in die kustgebieden voor, en sommige soorten rusten overdag in die gebieden maar foerageren 's nachts op open water. De relatie met sedimentkarakteristieken die kan worden gelegd is dus minder direct dan die met het voorkomen van mosselen of planten.

3 Recente diepteveranderingen

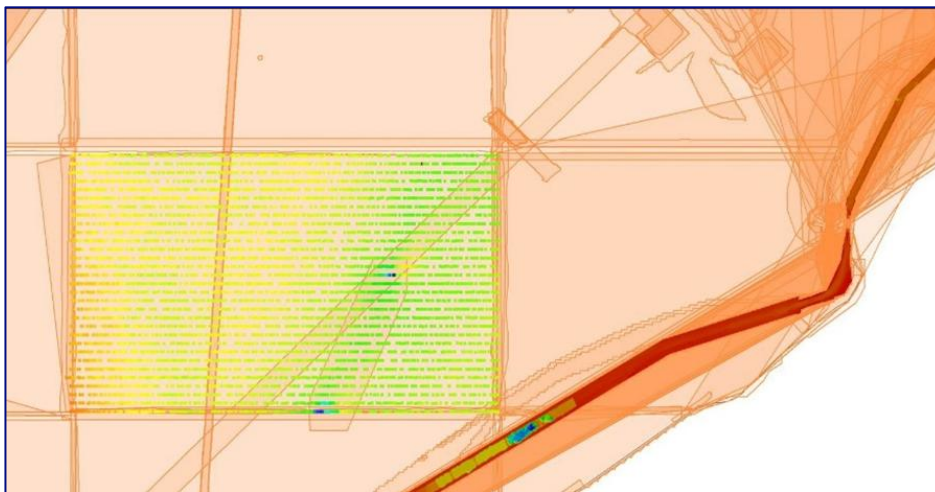
3.1 Beschikbare data en methoden

3.1.1 Kartering jaren 1930

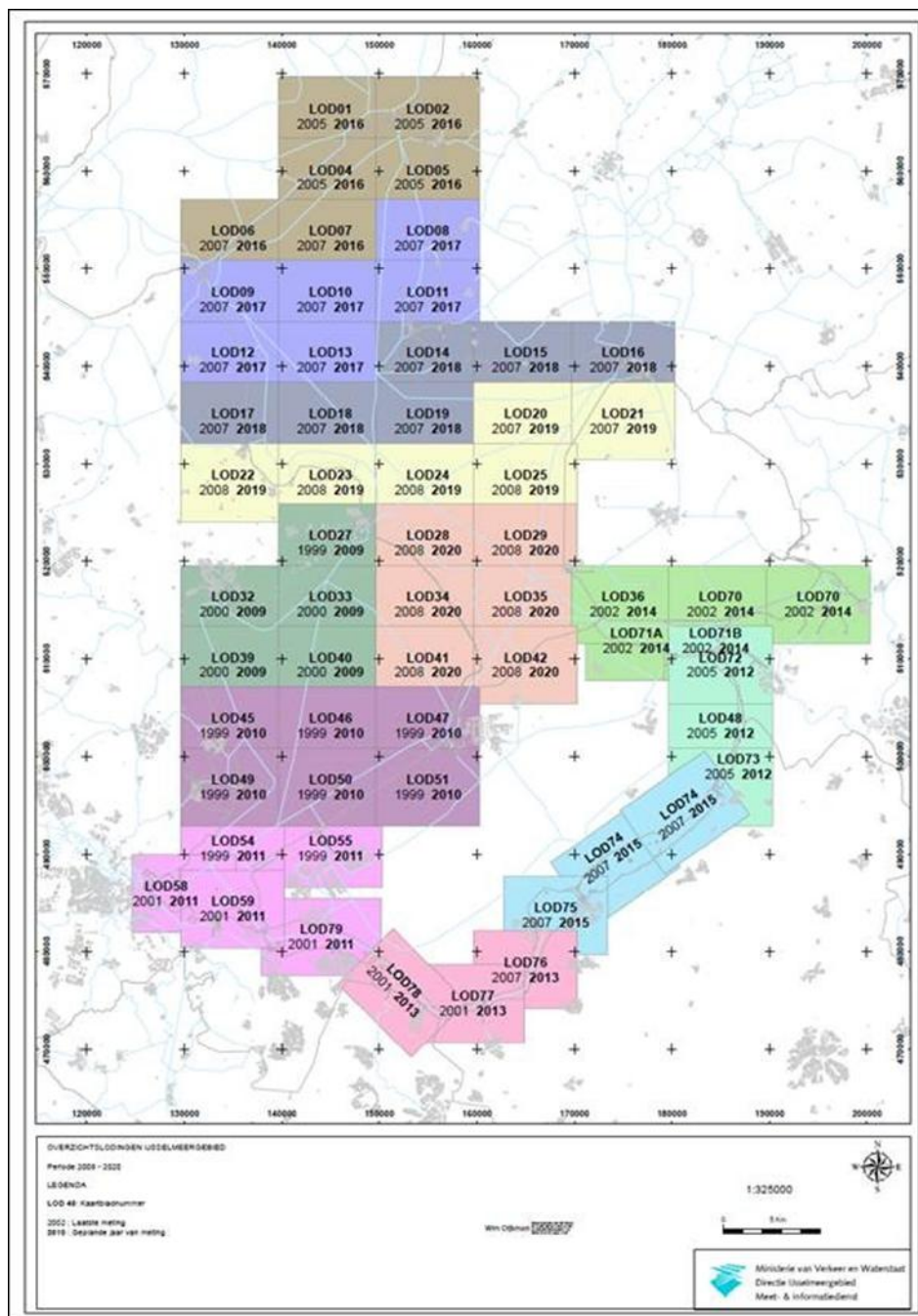
Er zijn twee dieptekaarten beschikbaar van voor of rond de afsluiting van de Zuiderzee. Beide zijn papieren kaarten met aangegeven dieptes, zonder databestand. De oudste is van 1905, de tweede heeft geen jaartal, maar is van na de voltooiing van de Wieringermeerpolder en de Afsluitdijk. De contouren van de Noordoostpolder zijn met een onderbroken lijn weergegeven. De kaart moet dus van omstreeks 1935 stammen. Deze kaart geeft dieptelijnen en losse dieptes die zijn weergegeven in decimeters beneden NAP. Wellicht zijn dit handlodingen die m.b.v. de waterstand zijn omgerekend naar NAP-dieptes. Ondanks de foutenmarges die deze methodiek in zich heeft, geeft vergelijking met recente dieptemetingen de indruk dat de resultaten voldoende betrouwbaar zijn voor een vergelijking. De gegevens uit 1905 wekken op die manier minder vertrouwen. Dit komt voor een deel door onvolledige transformatie van de op de kaart weergegeven coördinaten, waardoor diepte waarden zijn verschoven ten opzichte van die van de andere bestanden (Sterk 2010). De kartering van 1905 wordt daarom in deze studie niet gebruikt.

3.1.2 Recente karteringen: singlebeam lodingen RWS

De recente datasets zijn gebaseerd op singlebeam lodingen van Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat voert vrijwel jaarlijks dieptelodingen uit in het IJsselmeergebied, in vakken van 10 x 15 km. Binnen deze vakken worden raaien gevaren op een onderlinge afstand van 200 meter in IJsselmeer en Markermeer, 100 meter in de randmeren (figuur 3.1). Op deze raaien worden al varende continu metingen uitgevoerd. Elk jaar worden ca 6-8 van deze vaklodingen uitgevoerd, een volledige cyclus van het gehele IJsselmeergebied beslaat 8-12 jaar. Sinds 1995 zijn drie volledige cycli uitgevoerd. De middelste hiervan is gebruikt in de studie van Sterk (2010). Met behulp van deze drie cycli kunnen recente veranderingen in de diepteverdeling worden onderzocht en vergeleken met de veranderingen sinds 1935.



Figuur 3.1. Voorbeeld resultaten van een van de singlebeam opnamevakken in het Markermeer, met oost-west raaien met een onderlinge afstand van 200 meter. In de vaargeul multibeam resultaten.



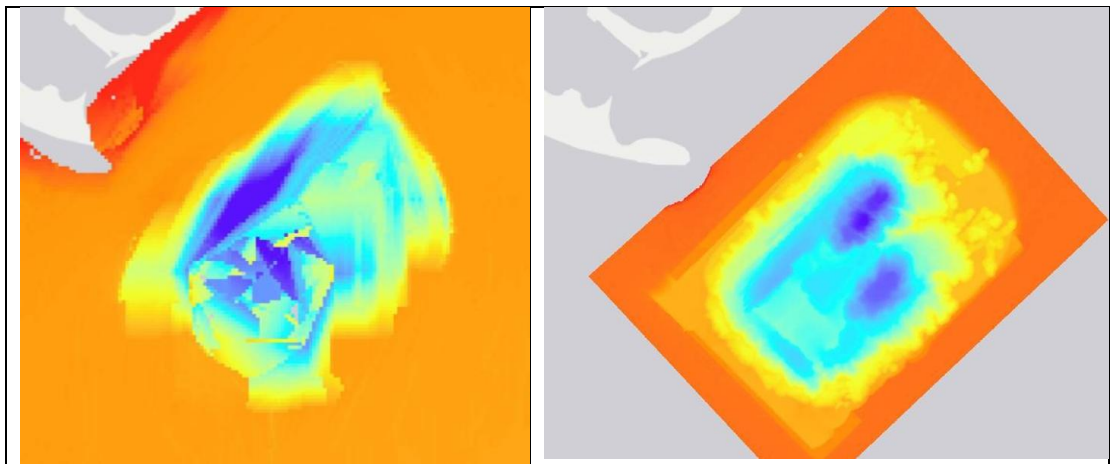
Figuur 3.2. Overzicht van de opname jaren van de singelbeam vakken over de laatste twee volledige cycli.

3.1.3 Putten en geulen; multibeam lodingen

Behalve de singlebeam lodingen zijn vlakdekkende multibeam lodingen beschikbaar van diepere delen zoals vaargeulen, diepe putten en de omgeving van kunstwerken. Figuur 3.3 geeft een voorbeeld voor de slibvangputten rond Marker Wadden. De multibeam lodingen geven daar veel meer detail dan de geïnterpoleerde singlebeam lodingen (figuur 3.4). Ze worden ook vaker uitgevoerd, de vaargeulen driejaarlijks, putten soms projectmatig (slibvangputten Marker Wadden).



Figuur 3.3. Overzicht lodingen Marker Wadden, 10 april 2024.



Figuur 3.4. Geïnterpoleerd singlebeam diepteprofiel en multibeam profiel van de zuidoostelijke slibvangput bij Marker Wadden.

3.1.4 Vergelijking in twee stappen

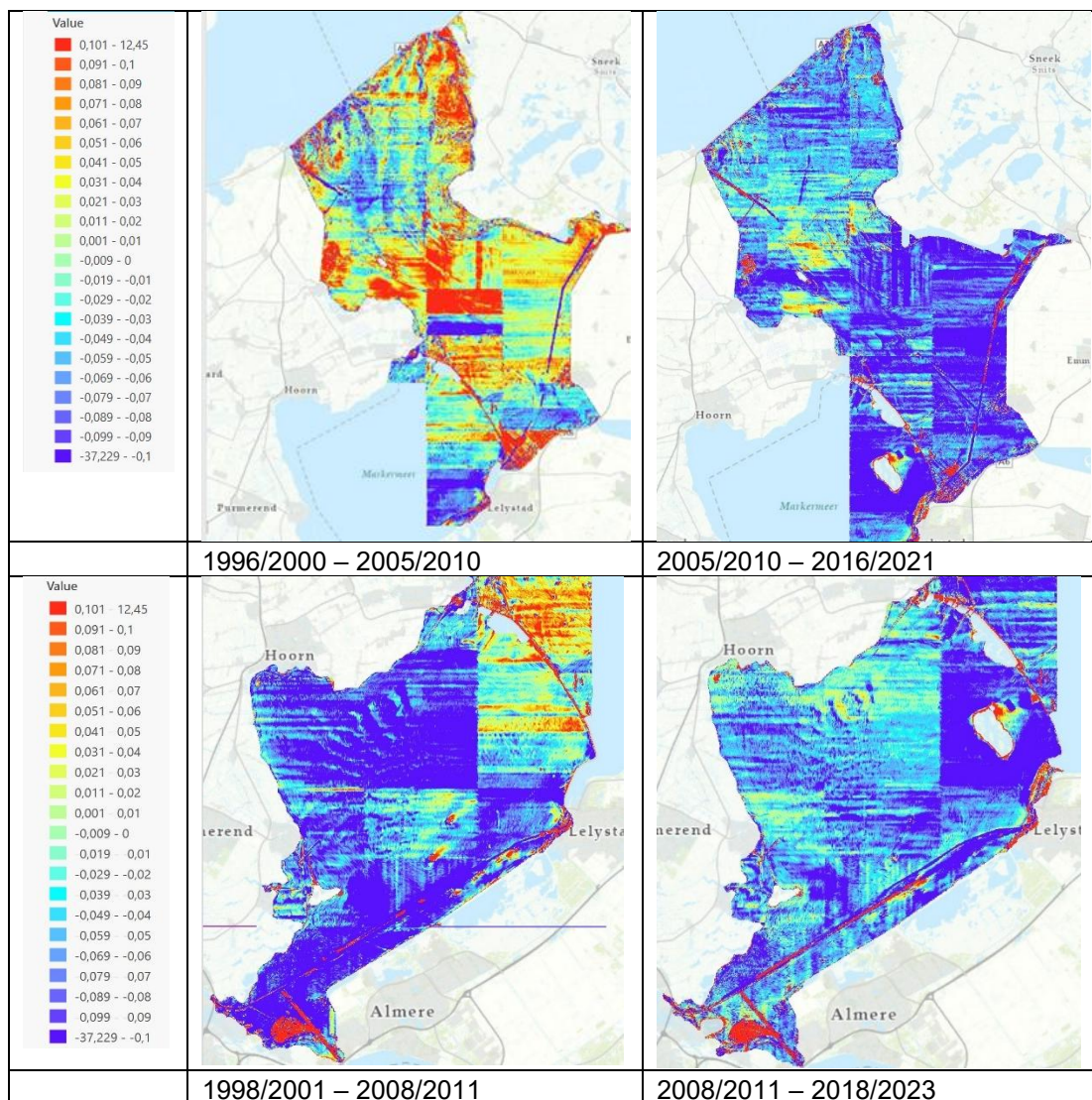
De vergelijking van de verschillende lodingsrondes is in de eerste plaats uitgevoerd op basis van geïnterpoleerde dieptekaarten per ronde. Hierbij bestaat dus de beperking dat de gegevens per ronde afkomstig zijn uit meerdere jaren en dat onnauwkeurigheden kunnen ontstaan bij interpolatie van naast elkaar gelegen vakken met data uit opeenvolgende jaren. Toch geven de verschilkaarten tussen deze rondes een goede eerste indruk van de patronen in diepteveranderingen. Deze veranderingen zijn in beeld gebracht door middel van raaien en van kuberingen (verschil in volume) over een groot oppervlak.

Om een nauwkeuriger beeld te krijgen van de snelheid van verandering, vooral ook voor koppeling met biologische parameters, is een vergelijking uitgevoerd per 10x15 km vak, zodat de diepteveranderingen kunnen worden uitgedrukt in cm per jaar. Ook deze veranderingen kunnen worden omgezet via kubering, bijv. voor vergelijking met volumes van zandwinning.

3.2 Geïnterpoleerde kaarten per ronde

3.2.1 Verschilkaarten

Net als in Sterk (2010) zijn de recente lodingsrondes gebruikt om bodemhoogte verschilkaarten te maken. Figuur 3.5 laat deze verschilkaarten zien (vergelijk dieptekaarten en verschilkaart 1930-2006; figuur 2.2). Dat de lodingen in clusters van vakken is uitgevoerd die zijn verspreid over een aantal jaren, is terug te zien in de verschilpatronen. Dit effect vermindert door de verschillen per vak uit te drukken in verandering per jaar (zie paragraaf 3.3). Toch vallen op basis van deze verschilkaarten per ronde al een aantal dingen op.



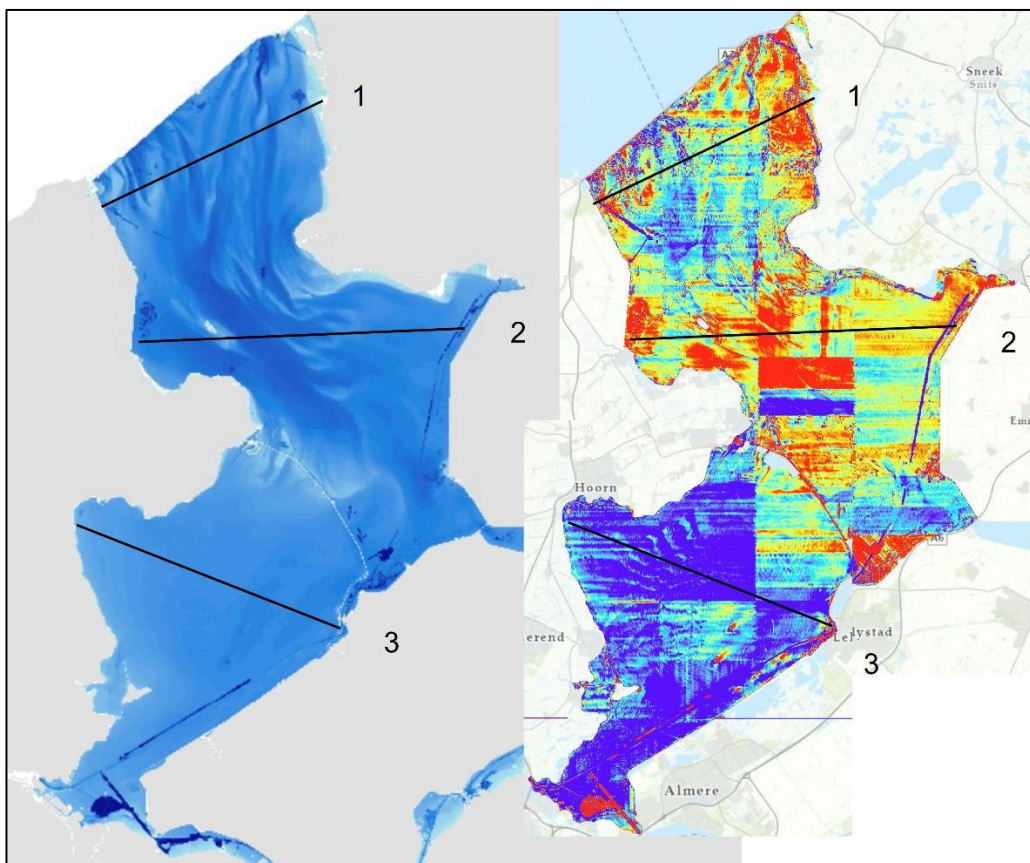
Figuur 3.5. Bodemhoogte verschilkaarten voor de twee perioden tussen de drie recente rondes dieptelodungen van RWS. Value = hoogteverschil in meters over de aangegeven periode.

In het IJsselmeer valt een verschil tussen de twee periodes op: in de eerste periode lijkt relatief veel sprake te zijn geweest van verondieping, met name bij Lemmer, langs de Friese westkust, bij Andijk en in de centrale geulen (vergelijk figuur 2.2). In het centrale deel van de noordelijke helft van het meer was sprake van verdieping. In de tweede periode was veel meer sprake van verdieping, vooral in de zuidelijke helft van het IJsselmeer. Verondieping vond plaats in enkele putten (bijv. rode vlek Flevoput in het zuiden, tussen Houtribhoek en Lelystad) en nog maar heel beperkt in de centrale geulen.

In het Markermeer lijkt juist in de eerste periode relatief sterke verondieping te hebben plaatsgevonden. In de tweede periode was er sprake van verdieping rond Marker Wadden, maar in beide perioden is waarschijnlijk sprake van vertekening door verschillen in opnamejaren van clusters van lodingsvakken. Hier is de bewerking per vak van belang voor interpretatie (paragraaf 3.3). In beide perioden is opvulling van de IJmeerput (ten westen van Almere) zichtbaar.

3.2.2 Raaien

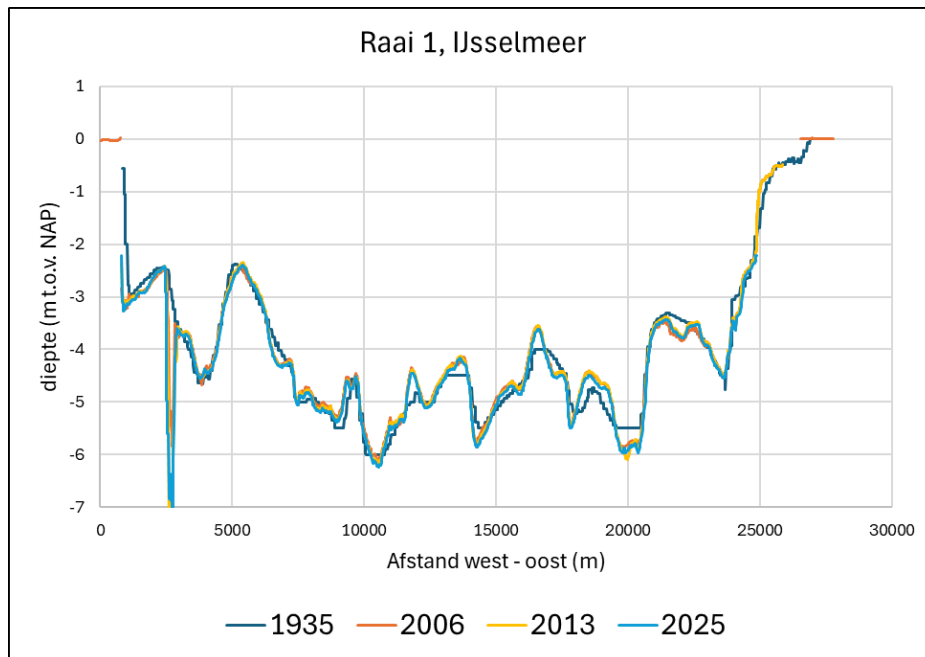
Een andere manier om hoogteverschillen in beeld te brengen is het maken van raaien met het diepteverloop tijdens opeenvolgende lodingsrondes. Figuur 3.6 laat drie raaien zien die met dat doel over de meren zijn getrokken. De veranderingen langs deze raaien worden hierna uitgewerkt.



Figuur 3.6. Dieptekaart 2006 en bodemhoogte verschilkaart 2000-2010 met de ligging van de raaien waarlangs de veranderingen in diepteverdeling in dit hoofdstuk worden gepresenteerd.

3.2.2.1 Raai 1: Noordelijk IJsselmeer

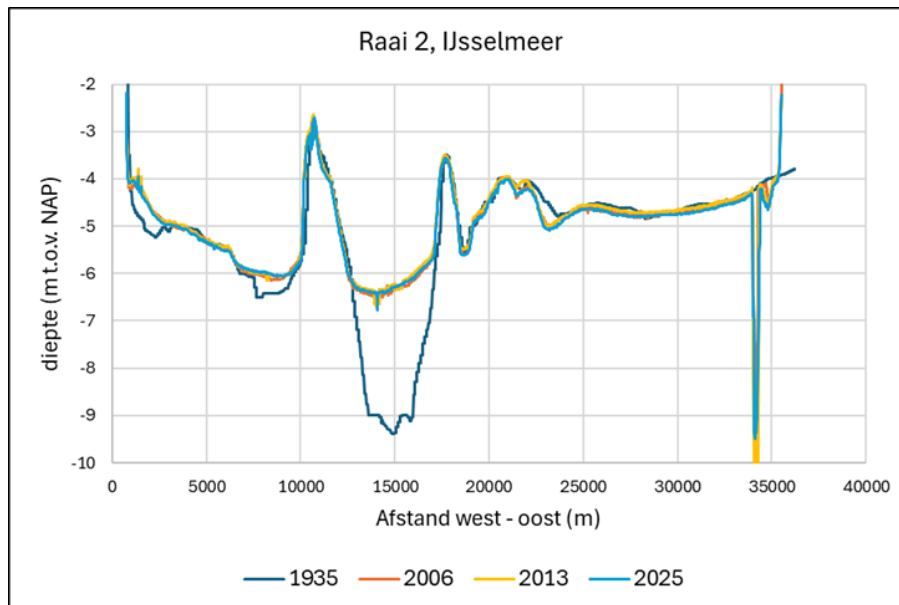
Deze raai loopt niet ver van de Afsluitdijk dwars over het meest noordelijke deel van het IJsselmeer (figuur 3.6) en doorsnijdt de al dan niet actieve resten van de verschillende geulen in dit voormalige getijdengebied. Hier lijkt sinds 1935 relatief weinig te zijn veranderd (figuur 3.7).



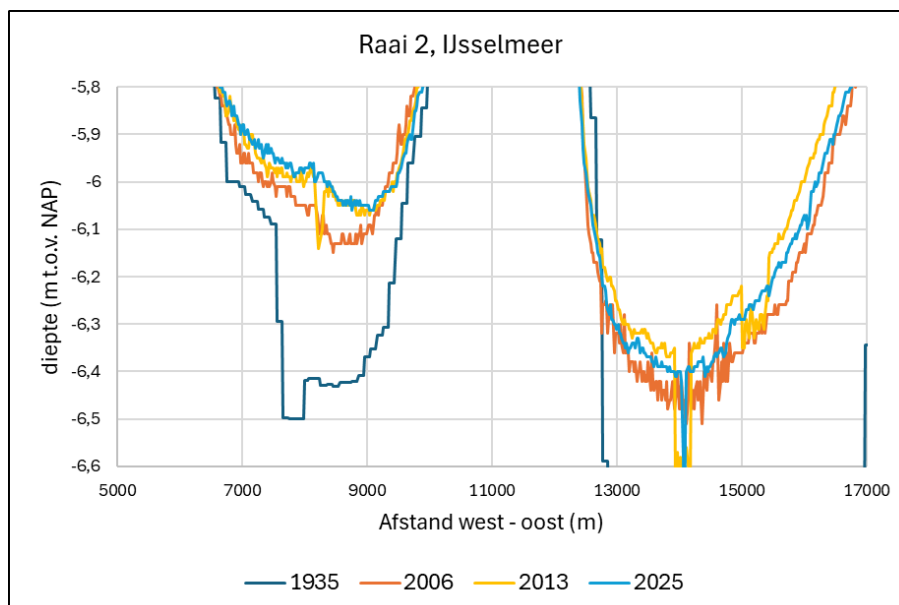
Figuur 3.7. Diepteverdeling langs raai 1 (noordelijk IJsselmeer) omstreeks 1935 (naar Sterk 2010) en tijdens de drie recente lodingsrondes van RWS. Links Noord Holland (Den Oever), rechts Friesland (Gaast).

3.2.2.2 Raai 2: Centraal IJsselmeer

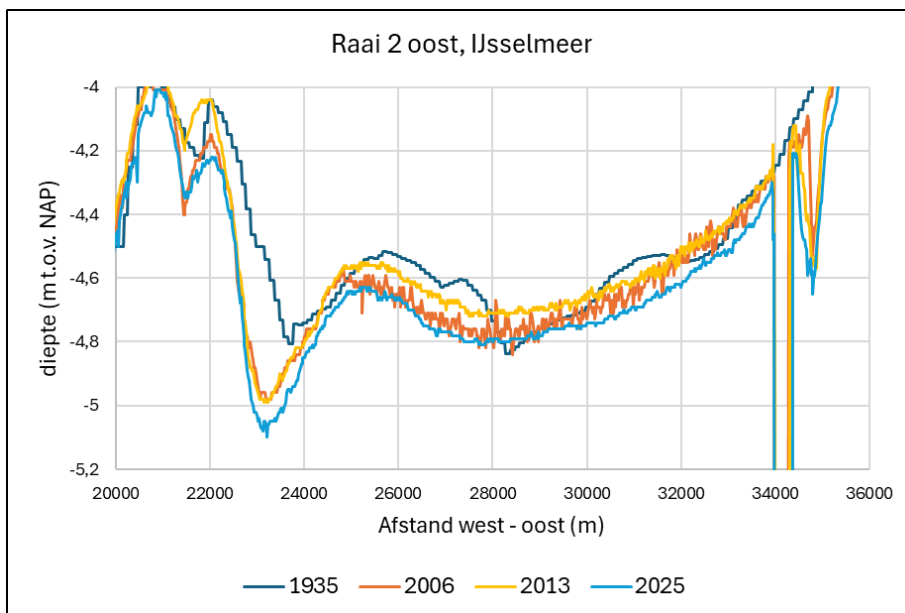
Deze raai loopt door het centrale deel van het IJsselmeer, door de diepste geul uit de Zuiderzee periode (figuur 3.6). De bodem van deze geul lag in 1935 op ca 9 meter beneden NAP. Inmiddels is hij verondiept tot op ca 6,5 meter beneden NAP (figuur 3.81). Tussen de eerste en de tweede recente ronde lijkt nog sprake te zijn geweest van orde grootte 10 cm verondieping (figuur 3.8b). Tussen de laatste twee rondes was dat niet meer het geval. Sedimentgegevens, onder meer verzameld tijdens enkele van de mosselkarteringen, laten zien dat het sediment in de geulen een relatief hoog lutumgehalte heeft, m.a.w. het is slibrijk materiaal. Ten oosten van de oude geulen lijkt sprake te zijn geweest van doorgaande verdieping (figuur 3.8c).



Figuur 3.8a. Diepteverdeling langs raai 2 (centraal IJsselmeer) omstreeks 1935 (naar Sterk 2010) en tijdens de drie recente lodingsrondes van RWS. Links Noord Holland (Medemblik), rechts Noordoostpolder (Creil).



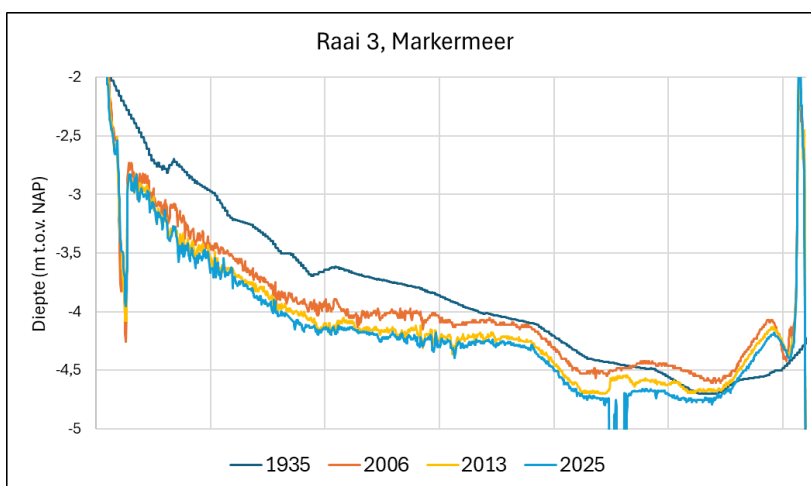
Figuur 3.8b. Diepteverdeling langs raai 2, uitvergroting van de bodem van de centrale geulen.



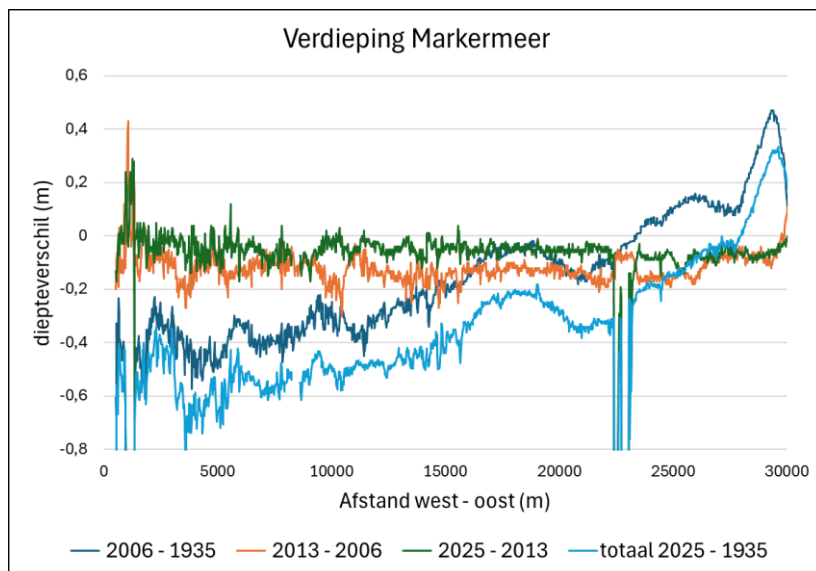
Figuur 3.8c. Diepteverdeling langs raai 2, uitvergroting oostelijke helft.

3.2.2.3 Raai 3: Markermeer

Deze raai loopt door het Markermeer van de Hollandse kust onder Hoorn naar Lelystad. In die richting neemt de bodemhoogte af van ongeveer 2 meter naar 4,5 meter beneden NAP. Figuur 3.9 laat de dieptes op deze raai zien op basis van vier lodingsrondes. Figuur 3.10 laat de diepteverschillen zien tussen de vier opeenvolgend rondes en tussen de eerste en de laatste ronde (1935-2025). Tussen 1935 en 2006 is de diepte op de westelijke helft van de raai met ongeveer 4 dm toegenomen. Voor de kust van Lelystad werd op basis van deze vergelijking materiaal afgezet waardoor de diepte afnam. Tussen 2006 en 2013 vond min of meer gelijkmatige verdieping plaats over de gehele raai, en tussen 2013 en 2025 was de verdieping het grootste in het oosten. Anders dan in het IJsselmeer lijkt hier dus sprake te zijn van doorgaande verdieping. Over de gehele periode 1935 – 2025 bedraagt de verdieping langs de westelijke helft van de raai ongeveer een halve meter. De oorzaak van de recente verdieping na de eerdere verondieping bij Lelystad roept vragen op. Er lijkt sprake van een ander proces of een andere combinatie van factoren dan tussen 1935 en 2006. Mogelijk speelt in het oosten ook consolidatie van eerder afgezet slib een rol.



Figuur 3.9. Diepteverdeling langs raai 3 (Markermeer) omstreeks 1935 (naar Sterk 2010) en tijdens de drie recente lodingsrondes van RWS. Links Noord Holland (Hoorn), rechts Flevoland (Lelystad).

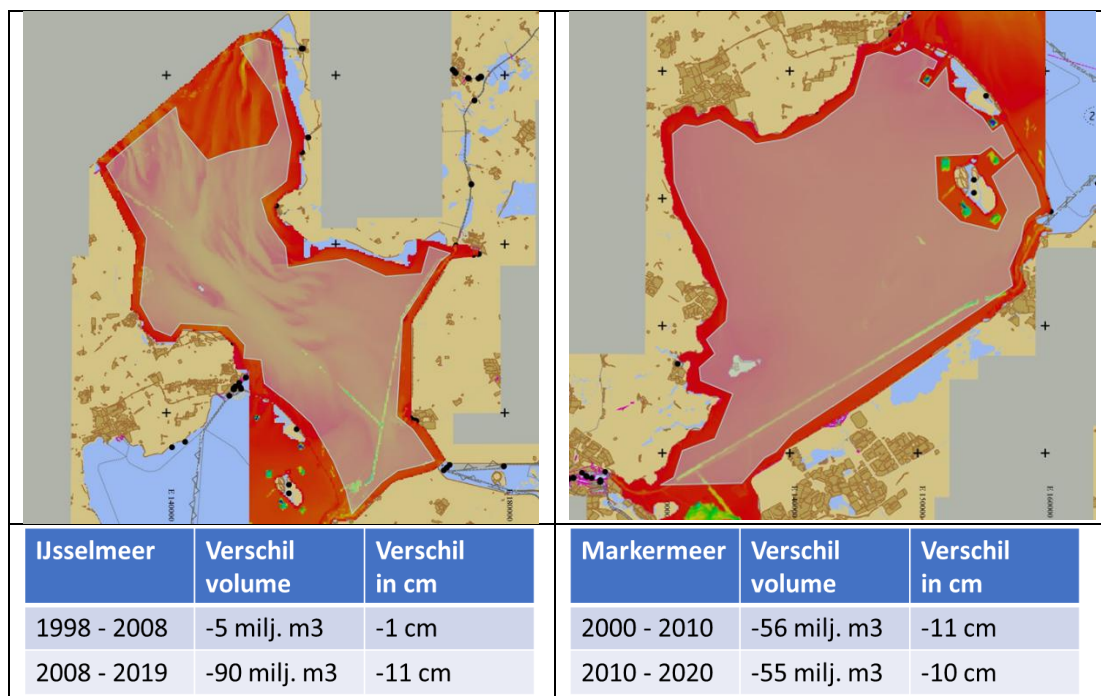


Figuur 3.10. Verschillen in diepteverdeling langs raai 3 (Markermeer) voor de drie perioden tussen 1935 en de meest recente lodingsronde (aangegeven jaren zijn eindjaren van lodingsrondes) en voor de gehele periode (lichtblauw).

3.2.3

Kubering

Een manier om de gemiddelde verandering in diepte over het gehele meer uit te rekenen is een kubering; een berekening van het totale volume verandering tussen twee lodingsrondes, gedeeld door het geselecteerde areaal. Dat is uitgevoerd voor de twee periodes tussen de drie recente lodingsrondes, voor de gebieden aangegeven in figuur 3.11. Enkele deelgebieden zijn van deze berekening afgezonderd: Windpark Fryslân in het IJsselmeer, Marker Wadden in het Markermeer (inclusief de slibvangputten, zichtbaar in groen) en de IJmeerput. Ook de oeverzones zijn niet meegenomen; op de meest ondiepe plaatsen is de kwaliteit van de gegevens beperkt omdat het vaartuig niet overal kan komen.



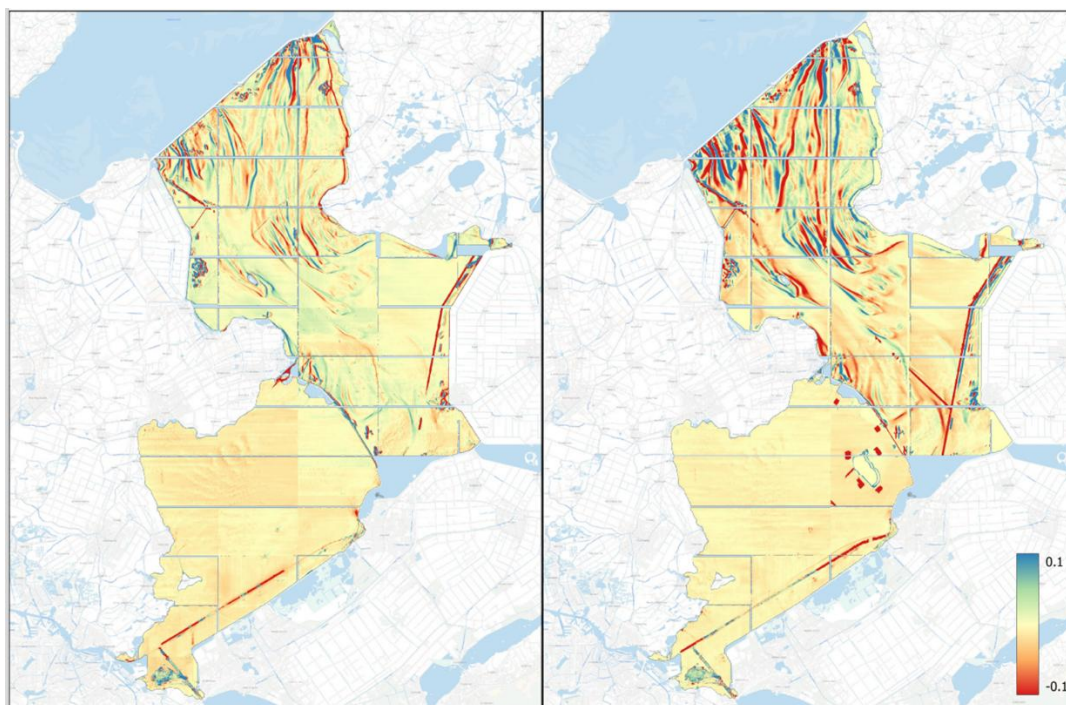
Figuur 3.11. Vakken gebruikt voor kubering van de bodemhoogte verschillen tussen de drie recente rondes dieptelodgingen, en de daaruit berekende gemiddelde hoogteverschillen in die gebieden.

De resultaten komen overeen met die van de verschilkaarten in paragraaf 3.2.1. In het IJsselmeer is in de eerste van de twee recente periodes de verdieping en verondieping ongeveer in balans geweest. In de tweede periode is sprake geweest van gemiddeld 11 cm verdieping, die op basis van de verschilkaarten dus is geconcentreerd geweest in de zuidelijke helft van het meer.

In het Markermeer was gemiddeld sprake van verdieping in beide periodes, in de geselecteerde gebieden (dus buiten Marker Wadden en de IJmeerput) met resp. 11 en 10 cm.

3.3 Uitwerking per lodingsvak

Om een zo nauwkeurig mogelijke schatting te maken van de verschillen in bodemhoogte tussen de drie recente lodingsrondes zijn die verschillen uitgedrukt in meters verhoging of verdieping per jaar op basis van analyse van de afzonderlijke lodingsvakken. Op die manier kan het exacte aantal jaren tussen twee karteringen worden bepaald. Daarna zijn de resultaten weer aan elkaar gekoppeld voor een volledig kaartbeeld (figuur 3.12). Dit is het basisbestand voor koppeling met ecologische gegevens zoals die uit mosselkarteringen (hoofdstuk 4) en waterplantenkarteringen (vervolgstudie).

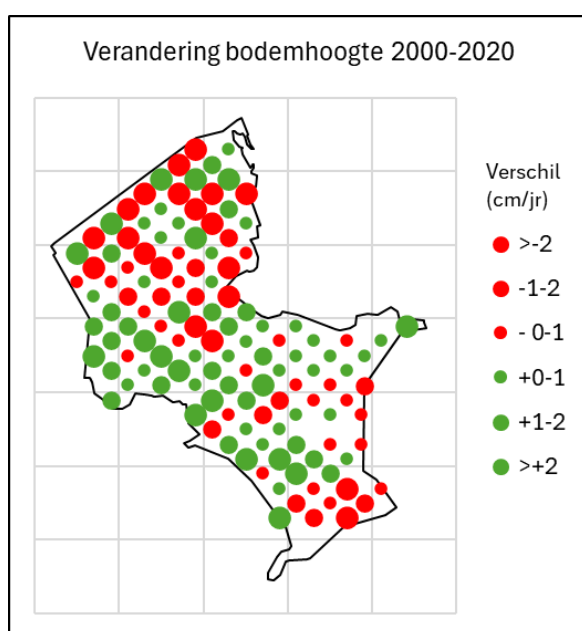


Figuur 3.12. Bodemhoogte verschilkaarten voor de twee perioden tussen de drie recente rondes dieptelodungen in meters verhoging (blauw) of verdieping (rood) per jaar (let op: rood en blauw dus omgekeerd t.o.v. figuur 3.5). Links: verschil tussen ronde 1 (1996-2001) en ronde 2 (2005-2011). Rechts: verschil tussen ronde 2 en ronde 3 (2016-2023).

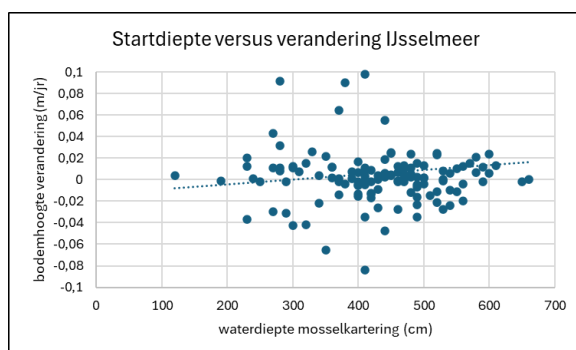
3.3.1 IJsselmeer

In figuur 3.12 is vooral in het noorden van het IJsselmeer een complex patroon van diepteveranderingen te zien, met ruimtelijke afwisseling tussen verdieping en verondieping in het noordelijke geulenstelsel. In de periode tussen de tweede en de laatste lodingsronde (rechts) lijken de veranderingen sterker te zijn geweest dan tussen de eerste en de tweede ronde (links). Ook komt in de laatste periode (rechts) relatief sterke verondieping naar voren van de vlakke bodems in het zuiden en westen van het meer.

Figuur 3.13 geeft een selectie van bodemhoogte veranderingen tussen de eerste en de laatste recente lodingsronde op de opnamepunten van de mosselkarteringen (op basis van de geïnterpoleerde verschilkaarten). Ook deze kaart laat een gevarieerd patroon van verdieping en verondieping zien, met een concentratie van verondieping in het midden van het meer en aan de zuidwestkant, en van verdieping in het zuidoosten en het noorden. De gemiddelde verandering is zeer beperkt, ongeveer 0,6 mm per jaar verhoging. Deze bewerking maakt ook koppeling met andere gegevens uit de mosseldatasets mogelijk, zoals de waterdiepte (figuur 3.14) en een sediment karakterisering. Op basis daarvan lijkt er nauwelijks meer sprake te zijn van een positieve relatie tussen de startdiepte en de bodemhoogte verandering.



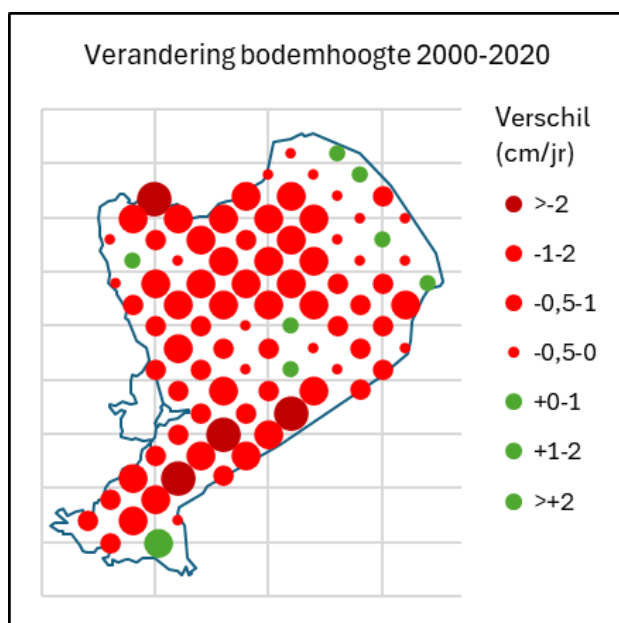
Figuur 3.13. Vertaling van de bodemhoogte veranderingen in het IJsselmeer tussen de eerste en de laatste recente lodingsrondes (ca. 2000 – 2020) naar het meetgrid van de mosselen (zie hfdst. 4). Rood is verdieping, groen verondieping.



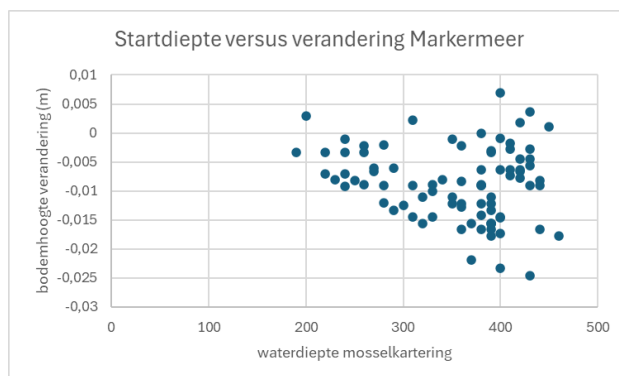
Figuur 3.14. Relatie tussen de waterdiepte tijdens de mosselkartering van 1999 in het IJsselmeer en de bodemhoogte verandering tussen ca. 2000 en ca. 2020.

3.3.2 Markermeer

Figuur 3.15 geeft de globale diepteverandering sinds de jaren 1990 in het Markermeer (verschil laatste – eerste recente lodingsronde, ca 2000-2020). De kaart laat vooral verdieping zien, op enkele locaties na, die het meest zijn geconcentreerd langs de Houtribdijk tussen Lelystad en Enkhuizen. De verandering bedraagt in grote delen van het meer 1-2 cm per jaar, gemiddeld is sprake van 8 mm verdieping per jaar. De relatie met de startdiepte (figuur 3.16) is anders dan in het IJsselmeer, diepere gebieden lijken recent gemiddeld sterker te zijn verdiept dan de ondieptes. Er is dus geen sprake (meer) van “vervlakking”. Dit is ook te zien aan de veranderingen langs raai 3 (figuur 3.9, 3.10) in contrast met verdieping van juist vooral de ondiepe delen in het verdere verleden. Deze omkering zou te maken kunnen hebben met consolidatie van het slib dat over langere tijd in het oosten is gesedimenteerd.



Figuur 3.15. Vertaling van de bodemhoogte veranderingen in het Markermeer tussen de eerste en de laatste recente lodingsrondes (ca. 2000 – 2020) naar het meetgrid van de mosselen (zie hfdst. 4). Rood is verdieping, groen verondieping.



Figuur 3.16. Relatie tussen de waterdiepte tijdens de mosselkartering van 2000 in het Markermeer en de bodemhoogte verandering tussen ca. 2000 en ca. 2020.

4 Koppeling met biologische gegevens

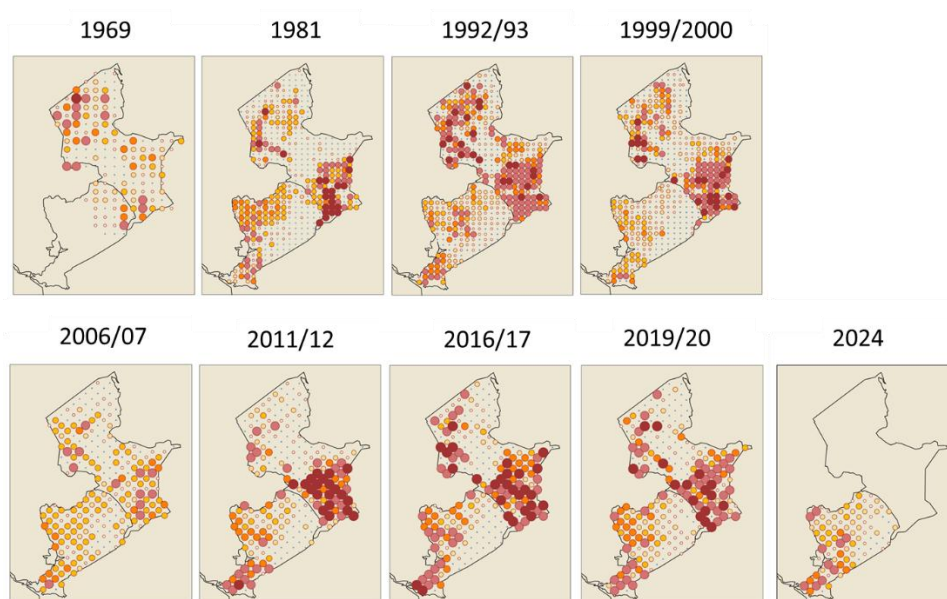
4.1 Mosselkarteringen

Mosselen, of tweekleppige schelpdieren, komen in verschillende soorten voor in de meren van het IJsselmeergebied, van de kleinste erwtenmosseltjes via korfmossele en zwanenmossele tot de nauw verwante Driehoeksmossel en Quaggamossel. De laatste twee vormen banken, vergelijkbaar met die van de blauwe mosselen in de Waddenzee. Deze mosselen hebben altijd relatief veel aandacht gekregen in systeemanalyses en monitoringsprogramma's, vanwege de hoge biomassa en omdat ze op verschillende manieren van belang zijn voor het ecosysteem van de grote meren:

- 1 Ze vormen belangrijk voedsel voor watervogels en vissen, in het verleden stapelvoedsel voor met name Kuifeend, Tafeleend, Topper(eend), Brilduiker en Meerkoet.
- 2 Ze zijn als filterfeeders in gebieden met hoge dichtheden van grote invloed op de concentraties en samenstelling van het fytoplankton en de helderheid van het water.
- 3 Ze hebben via deze filtratie effect op het erosie – sedimentatie evenwicht, maar ook via afdekking van de bodem en effect op water-bodem interactie via stroming door de bodemruwheid die de mosselbanken met zich meebrengen.

Voor het laatste aspect is onderwerp van studie binnen dit project.

4.1.1 Beschikbaarheid van gegevens



Figuur 4.1. Beschikbare mosselkaarten: Dichtheden zijn uitgedrukt in biovolume per m² (lichtblauwe stip = afwezig, daarna oplopend naar groter en donkerder kleuren). Aanvankelijk uitsluitend Driehoeksmossel, vanaf 2007 vergezeld door de Quaggamossel, die vanaf 2011 domineert.

Figuur 4.1 geeft een overzicht van de beschikbare mosselkarteringen in het IJsselmeer en Markermeer. Enkele aanvullende karteringen van deelgebieden zijn hierbij niet meegenomen. De dichtheden uit de karteringen vanaf 1992 zijn ook in staafdiagrammen weergegeven op dieptekaarten in bijlage 1.

Mosselen zijn in het IJsselmeergebied vanaf 1969 met variërende tussenpozen gekarteerd door of in opdracht van Rijkswaterstaat (recent eens per drie jaar; laatste beschikbare rapportage met methodiek en verdere referenties Bronkhorst & Van Os 2025). De karteringen tot en met 1993 betreffen uitsluitend de Driehoeksmossel *Dreissena polymorpha*. Deze is oorspronkelijk afkomstig uit het gebied van de Kaspische en Zwarte Zee, maar komt al ruim 200 jaar in Nederland voor en heeft kort na de afsluiting van de Zuiderzee het IJsselmeergebied gekoloniseerd. In 2006 verscheen in Nederland de nauw verwante Quaggamossel *D. bugensis*, oorspronkelijk afkomstig uit het zelfde gebied. De beide soorten zijn nauw verwant, vormen gemengde banken en zijn lastig te onderscheiden, *D. bugensis* wordt gemiddeld wat groter. Vanaf 2007 koloniseerde deze soort ook het IJsselmeergebied, om een paar jaar later dominant te worden. Bij de karteringen is alleen steekproefsgewijs onderscheid gemaakt, zodat de karteringen in figuur 4.1 (en figuur 4.2) vanaf 2007 beide soorten gezamenlijk betreffen. Buiten de steekproefmonsters, waarbij behalve de soortverdeling ook lengteverdeling en drooggewicht zijn bepaald, wordt de kartering uitgedrukt in biovolume. Veldmonsters, genomen met behulp van een Van Veen happer, worden aan boord schoongemaakt, waarna in een bekerglas de waterverplaatsing van de mosselen per hap wordt vastgesteld. Dit is een goede schatter voor de biomassa in drooggewicht.

Over de jaren is het ruimtelijke patroon van de mosselen min of meer constant. De dichtheden zijn wel veranderd, in samenhang met een afname van de gemiddelde lengte die waarschijnlijk is toe te schrijven aan afname van de voedselrijkdom van het water. In het Markermeer zijn de mosselen kleiner dan in het IJsselmeer, waarschijnlijk in verband met lagere voedselkwaliteit (fytoplankton is gemengd met gesuspenseerd sediment). Recent lijkt de trend van afnemende lengtes in het Markermeer te zijn gekenterd.

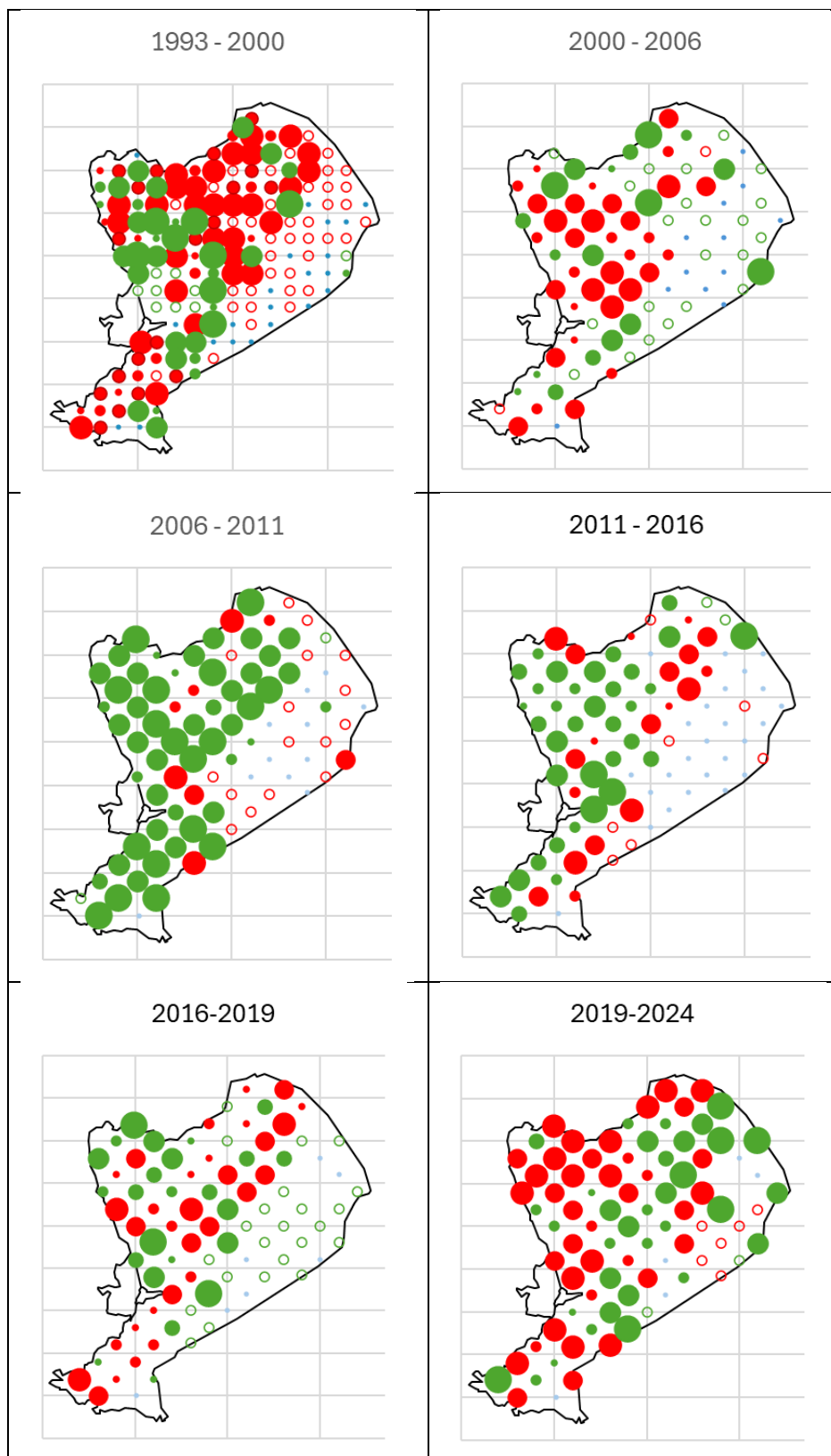
In het IJsselmeer was in 2007 sprake van zeer lage dichtheden, een factor 10 lager dan bij de voorgaande kartering. Mogelijk is dit een gevolg geweest van zuurstoftekort tijdens een hittegolf in 2006; bij een deelkartering in 2008 was de dichtheid alweer een factor 3 hoger. Bij de karteringen daarna was sprake van hogere dichtheden dan tot dan toe ooit waren vastgesteld, tijdens de opmars van de Quaggamossel. In deze periode was in de gebieden met de hoogste dichtheden (zuidelijk IJsselmeer) ook sprake van zeer hoge doorzichtwaarden als gevolg van intensieve filtratie.

4.1.2 Verschilkaarten dichtheden mosselen

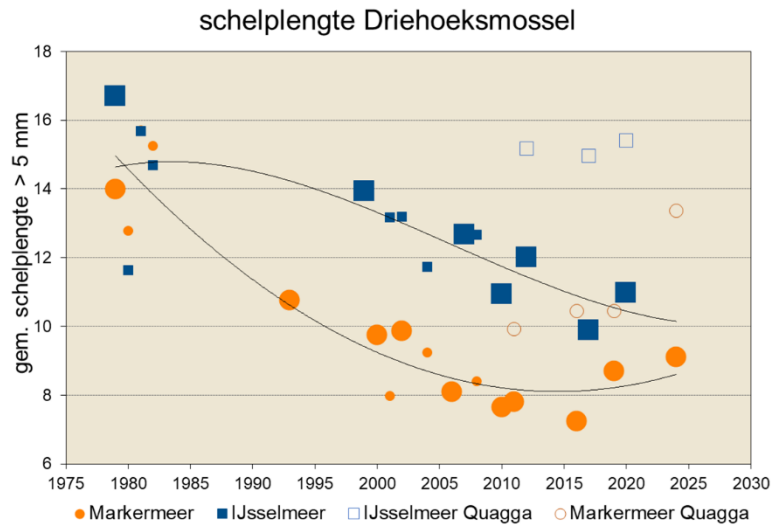
Figuur 4.2 laat verschilkaarten zien van de dichtheden van mosselen in het Markermeer. Meest opvallend is de toename tussen 2006 en 2011, die werd veroorzaakt door de opmars van de Quaggamossel. Er was sprake van een verviervoudiging van de dichtheid (biovolume). Daarbij was er in de meest slibrijke delen van het Markermeer juist sprake van afname.

In het algemeen is er geen sprake van een doorgaand proces, in gebieden met grote afname laten in andere perioden juist toename (herstel) zien.

De meest recente kartering is uitgevoerd in het Markermeer in 2024. Gemiddeld was sprake van een afname met ruim 30%. Deze afname was echter geconcentreerd in het westen en zuiden van het waterlichaam, terwijl in het oosten (rond Marker Wadden) sprake was geweest van toename en kolonisatie. Dit ging gepaard met een voorzichtige toename van de schelp lengtes van beide soorten (figuur 4.3).



Figuur 4.2. Verschilkaarten van mosseldichtheden (som Driehoeks- en Quaggamossel) tussen twee opeenvolgende karteringen als aangegeven in de kop van de deelfiguren. Weergegeven zijn percentages verandering, ongeacht de dichtheid. Rood is afname, groen is toename. Kleine lichtblauwe stip = afwezig, open groen = kolonisatie, open rood = verdwenen.

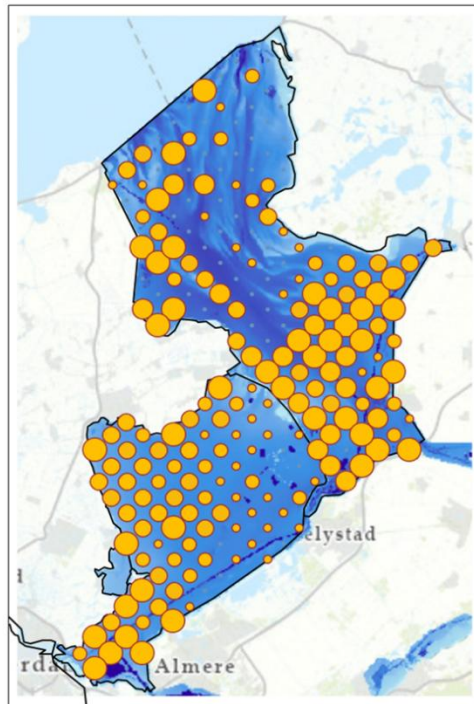


Figuur 4.3. Verloop van de gemiddelde lengte van Driehoeksmosselen en Quaggamosselen (open symbolen) in IJsselmeer en Markermeer sinds 1975. Mosselen kleiner dan 6 mm (broed) zijn niet meegenomen.

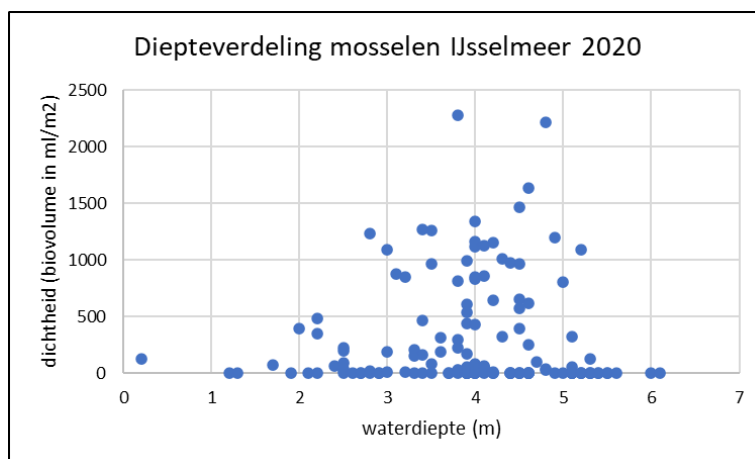
4.1.3 Koppeling van bodemhoogte verschillen en mosselen

4.1.3.1 Diepteverdeling

Driehoeksmosselen en Quaggamosselen kunnen in principe tot op grote diepte voorkomen, als daar voldoende voedsel en zuurstof wordt aangevoerd en als vast substraat aanwezig is. Vooral dit laatste betekent dat ze in het IJsselmeergebied minder voorkomen in de slibrijke, diepere gebieden (figuur 4.4). In de meest ondiepe gebieden zijn ze relatief gemakkelijk bereikbaar voor predatoren. In het IJsselmeer duiken mosseletende eenden tot op ongeveer 4,5 meter, in het Markermeer ongeveer een meter hoger (De Leeuw 1997; De Leeuw & Van Eerden 1995). Dat komt doordat de mosselen in het Markermeer kleiner zijn en minder vlees bevatten, zodat de kosten van het duiken de baten eerder overtreffen. De mosselpopulaties in het IJsselmeer hebben een diepterelatie met een optimum tussen 4,3 en 4,5 meter waterdiepte (figuur 4.5, 4.6). Dit is, waarschijnlijk niet toevallig (hoewel de mosselkarteringen aan het begin van het seizoen van de eenden worden uitgevoerd) ongeveer de grensdiepte voor de eenden.

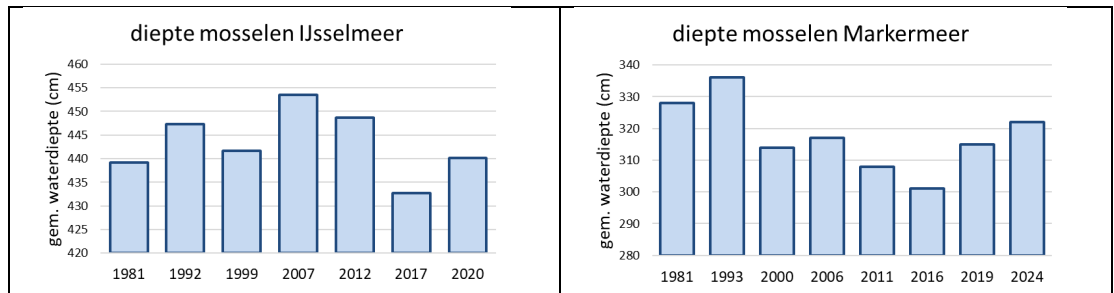


Figuur 4.4. Recente dieptekaart (www.waterinfo.extra.nl, vegetatie) met een weergave van de mosseldichtheden in 2019/20.



Figuur 4.5. Diepteverdeling van de mosseldichtheden in het IJsselmeer in 2020 (waterdiepte gemeten tijdens de kartering).

In het Markermeer ligt het optimum in dichtheden ondieper, tussen 3,0 en 3,5 meter (figuur 4.6). De gemiddelde diepte van voorkomen is in het Markermeer in de loop der jaren bovendien afgenomen. Recent neemt met het herkoloniseren van het oosten van het meer de gemiddelde diepte weer toe. Dat gaat samen met de gemiddeld weer toenemende schelpenlengte (figuur 4.3) en met een afname in de gemiddelde dichtheid.



Figuur 4.6. Verloop van de gemiddelde diepte waarop mosselen voorkomen in het IJsselmeer (links) en het Markermeer (rechts). Totaal van Driehoeksmossel en Quaggamossel. Waterdiepte per gridpunt met de hand gemeten tijdens de kartering van 1999 (IJsselmeer) en 2000 (Markermeer).

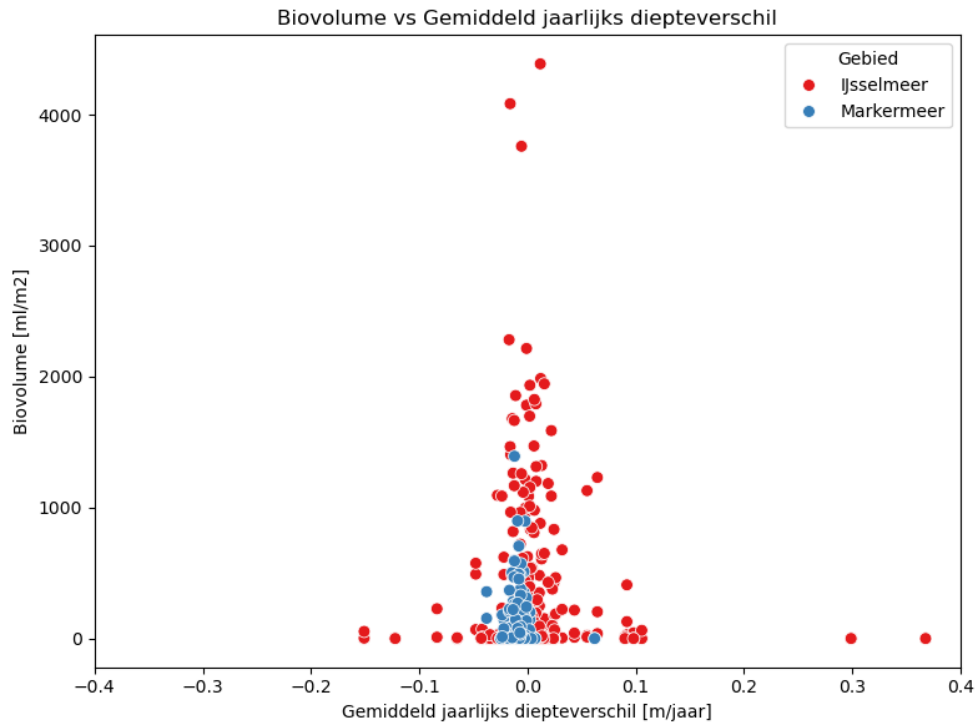
4.1.3.2 Effect van bodemdynamiek

Driehoeks- en Quaggamosselen leven in banken, vastgehecht op een harde ondergrond met “byssusdraden”. Ze zijn dus weinig mobiel en zijn daardoor gevoelig voor overmatige sedimentatie. Het aanhechtingssubstraat in het IJsselmeergebied bestaat vaak uit kleine objecten zoals andere schelpen bijvoorbeeld Strandgapers uit de Zuiderzeeperiode. Ook vormen ze kluitjes door zich aan elkaar te hechten. In beide gevallen zijn ze daarmee ook gevoelig voor te sterke erosie, regulier of tijdens storm. Enige stroming is echter ook van belang voor de aanvoer van voedsel (fytoplankton, soms detritus). De verwachting is dus dat de mosselen voorkomen in gebieden met matige dynamiek.

Tegelijkertijd hebben mosselen door hun aanwezigheid ook effect op erosie en sedimentatie. Door afdekking wordt erosie afgeremd, en door water met voedsel aan te zuigen voor filtratie en door uitscheiding van geconcentreerd restmateriaal in “pseudofaeces”, wordt sedimentatie gestimuleerd.

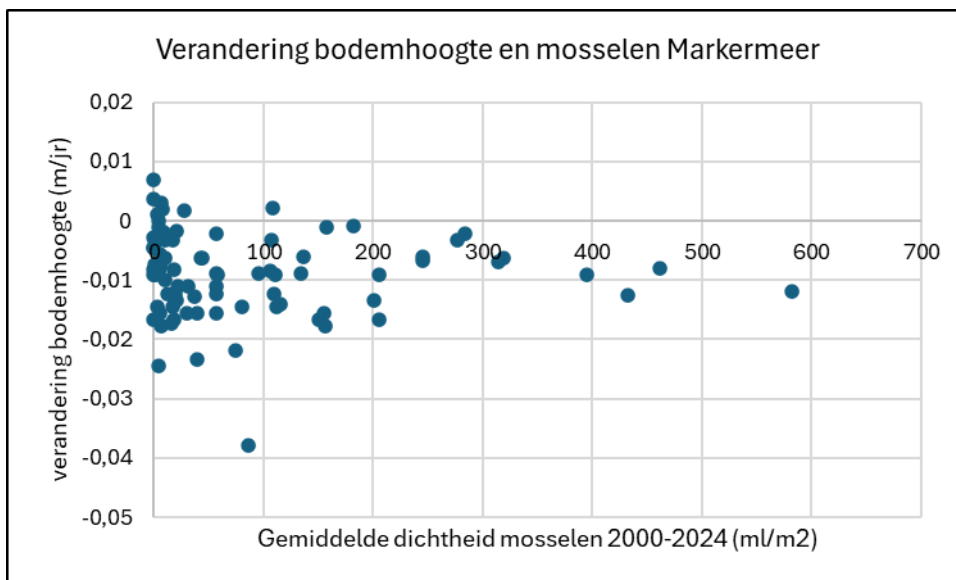
Om dit te onderzoeken zijn de veranderingen in bodemhoogte op basis van de lodingen per vak voor de eerste en de laatste recente lodingsronde (ca. 2000-2020) bepaald voor de gridlocaties van het mosselmeetnet. Figuur 4.7 laat de relatie zien tussen de mate van positieve of negatieve verandering en de dichtheid van de mosselen in deze periode.

In het IJsselmeer blijken de dichtheden het hoogst te zijn op locaties met weinig diepteverandering. Vooral bij verdieping (erosie) is de afname van dichtheden abrupt. Bij verondieping (sedimentatie) is de afname minder abrupt, hetgeen suggereert dat de mosselen sedimentatie iets beter kunnen verwerken dan erosie. Andersom betekent dit, dat de bodems in de gebieden met hogere mosseldichtheden niet sterker ophogen dan gebieden met lage dichtheden. Ook is niet te zien dat gebieden met enige erosie (stroming) hogere dichtheden hebben dan gebieden met helemaal geen verandering (stroming brengt voedsel aan).



Figuur 4.7. Relatie tussen de gemiddelde bodemhoogte verandering tussen de eerste en de laatste lodingsronde (ca 2000-2020) op de gridlocaties van het mosselmeetnet en dichtheid ter plekke, in het IJsselmeer (rood, karteringen 2007, 2017 en 2020) en het Markermeer (blauw, karteringen 2011 en 2019).

In het Markermeer zijn de dichtheden eveneens het hoogst bij weinig verandering, zonder duidelijk verschil tussen erosie en sedimentatie. In feite ligt het optimum van de dichtheden niet bij de nulwaarde van hoogteverandering, maar ongeveer bij een centimeter verdieping per jaar. Dat is niet verwonderlijk omdat het hele Markermeer gemiddeld rond die waarde zit. De dichtheden zijn gemiddeld lager dan in het IJsselmeer, waardoor de verdeling in het Markermeer binnen die van het IJsselmeer valt. Dat roept de gedachte op dat de erosie in het Markermeer een van de factoren kan zijn die de dichtheden beperkt. Andersom zijn er geen aanwijzingen dat de aanwezigheid van mosselen in hoge dichtheden de verdieping in het Markermeer beperkt (figuur 4.8).



Figuur 4.8. Relatie tussen de gemiddelde bodemhoogte verandering in het Markermeer tussen de eerste en de laatste recente lodingsronde (ca 2000-2020) en de gemiddelde dichtheid van mosselen over de karteringen van 2000, 2006, 2011, 2016, 2019 en 2024.

5 Discussie

De bevindingen in dit rapport (voorlopige conclusies zie samenvatting) zijn gepresenteerd op een workshop bij de UvA in Amsterdam op 30 oktober 2025. Enkele van de belangrijkste discussiepunten betroffen de mogelijkheden tot verdere verbetering van de bruikbaarheid van de lodingen, enerzijds met betrekking tot de uitvoering zelf, anderzijds begrip van de gebruikte methodiek ten behoeve van optimale interpretatie. Ook vragen naar aanleiding van de koppeling met biota werden besproken.

Deelnemers Workshop 30 oktober 2025	Organisatie
Flos Fleischer	Zelfstandige
Arie Vonk	UvA
Harm van der Geest	UvA
Gerben Kalkman	Coalitie Blauwe Hart Natuurlijk
Menno Genseberger	Deltares
Jeroen Veraart	WEnR
Hans Stammes	Zandwinning
Daan van Bendegom	WEnR
Joep de Leeuw	WMR
Miranda Berendsen	SBB
Perry Cornelissen	SBB
Joost Lankester	RVO
Roelof Smedes	RWS-Midden Nederland
Ton Garritsen	RWS-Midden Nedeerland
Marcel van den Berg	RWS-WVL / Aeres
John van Schie	RWS-CIV
Lilith Kramer	Deltares

5.1 Meetstrategie dieptelodingen

Het eerste punt betrof de opzet van een lodingsronde, verspreid over meerdere jaren. Verschillen tussen lodingsvakken in het aantal jaren tussen twee zijn in deze studie opgelost door de uitwerking per vak en de uitdrukking in de mate van verandering per jaar. Contrast tussen naburige vakken in de hieruit samengestelde bodemhoogte verschilkaarten blijft dan echter deels bestaan doordat niet alleen het verschil in lengte van de intervallen tussen twee rondes per vak een rol speelt, maar ook de verschillen in start- en eindjaar op zich. Zo treedt tijdens een ronde bijvoorbeeld van noordelijk naar zuidelijk IJsselmeer een verschuiving op van het interval 2005 – 2016 naar 2008-2020 (zie figuur 3.2). Lange termijn ontwikkelingen over de jaren heen pakken dan per jaarcluster vakken verschillend uit. Een suggestie om de vergelijkbaarheid over kortere termijn te verbeteren, was om een klein deel van de beschikbare capaciteit te gebruiken voor steekproeflodingen in vakken die voor andere jaren staan gepland.

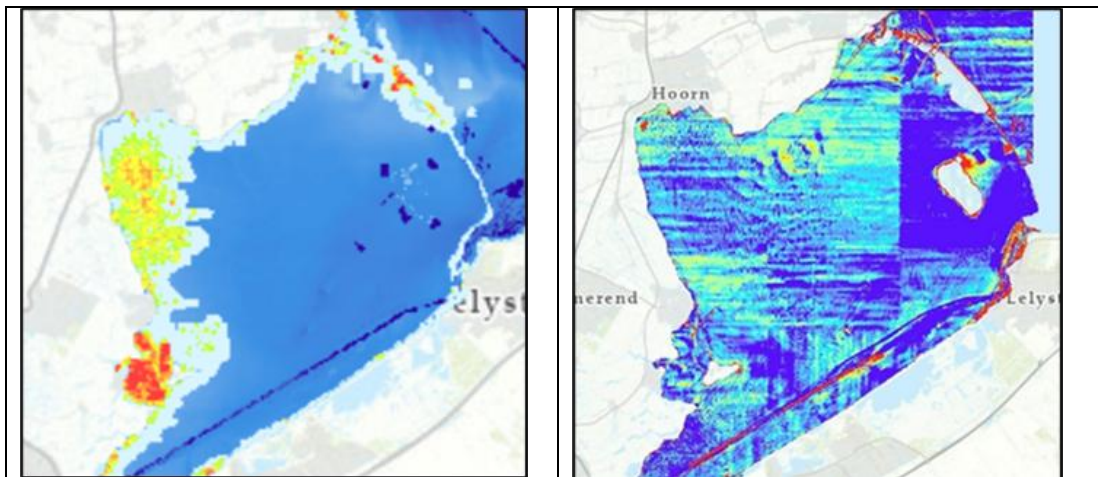
Daarnaast kwam, naar aanleiding van de suggestie van consolidatie van gesedimenteerde slib over langere termijn als oorzaak voor verdieping, de kennisvraag op hoe de gemeten bodemhoogtes bij de gebruikte techniek zijn gerelateerd aan de dichtheid van de toplaag van het sediment.

De resultaten moeten nog onderworpen worden aan een toets met betrekking tot de methodieken van lodingen en dataverwerking. De lodingen zijn met name opgezet en toegerust voor het faciliteren van scheepvaart. De mogelijkheden voor andere toepassingen zoals een koppeling met ecologische waarden moeten kritisch worden verkend. De nauwkeurigheidsmarge van de metingen op een bepaalde locatie zijn door een complex van factoren aanzienlijk groter dan de aangegeven verschillen tussen de rondes. De verschillen moeten dus in elk geval op een grotere ruimtelijke schaal worden geïnterpreteerd. Ook zijn er door de jaren verschillen geweest in de beschikbaarheid en kwaliteit van technieken. Zo is het eerdere DGPS systeem voor waterlijncorrectie binnen de beschouwde periode vervangen door nauwkeuriger RTK (Real Time Kinematic) systemen, en zijn veranderingen opgetreden in bepaalde transformatie- en interpolatiemethodes bij de dataverwerking. Bovendien zijn de lodingen in de loop van de tijd uitgevoerd door verschillende aannemers, met verschillende schepen. Ook kunnen de gepresenteerde bodemhoogtes bij de gebruikte technieken, zoals gebruik van de geluidsfrequentie (standaard 210 kHz) mede afhankelijk zijn van de sedimentsamenstelling, en de verschillen tussen jaren dus van veranderingen daarin. Na de verkenning die in dit rapport wordt gepresenteerd moet de invloed van onnauwkeurigheidsmarges en wisselingen in methodiek een van de eerste onderdelen zijn van vervolgonderzoek.

5.2 Koppeling ecologie

Bij de koppeling van de bodemhoogte verschilkaarten aan de gegevens van de mosselkarteringen kunnen verschillen in de periodes tussen twee lodingsrondes enerzijds en twee mosselkarteringen anderzijds ook van belang zijn voor interpretatie. Zo roept de verdieping van het zuidelijke deel van het IJsselmeer die tussen de tweede en derde recente lodingsronde lijkt te zijn opgetreden vragen op in combinatie met de hoge dichtheden van mosselen daar. Mosselen kwamen daar tijdens de opmars van de Quaggamossel in dat tijdsinterval in zodanig hoge dichtheden voor dat het water er in het voorjaar glashelder was. Onder zulke omstandigheden zou de bodem eerder hoger moeten worden. Tegen het eind van de periode tussen de tweede en derde loding (2019/2020) was de dichtheid van de mosselen echter alweer afgenomen. Sterfte, afbraak en transport van dood organisch materiaal zou juist weer verdieping kunnen veroorzaken.

Iets dergelijks valt ook op bij waterplanten in de Hoornsche Hop, waar relatief veel erosie lijkt plaats te vinden in het gebied ten zuiden van Hoorn, waar veel Doorgroeid Fonteinkruid staat. Dit is echter nog niet nader geanalyseerd.



Figuur 5.1. Links: Dichtheid van waterplanten in het Markermeer (www.waterinfo.extra.nl). Rechts: Verschilkaart bodemhoogte 2008/2011 – 2018/2023 Markermeer (figuur 3.5).

5.3 Toepassingsmogelijkheden en aanbevelingen

Deze studie geeft een beeld van de ruimtelijke diversiteit van ecologische waarden in samenhang met eigenschappen van de ondergrond en de hydrologie. De bevindingen zijn daarnaast van belang voor het begrip van de onderliggende processen, ook in het licht van het (onvoldoende) bereik van de natuurbeschermingsdoelen. Het project biedt daardoor ook kennis die van belang is voor het ontwerp van natuur en het effect van andere ingrepen.

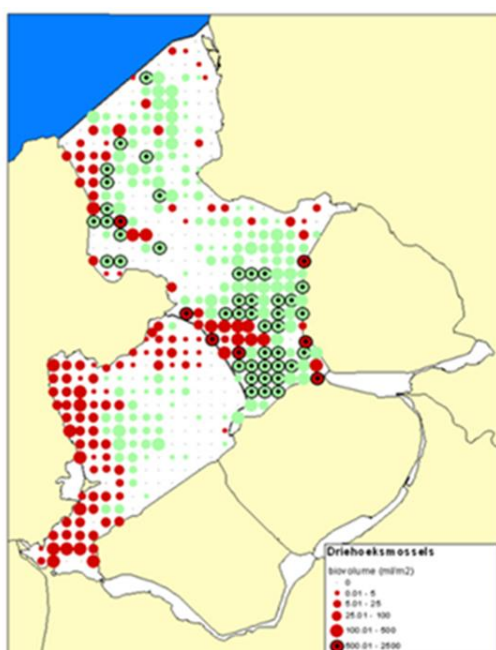
Mogelijk volgende stappen zijn:

- Check op mogelijke effecten van foutenmarges en eventuele wijzigingen in ladingstechniek en dataverwerking.
- Verdere uitwerking bodemhoogte verschilkaarten: invloed van startdiepte, sedimenttype
- Koppeling van uitkomsten van modellering van stroming, strijklengte en bodemschuifspanning, invloed van de IJssel en andere in- en uitgangen.
- Analyse van de relatie tussen de bodemhoogte verandering en de afstand tot zandwinputten en andere diepten en verkenning van mogelijke oorzaken van verdieping zoals zandwinning (kubering in relatie tot kwantitatieve gegevens) en consolidatie van (herafgezet) sediment.
- Analyse van gevolgen van verdieping voor waterkwaliteit (resuspensie en helderheid).
- Koppeling van waterplanten karteringen aan bodemhoogte verschillen.
- Analyse van gevolgen van verdieping voor (duikende, benthivore) watervogels (zie bijv. figuur 5.2).
- Verkenning van samenhang met ruimtelijke patronen in de eigenschappen van de visgemeenschap (ruimtelijke detaillering van informatie is recent sterk verbeterd).

Daarnaast is de samenhang van veranderingen in bodemhoogte met het transport en de beschikbaarheid van voedingsstoffen in de meren van belang voor de ecologische waarden en doelen.

Accumulatie van slib met voedingsstoffen in diepe delen van de meren kan de primaire productie beperken (Noordhuis et al. 2022; 2024). Gesuspendeerd sediment kan licht wegnemen of zich inmengen met algen in de waterkolom waardoor de voedselkwaliteit van zwevend stof voor filteraars zoals mosselen vermindert. Bij veranderingen in diepte verandert ook de mate van resuspensie en het effect daarvan op het voedselweb.

Tenslotte is er geen gemakkelijk bruikbare, recente informatie over de ruimtelijke variatie in de samenstelling van de toplaag van het sediment, zeker niet met betrekking tot de concentraties voedingsstoffen daarin. Nog minder is bekend over de diepteverdeling van concentraties, waarmee een schatting zou kunnen worden gemaakt van het effect van erosie en transport op de stoffenbalans (interne belasting). Een survey, gericht op parameters als korrelgrootte verdeling en concentraties organisch stof en nutriënten in relevante fracties, bijvoorbeeld op de locaties van het mosselgrid, zou daarin verbetering kunnen brengen. Dit zou een basis kunnen vormen voor verder onderzoek naar de bodemchemie in samenhang met de eigenschappen van benthische gemeenschappen en de manier waarop die door veranderingen in hydrologie of bijv. watertemperatuur (klimaatverandering) worden beïnvloed.



Figuur 5.2. Dichtheden van Dreiehoeksmosselen in 1999/2000, met in rood het gedeelte dat op basis van de waterdiepte bereikbaar is voor benthivore duikeenden. Uit Van Eerden et al. 2005.

6 Referenties

Bronkhorst A. & I. van Os 2025. Mosselkartering Markermeer. ATKB rapport 20240532, Assen.

De Leeuw J.J. 1997. Demanding divers. Ecological energetics of food exploitation by diving ducks. Van Zee tot Land 61. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad en dissertatie Univ. Groningen.

Eerden M.R. van, S.H.M. van Rijn & M. Roos 2005. Ecologie en Ruimte: gebruik door vogels en mensen in de SBZ's IJmeer, Markermeer en IJsselmeer. RIZA rapport nr. 2005.014 ISBN 9036957036 RIZA, Lelystad.

Leeuw J.J. de & M.R. van Eerden 1995. Duikeenden in het IJsselmeergebied. Herkomst, populatie-structuur, biometrie, rui, conditie en voedselkeuze. Flevovericht 373. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

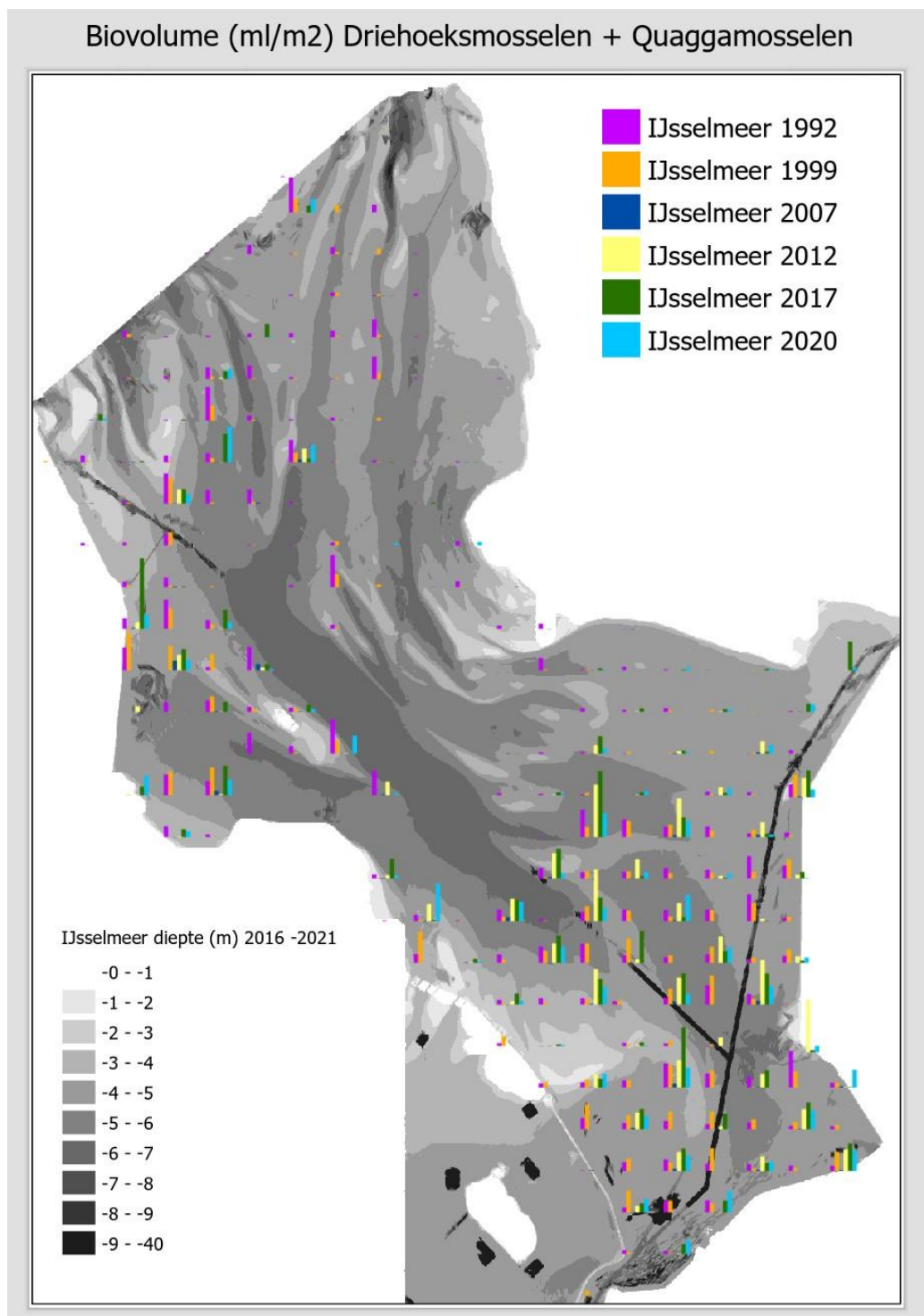
Noordhuis R., M. Genseberger & A. Wiersma 2022. Kennis ten behoeve van zandwinbeleid IJsselmeergebied 2025-2050. Ondergrond, Waterkwaliteit en Ecologie. Deltares, rapport 11209250-003-ZWS-0001, Utrecht.

Noordhuis R., M. Genseberger & G. Pijcke 2024. Kennis voor Zandwinstrategie IJsselmeergebied. Accumulatie van voedingsstoffen in putten en tijdelijke effecten. Deltares rapport 11210349-003-ZWS-0002, Utrecht.

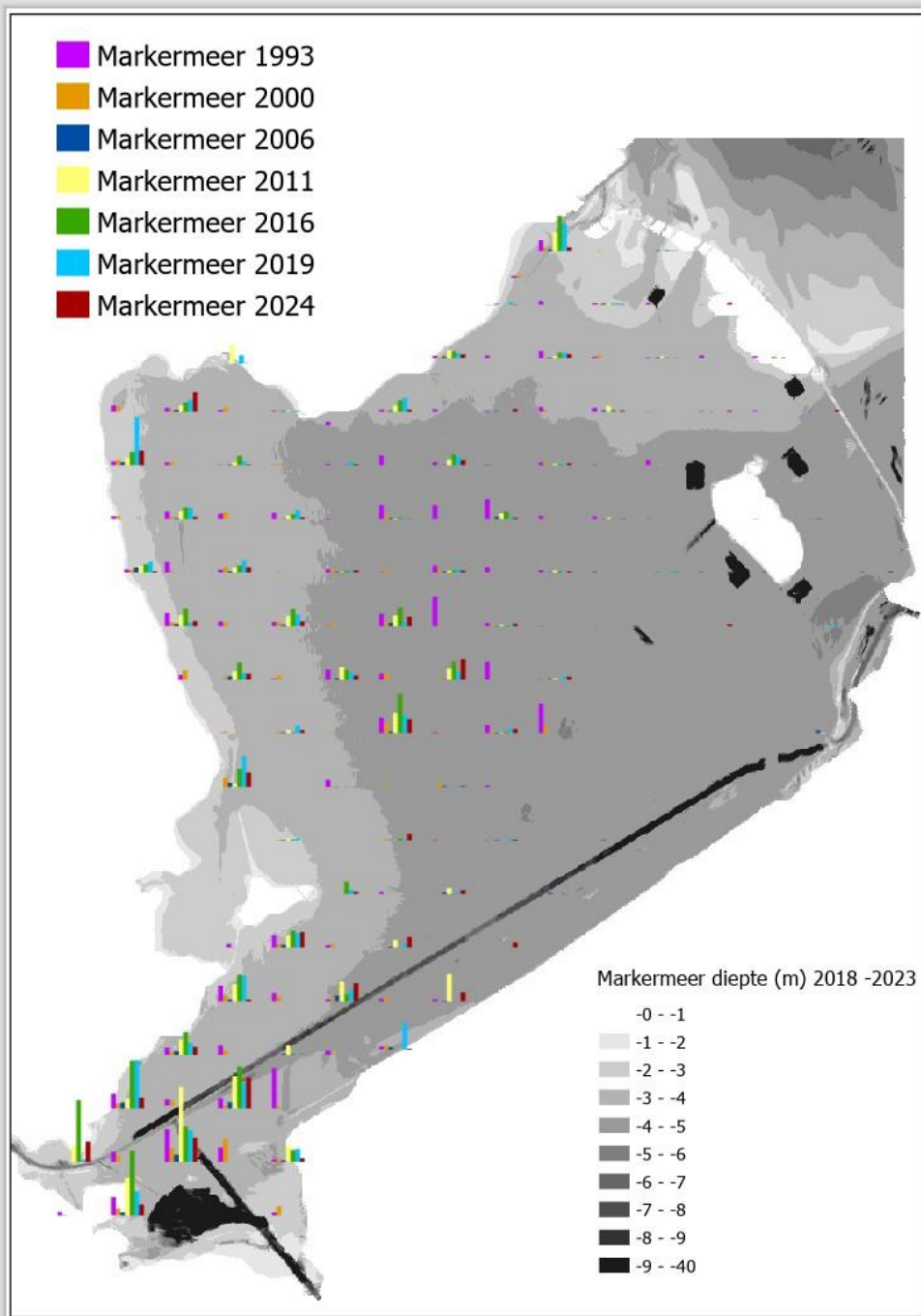
Sterk H. 2010. Oude Zeekaarten in GIS. Hergebruik van bodeminformatie. Stage verslag RWS-WSM, Lelystad.

7 Bijlage 1

Dieptekaarten van IJsselmeer en Markermeer met dichtheden van Driehoeks- en Quaggamosselen op basis van alle complete karteringen vanaf 1992.



Biovolume (ml/m²) Driehoeksmosselen + Quaggamosselen



Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl