Opslibbing en kleilaagdikte op Ameland Oost

Jaarrapportage veldwerk 2020

Auteur(s): Marinka E.B. van Puijenbroek & Cor Sonneveld

Wageningen University &
Research rapport C039/21

Opslibbing en kleilaagdikte op Ameland Oost

Jaarrapportage veldwerk 2020

Auteur(s): Marinka E.B. van Puijenbroek & Cor Sonneveld

Wageningen Marine Research
Den Helder, april 2021

VERTROUWELIJK nee

Wageningen Marine Research rapport C039/21

Keywords: kwelder, monitoring, bodemdaling, sedimentatie, vegetatie, Natura2000, Waddenzee.

Opdrachtgever: Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.
T.a.v.: Erwin Bruinewoud (contactpersoon)
Postbus 28000
9400 HH Assen

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/545009>.
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Foto omslag: Marinka van Puijenbroek

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigd door
Dr.ir. J.T. Dijkman, Managing director

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor
gevolg schade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de
resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen
Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van
aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of
gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden
zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A_4_3_1 V31 (2021)

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond	6
1.2 Kennisvragen	7
1.3 Doel rapportage	8
2 Methoden	9
2.1 Oud monitoringsnetwerk	9
2.2 Meetpunten 'nieuw' monitoringsnetwerk	9
2.3 Opslibbing	11
2.3.1 Sedimentatie-Erosie-Balk(SEB)-meting	11
2.3.2 Bodemdaling & Maaiveldhoogtes	11
2.3.3 Kleidikte	12
2.3.4 Sedimentatieplaat	12
2.4 Vegetatie	12
2.4.1 PQ's (Puntmetingen)	12
2.5 Overig	12
2.5.1 Waterstanden	12
2.5.2 Ruimtelijke ligging PQ's en leeftijd kwelders	13
2.6 Statistische analyse	13
3 Resultaten	15
3.1 Kleidikte NLR en de Hon	15
3.2 Opslibbing	17
3.2.1 Nieuwe meetnet	17
3.2.2 Oud meetnet	19
3.3 Calibratie opslibbings model Jaap de Vlas	21
4 Conclusies en aanbevelingen	24
4.1 Conclusies	24
4.1.1 Kleidikte	24
4.1.2 Opslibbing/inklinking	24
4.1.3 Validatie opslibbingsmodel De Vlas	26
4.2 Aanbevelingen en aandachtspunten	27
5 Kwaliteitsborging	28
Literatuur	29
Verantwoording	31
6 Bijlages	33
6.1 Locaties vaste PQ's Neerlands Reid	33
6.2 Locaties vaste PQ's de HON	34
6.3 Overzicht grafiek kleidikte	35
6.4 Overzicht grafiek opslibbing nieuw meetnet	37
6.5 Overzicht grafiek opslibbing oud meetnet	38

Samenvatting

Dit rapport is een update van de vorige jaarrapportage (van Puijenbroek and Sonneveld 2020), waaruit de meer algemene teksten deels zijn overgenomen.

Op het Waddeneiland Ameland vindt sinds 1986 bodemdaling plaats als gevolg van gaswinning. Vanaf 1993 vindt er langlopende monitoring plaats naar de mogelijke effecten van de bodemdaling op Ameland-Oost. Een van de conclusies van de laatste integrale rapportage was dat het monitoringsnetwerk niet geheel representatief was voor de hele kwelder. Daarom is er in 2019 een nieuw monitoringsplan opgesteld en in het veld uitgezet, bestaande uit twee onderdelen. Het eerste onderdeel omvat 80 permanente kwadraten (PQ's) verspreid over de beweide kwelder ten westen van het Oerd genaamd Neerlands Reid en de onbeweide kwelder ten oosten van het Oerd genaamd de Hon. Het tweede onderdeel omvat 60 extra vegetatieopnames om het jaar uitgevoerd op verschillende locaties (variabele kwadraten (VQ's)). In 2019 zijn de eerste vegetatieopnames zijn gemaakt met een nulmeting van 80 nieuw geplaatste sedimentatie-erosiebalken (SEB's) naast ieder PQ. Het 'oude' monitoringsnetwerk is voor de laatste keer volledig opgenomen in 2018, maar 18 PQ's zijn wel meegenomen in het nieuwe monitoringsnetwerk in 2019.

In 2020 is voor het eerst de opslibbingsnelheid gemeten van het nieuwe meetnet en in de voorliggende rapportage wordt de opslibbing van de kwelder behandeld. Zo wordt de kleidikte data van het Neerlands Reid en de Hon gerelateerd aan de hoogte van de oorspronkelijke zandplaat (maaiveldhoogte zandlaag voor kleiafzetting), afstand tot de kwelderrand, afstand tot de dichtbij zijnde kreek en de ouderdom van de kwelder. Daarnaast is de opslibbingssnelheid gerelateerd aan maaiveldhoogte, inundatiefrequentie, gemiddeld hoogwater als de PQ overstroomd, afstand tot de kwelderrand, afstand tot de kreek en vegetatiekenmerken zoals vegetatiebedekking, fractie bedekking eenjarige soorten en gemiddelde vegetatiehoogte van september. Als laatste is de nieuwe versie van het opslibbingsmodel van De Vlas gevalideerd met de gemeten opslibbingsdata. Dit opslibbingsmodel wordt gebruikt om maaiveldhoogte te berekenen en daarmee het overstromingsrisico van broedvogel nesten te bepalen. Door het valideren van het opslibbingsmodel kan de foutmarge rond de schattingen van de maaiveldhoogtes worden bepaald.

Gebaseerd op de analyses van de kleidikte, opslibbingssnelheid en de validatie van het opslibbingsmodel kunnen we de volgende conclusies trekken:

- De kleidikte is groter op lagergelegen delen, en ook groter dichtbij de kwelderrand en vlakbij een kreek. Met toenemende ouderdom krijgt de kwelder een dikkere kleilaag, daarom heeft het Neerlands Reid ook een dikkere kleilaag dan de Hon.
- De gemiddelde opslibbingssnelheid is lager dan de bodemdaling. Vooral PQ's op een grote afstand van de kwelderrand hebben netto meer inklinking dan opslibbing. Daarnaast hebben ook PQ's met lage vegetatiehoogte minder opslibbing, of dit komt door lage sedimentatie bij lage vegetatiehoogte of door hogere biocompactie door begrazing is nog niet duidelijk.
- De opslibbing van de meetpunten van het oude meetnet was ook afhankelijk van de ruimtelijke ligging van de meetpunten in de kwelder. Naast een hogere opslibbing dichtbij de kwelderrand was de opslibbing ook hoger binnen 25m van de kreek. Daarnaast was de opslibbing het hoogst op locaties die eens in de twee dagen overstroomd worden. Hogere waterstanden zorgden eveneens voor meer opslibbing. Op het Neerlands Reid was er minder opslibbing bij een hoger maaiveld.
- Het opslibbingsmodel van De Vlas kon niet goed worden gevalideerd met het nieuwe meetnet. Dat komt omdat het nieuwe meetnet pas een jaar staat en met het plaatsen van het nieuwe meetnet de bodem is verstoord, wat effect kan hebben op de opslibbing. Daarnaast is het opslibbingsmodel ontwikkeld vanuit de kleidikte data, en met de kleidikte data wordt een gemiddelde opslibbing berekend. Daarom is het opslibbingsmodel mogelijk beter geschikt om de cumulatieve opslibbing over een langere tijd te modelleren. Het opslibbingsmodel kan misschien beter gevalideerd worden met de cumulatieve opslibbingssnelheid van het nieuwe meetnet die de komende jaren wordt gemeten.

-
- Door de gemeten cumulatieve opslibbing van het oude meetnet te vergelijken met de gemodelleerde cumulatieve opslibbing blijkt dat het model bij PQ's dichtbij een kreek meestal een onderschatting van de opslibbingssnelheid laat zien. Op een afstand van meer dan 25 van de kreek is de foutenmarge van de opslibbingssnelheid in het model veel kleiner.
 - Het opslibbingsmodel van De Vlas zou kunnen worden verbeterd door de afstand tot de kreek mee te nemen in het model. Daarnaast zou het model ook nauwkeuriger worden als inklinking en erosie worden meegenomen. Als laatste kan er een onderscheid worden gemaakt tussen de twee kwelders. Door de geringere ouderdom en de afwezigheid van vee is de opslibbing op de Hon waarschijnlijk hoger dan op het Neerlands Reid.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Eind 1986 is de gaswinning op Ameland-Oost gestart. In opdracht van de NAM is toen in samenwerkingsverband tussen diverse kennisinstituten een voorspelling gemaakt van de mogelijke effecten van de bodemdaling op de morfologie en flora en fauna van Ameland-Oost en de omliggende wadplaten (Dankers et al. 1987). Op basis daarvan is in 1986 begonnen met monitoring van een uitgebreide reeks abiotische en biotische parameters om zowel de bodemdaling als eventuele effecten daarvan op de morfologie en flora en fauna te volgen in de tijd.

Kwelders zijn zeer dynamisch systemen waarbij de samenstelling van de kweldervegetatie en de opslibbingssnelheid afhankelijk zijn van de inundatiefrequentie (het aantal keer per jaar dat het gebied onder water staat). Op haar beurt wordt de inundatiefrequentie bepaald door de hoogte van het maaiveld (figuur 1.1) ten opzichte van zeeniveau. Door bodemdaling neemt de hoogte van het maaiveld af wat consequenties kan hebben voor zowel de vegetatiesamenstelling als de opslibbingssnelheid. De terugkoppeling tussen hoogteligging en opslibbingssnelheid kan er echter voor zorgen dat, wanneer sedimentbeschikbaarheid en transportcapaciteit voldoende zijn, de opslibbing de bodemdaling compenseert.

Op Oost-Ameland bestaat de kwelder uit twee delen: het oudere, beweide Neerlands Reid (ook wel 'De Vennoot' genoemd) ten westen van het duincomplex Oerd, en de jongere, onbeweide Hon ten oosten daarvan. Omdat de bodemdaling de vorm van een schotel heeft (Piening et al. 2017), varieert de mate van bodemdaling over het gebied, met de afstand tot het middelpunt van de schotel. In september 2018, het moment van de laatste waterpassing, was op Neerlands Reid de cumulatieve bodemdaling sinds 1986, de start van de gaswinning, 6 - 27 cm (gemiddeld 7 mm/jaar) en op De Hon 26 - 38 cm (gemiddeld 10 mm/jaar) (Piening 2017). Dichter bij de gaswinlocatie is de bodemdaling hoger.

In 1986 is een eerste voorspelling van de mogelijke veranderingen in de opslibbing en vegetatie op Ameland gemaakt. Deze effectenvoorspelling ging uit van de typische zonering van de kwelder, en van de aanname dat een hoogteverandering rechtstreeks leidt tot een verandering van de kweldervegetatie. De prognose was toen (Dankers et al. 1987):

- Op Neerlands Reid zou door achterblijvende opslibbing t.o.v. de bodemdaling de vegetatiesamenstelling over een aanzienlijk oppervlakte verschuiven naar soorten die bij een hogere inundatiefrequentie horen. Dit zou in sommige gevallen zelfs tot een algehele verschuiving naar een lagergelegen vegetatiezone kunnen leiden ('zonehypothese'). Het totale kwelderoppervlak zou gelijk blijven.
- Op de Hon zouden de vegetatiezones langzaam richting duinen gaan opschuiven. Een deel van de lage kwelder zou overgaan in wad.

Factoren van kwelderontwikkeling op Ameland

Figuur 1.1 Een infographic over verschillende factoren die een effect kunnen hebben op de kwelderontwikkeling. De kweldervegetatiesamenstelling wordt voornamelijk bepaald door de inundatiefrequentie. Opslibbing zorgt voor een hoger maaiveld en daardoor zal de inundatiefrequentie omlaaggaan. Begrazing en veranderingen in drainage kunnen leiden tot de begroeiing van plantensoorten die meer resistent zijn tegen begrazing of aangepast zijn aan een betere of slechtere drainage. Door bodemdaling daalt het maaiveld wat een effect kan hebben op de inundatiefrequentie, opslibbing, drainage en de kweldervegetatie.

Op basis van deze verwachtingen is ten behoeve van de monitoring een meetnet ingericht in 1986, dat in de loop van de jaren op basis van voortschrijdend inzicht is aangepast. Over de resultaten is jaarlijks aan de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland (bodemdalingscommissie) gerapporteerd, en elke vijf tot zes jaar is een uitgebreide integrale rapportage opgesteld. De meest recente (integrale) evaluatie is van Elschot et al. (2017). Deze evaluaties hebben geleid tot een bijstelling van de zonehypothese omdat niet uitsluitend een negatieve opslibbingsbalans bepalend is voor het veroorzaken van regressie van de vegetatie (nog los van eventueel geldende grenswaarden voor maaiveldddaling die overschreden moeten zijn om tot een verandering in de vegetatie te leiden). Het is de combinatie van netto-daling van het maaiveld, lage initiële maaiveldhoogte én slechtere drainage die lijkt te resulteren in regressie van de vegetatie, wat zich vooral op de middenkwelder lijkt voor te doen.

1.2 Kennisvragen

Na de laatste integrale rapportage (Elschot et al. 2017) heeft de bodemdalingscommissie nieuwe onderzoeksvragen opgesteld die in de volgende integrale rapportage (2023) zullen worden behandeld:

- Wat is het effect van bodemdaling op de inundatiefrequentie, en welk effect heeft inundatiefrequentie op de kweldervegetatie?
- Wat is het effect van bodemdaling op de erosie van de onbeschermde kwelderrand op de Hon? (Deze onderzoeksvraag wordt uitgevoerd door Wageningen Environmental Research).
- Wat is het effect van bodemdaling op de drainage, en wat is het effect van drainage op de kweldervegetatie?
- Neemt het komvolume toe door de bodemdaling, en heeft die eventuele toename in komvolume een effect op de vegetatie?

Deze onderzoeksvragen zullen in zijn geheel worden beantwoord in de volgende integrale rapportage. In deze en de komende jaarrapportages worden verschillende onderdelen van deze onderzoeksvragen behandeld.

Daarnaast gelden er aanvullende doelstellingen vanuit de effectenanalyse/passende beoordeling wijziging gaswinning Ameland. Veranderingen in areaal en kwaliteit van de drie habitattypen H1310A (Zilte pionierbegroeiing (Zeekraal)), H1320A (Slijkgrasvelden) en H1330A (Schorren en zilte graslanden (buitendijks)) zullen worden beschreven in den nieuwe integrale rapportage.

Om de bovenstaande kennisvragen te beantwoorden is het belangrijk om de opslibningsbalans te bepalen van de kwelder. Als de opslibningsbalans negatief is dan zal de maaiveld dalen wat mogelijk resulteert in regressie van de kweldervegetatie. Naast onderzoek aan kwelders wordt er door SOVON ook onderzoek uitgevoerd naar het effect van bodemdaling op het broedsucces van broedvogels op de kwelder. Voor deze broedende vogels heeft een netto daling een mogelijk negatief effect op het broedsucces doordat bij een lager maaiveld meer risico is op overstroming. Voor de opslibningsbalans op de kwelder is er een opslibningsmodel ontwikkeld door De Vlas (Elschot et al. 2017), maar dit model is nog niet gevalideerd. Het is belangrijk om dit model te valideren omdat dit model wordt gebruikt om de risico's van maaiveld daling door bodemdaling voor broedvogels te modelleren.

Bij de laatste evaluatie (Elschot et al. 2017) is vastgesteld dat het tot en met 2018 gebruikte meetnet bestaande uit twee meettraaien niet representatief is voor alle kwelders op Ameland-Oost. Een groot deel van de PQ's waren geplaatst op een oeverwal vlakbij een kreek, waar een relatief hoge opslibbing plaatsvond, waardoor de conclusie werd getrokken dat op een groot deel van de kwelder de bodemdaling (vrijwel) geheel werd gecompenseerd door een hoge opslibbing. Doordat er netto nauwelijks maaiveld daling plaatsvond vertoonde de vegetatie in de naast gelegen PQ ook geen regressie, terwijl de analyse van vlakdekkende vegetatiekaarten weergeeft dat er op veel plekken op de kwelder wel degelijk regressie plaatsvond. In overleg met de bodemdalingscommissie is daaropvolgend besloten om een nieuw monitoringsplan te ontwikkelen. Hierbij is als doel gesteld om een representatief monitoringsmeetnet voor alle kwelders op Ameland-Oost te implementeren met een goede spreiding over de gehele kwelder en om rekening te houden met de effectbepaling van bodemdaling op de N2000-instandhoudingsdoelstellingen. Dit is in 2019 gerealiseerd.

1.3 Doel rapportage

Het doel van deze rapportage is om te bepalen welke factoren de jaarlijkse opslibbing en de totale kleidikte op de kwelder beïnvloeden. Zo zal voor het eerst de opslibbing van het nieuwe meetnet worden geanalyseerd. In deze rapportage, wordt de kleidikte van Neerlands Reid (NLR) en de Hon gerelateerd aan de hoogte van de onderliggende zandlaag (maaiveldhoogte zandplaat voor kleiafzetting), de ruimtelijke ligging op de kwelder en de ouderdom van de kwelder. Ten tweede worden de opslibbingdata van de PQ's tussen 2019 en 2020 geanalyseerd en vergeleken met opslibbingsgegevens uit het oude PQ-meetnet en wordt de opslibbing gerelateerd aan de maaiveldhoogte, inundatiefrequentie, ruimtelijke ligging op de kwelder en de vegetatie. De opslibbing wordt niet direct gerelateerd aan de bodemdaling, maar indirect via de maaiveldhoogte. Als laatste zijn de voorgenoemde gemeten opslibbingsnelheden gebruikt om het model van De Vlas te valideren, wat is gebruikt voor de berekening van de overstromingsrisico voor broedvogels op de kwelders in Ameland-Oost. De analyses van de kleidikte en opslibbingsnelheid kunnen aangeven welke factoren belangrijk zijn om in het opslibbingsmodel mee te nemen.

De analyses in deze rapportage zullen onderdeel zijn van de uitgebreidere analyses voor het volgende evaluatierapport in 2023.

2 Methoden

2.1 Oud monitoringsnetwerk

In 1986 is er een monitoringsnetwerk opgezet met 10 meettraaien die de kwelders en duinen van Ameland-Oost bevatten (figuur 2.1). In 1986 is van de PQ's in deze meettraaien de vegetatie en kleidikte gemeten. Vanaf 1993 wordt transect 3 (III) (Neerlands Reid) elk jaar gemeten en vanaf 1995 worden de PQ's langs transect 9 (IX) (de Hon) elk jaar gemeten.

Delen van het Neerlands Reid worden beweïdt met schapen, koeien en/of paarden met een variërende begrazingsdruk (Elschot et al. 2017). Meetraai 3 bevindt zich in het gebied dat voornamelijk door koeien wordt begraasd en heeft een iets lagere begrazingsdruk dan meetraai 2 dat door schapen wordt begraasd. Op de Hon vindt geen beweïding plaats.

Figuur 2-1. Oorspronkelijke meettraaien voor maaiveldhoogte en vegetatie in de kwelders en duinen van Ameland uit 1986 (Dankers et al. 1987). Uiteindelijk werden vanaf 1998 tot 2018, in het kader van de kweldermonitoring, alleen nog metingen verricht langs raai III (3) en IX (9).

2.2 Meetpunten 'nieuw' monitoringsnetwerk

Het nieuwe monitoringsmeetnet heeft meer PQ's dan het oude meetnet en deze liggen verspreid over de gehele kwelder. Daardoor heeft het een betere dekking over het hele gebied. Voor een goede spreiding van de inundatiefrequentie voor de PQ's, zijn de kwelders opgedeeld in deelgebieden op basis van inundatiefrequentie (figuur 2.2 & 2.3). Voor Neerlands Reid en de Hon zijn er respectievelijk 15 en 10 deelgebieden. Binnen de deelgebieden zijn een aantal PQ's geselecteerd op basis van vlakdekkende vegetatiekaart zodat er verschillen zijn in vegetatietypes (3-4 PQ's). De gegevens over de inundatiefrequentie zijn bepaald met een sedimentatie model van Brinkman et al. (2017), waar naast de maaiveldhoogte als belangrijkste factoren ook de stroomsnelheid van het water en de afstand tot de kreken zijn meegenomen. Gebieden die minder dan eens in de twee jaar worden overstroomd zijn geen kwelders en daarom niet meegenomen in de deelgebieden en dit verklaard waarom sommige deelgebieden gaten hebben (Figuur 2.2 & 2.3).

Figuur 2.2 Locatie van de 15 deelgebieden op Neerlands Reid (genummerd), met de inundatiefrequentie (dagen/jaar).

Figuur 2.3 Locatie van de 10 deelgebieden op de Hon (genummerd), met de inundatiefrequentie (dagen/jaar).

In totaal zijn er 80 PQ's verspreid over de hele kwelder op Ameland waarvan 35 PQ's uit het 'oude' meetnet uit 1986 zijn opgenomen in het nieuwe monitoringsmeetnet. In deze 80 PQ's zullen elk jaar de opslibbingsnelheid en eens in de twee jaar de vegetatiesamenstelling worden gemeten. Daarnaast worden er ook eens per 2 jaar 60 variabele kwadraten VQ's verdeeld over de deelgebieden, waar eenmalig de kleidikte, maaiveldhoogte en vegetatiesamenstelling zullen worden gemeten. Een VQ wordt dus slechts éénmaal opgenomen. De locatie van de PQ's en VQ's zijn random verspreid over alle deelgebieden, resulterend in 8 tot 9 PQ's en VQ's in totaal per deelgebied. In elk deelgebied zijn gemiddeld 3 vaste permanente kwadraten (PQ's) geplaatst (bijlage 1 & 2). De PQ's zijn zo geplaatst dat kwelderdelen met regressie en successie van de vegetatie mee worden genomen.

In 2019 zijn 62 x 2 Sedimentatie-Erosie-Balk (SEB) palen geplaatst en daarna zijn van de 80 PQ's, vegetatie samenstelling, kleidikte en maaiveldhoogte gemeten. 18 'oude' PQ's van meetraai 3 en 9 zijn in het nieuwe monitoringsmeetnet opgenomen waar in 2019 ook de opslibbingssnelheid t.o.v. 2018 kon worden gemeten. Daarnaast zijn er 17 SEB's geplaatst bij PQ's van de 'oude' meetraaien 2, 7 en 8. Er zijn in totaal 45 nieuwe PQ's gekozen. In 2020 is de opslibbing gemeten van alle 80 vaste PQ's, en de vegetatiesamenstelling gemeten van 60 eenmalige VQ's, verspreid over de verschillende deelgebieden.

2.3 Opslibbing

2.3.1 Sedimentatie-Erosie-Balk(SEB)-meting

De opslibbing wordt jaarlijks gemeten met de Sedimentatie-Erosie-Balk methode (Figuur 2.4, Nolte et al. 2013). Bij elk PQ staan twee stevige kunststof palen (doorsnee 7,5 cm) tot in de zandondergrond, die als referentiepunten dienen. Een draagbare aluminium balk (de SEB) wordt op de palen gelegd, en de afstand tussen de bodem en de bovenkant van de balk (en daarmee de koppen van de palen) wordt gemeten op 17 vaste punten tussen de beide palen. Deze meting geeft, na vergelijking met een eerdere meting, het nettoresultaat van de opslibbing van nieuw sediment en de compactie van de gehele kleilaag, inclusief organisch materiaal. Overigens wordt de bodemdaling zelf hier *niet* direct mee gemeten, omdat de palen mee zakken met de dalende bodem. De opslibbing werd voorheen altijd twee keer per jaar gemeten in maart en september. Aangezien voor modelberekening vooral de opslibbing per jaar wordt gebruikt, is er besloten om vanaf 2019 de opslibbing alleen nog jaarlijks in september te meten. In deze rapportage zal de opslibbing van 2020 worden behandeld.

Figuur 2.4. Principe van een SEB-meting: De Sedimentatie-Erosie Balk (SEB) wordt op twee SEB-palen gelegd die permanent en onwrikbaar in het veld staan. Met een meetstok wordt vervolgens de afstand van de bovenkant van de SEB tot de bodem gemeten op 17 vaste punten (van Wijnen and Bakker 1999).

2.3.2 Bodemdaling & maaiveldhoogtes

De bodemdalingsgegevens zijn berekend met het bodemdalingsmodel van de NAM (Piening et al. 2017). Dit model bepaalt de bodemdaling voor elk x- en y-coördinaat op de Amelandse kwelders. Het model gaat tot en met 2018 en voor de jaren daarna zijn de waardes lineair geëxtrapoleerd.

Met het plaatsen van de nieuwe SEB palen, is van alle vaste PQ's van het nieuwe meetnet de hoogte van de SEB-palen ingemeten met een RTK-DGPS, waarmee de maaiveldhoogte kan worden berekend. In 2020 is de maaiveldhoogte van de eenmalige VQ's in 2020 gemeten met een RTK-DGPS.

Voor het oude meetnet is de hoogte van de SEB palen niet ieder jaar gemeten, en zijn deze in die jaren berekend uit de gemeten opslibbing en de gemodelleerde bodemdaling. De gemodelleerde bodemdaling komt niet helemaal overeen met de gemeten daling van de SEB palen, wat impliceert dat de bodemdaling niet overal exact door het model wordt voorspeld. De gemeten daling van de SEB-palen tussen 1993 en 2018 is gemiddeld 3.1 cm groter dan voorspeld door het model van de NAM. Deze afwijking varieert tussen +7 cm en -10 cm. Ter controle zal de maaiveldhoogte van de PQ's voor de volgende rapportage nogmaals gemeten worden. Een deel van de afwijkingen kan verklaard worden door de onnauwkeurigheid van de RTK-DGPS, deze heeft een verticale afwijking van gemiddeld 2cm. Voor de maaiveldhoogte van de PQ's wordt de RTK-DGPS-hoogte van de SEB-palen gebruikt, omdat dit het meest nauwkeurig is.

2.3.3 Kleidikte

Aan de rand van elk PQ van het nieuwe meetnet is in 2019 de kleidikte gemeten. Deze dikte geeft de totale netto opslibbing vanaf het ontstaan van de kwelder weer. Door dit te delen door de kwelderleeftijd kan een ruwe schatting gemaakt worden van de gemiddelde opslibbingssnelheid in het betreffende PQ. Daarnaast is er in maart 2020 een meetcampagne uitgevoerd om de kleidikte van de Hon te bepalen voor een vlakdekkend raster met een celgrootte van 50 m. Voor het Neerlands Reid was de kleidikte al vlakdekkend gemeten in 2016 (Elschot et al. 2017). In deze rapportage zal de kleidikte van de NLR en de HON worden geanalyseerd.

2.3.4 Sedimentatieplaat

Naast de opslibbingmetingen met behulp van de SEB's wordt bij negen PQ's de opslibbing ook gemeten door middel van een sedimentatieplaat. Op Neerlands Reid liggen de platen op transect 3 naast PQ's 3.01, 3.04, 3.07, 3.17, 3.21 en 3.23 en op De Hon liggen ze naast PQ's 9.04, 9.06 en 9.08. De diepte van de sedimentatieplaten worden jaarlijks gemeten door het Natuurcentrum Ameland (NCA). In het nieuwe meetnet zijn in PQ's 3.23 en 9.08 geen SEB-metingen gedaan, voor opslibbingsgegevens van deze twee PQ's zullen voortaan de diepte van de sedimentatieplaten worden gebruikt.

Bij een sedimentatieplaat wordt de dikte van de sedimentlaag boven een in 1989 op circa 20 cm diepte ingegraven RVS-plaat of stenen tegel gemeten. Deze meting geeft een indicatie van de bruto hoeveelheid sediment die er bijkomt, zonder dat de autocompactie van de diepere kleilaag onder de tegel wordt meegenomen (Nolte et al. 2013). In de integrale rapportage zullen deze data worden vergeleken met de opslibbingsdata.

2.4 Vegetatie

2.4.1 PQ's (Puntmetingen)

Van 14 tot 18 september 2020 is er op 60 locaties eenmalig een vegetatieopname gedaan, waar de bedekking van plantensoorten is bepaald met de Londo opnameschaal (Londo 1976), de hoogte van de vegetatie, mate van begrazing (konijnen/hazen/ganzen en beweidingstype en intensiteit) werd genoteerd en is er een inschatting gemaakt van de drainage. Aangezien in deze rapportage de opslibbing van de kwelder wordt behandeld, zal de vegetatiedata inclusief de vegetatie van de 80 vaste PQ's gemeten in 2019 worden uitgewerkt in de jaarrapportage van 2021. Wel zijn de vegetatiebedekking, vegetatiehoogte en de fractie bedekking van eenjarige soorten als variabelen toegevoegd in de analyses in deze rapportage om het effect van vegetatie op sedimentatie te onderzoeken. De bedekking van eenjarige soorten is gebaseerd op de drie meest voorkomende eenjarige soorten: *Salicornia europaea*, *Salicornia procumbens* en *Suaeda maritima*.

2.5 Overig

2.5.1 Waterstanden

Waterstanden van station Nes (Ameland) zijn beschikbaar gesteld in Waterbase (live.waterbase.nl) door Rijkswaterstaat. De gemeten waterstanden bij Nes geven slechts een indicatie van de overstroming van de kwelder. Door lokale variatie in waterstroming en topografie (krekens en kwelderoppervlak) kunnen de werkelijke waterstanden op Neerlands Reid en De Hon afwijken. Van het inundatiefrequentie model van Brinkman et al. (2017) is de nauwkeurigheid onbekend. Daarom zijn er in de winter van 2019, 50 drukmeters geplaatst bij 50 PQ's, ongeveer 2 per deelgebied (bijlage 1 & 2), waarmee de inundatiefrequentie en -duur is berekend. Aangezien de drukmeters nog niet de gehele opslibbingsperiode bij de PQ's staan, kunnen deze data nog niet worden gebruikt voor de analyse van de opslibbing in de huidige rapportage. Daarom is er voor gekozen om de waterhoogte data van Nes te gebruiken. Vanuit de waterhoogte data van Nes is de inundatiefrequentie en gemiddeld hoogwater als een PQ overstroomd. De inundatiefrequentie is een proxy voor het aantal keer dat sediment kan

bezinken en het gemiddeld hoogwater van een overstroomde locatie is een proxy voor de stormintensiteit.

2.5.2 Ruimtelijke ligging PQ's en leeftijd kwelders

Wageningen Environmental Research heeft databestanden met de locaties van de kreken op NLR en de ontwikkeling en ouderdom van de kwelder op de Hon aangeleverd. De locatie van de kwelderrand van NLR was in het verleden al door WMR bepaald. WMR heeft ook de locatie van de kreken op de Hon bepaald met behulp van de Algemene hoogte bestand (AHN 2013). Door de maaiveldhoogte van het AHN te corrigeren met de gemiddelde maaiveldhoogte van de omliggende 5 meter, konden de lagere delen in het landschap worden geïdentificeerd. Vanuit deze data kon de ligging en omvang van de voornaamste kreken worden bepaald.

Voor elk PQ en voor ieder punt waar de kleidikte is gemeten is de afstand tot de kwelderrand, afstand tot de dichtstbijzijnde kreek en het ontstaansjaar van de kwelder bepaald. Voor het NLR wordt ervan uitgegaan dat de gehele kwelder in 1893 is ontstaan na het aanleggen van een stuifdijk.

2.6 Statistische analyse

Aangezien sedimentatie meestal geen lineaire relatie heeft met de maaiveldhoogte of de afstand tot de kwelderrand, is er voor gekozen om een generaal additief model (GAM) te gebruiken voor de statistische analyse (Wood 2017). Een GAM gebruikt een non-parametrische smoothing functie waarmee de data beter kunnen worden beschreven dan met een lineair regressie functie. Dit voordeel weegt op tegen het nadeel dat een GAM lastiger te interpreteren is door een hogere invloed van uitschieters in de data.

De kleidikte is gerelateerd aan de volgende variabelen: locatie (NLR of de Hon), hoogte onderliggende zandlaag, afstand tot de kwelderrand, afstand kreek en leeftijd van de kwelder. De hoogte van de onderliggende zandlaag is berekend door de kleidikte af te trekken van de maaiveldhoogte, de hoogte van de onderliggende zandlaag geeft de oorspronkelijke maaiveldhoogte weer bij het ontstaan van de kwelder, maar is niet gecorrigeerd voor de bodemdaling (Olf et al. 1997). De "afstand tot de kwelderrand" is niet gecorrigeerd voor het feit dat de kwelderrand in het verleden op een kleinere afstand kon liggen dan nu. De analyse is apart uitgevoerd voor het NLR en de Hon. Gebied en ouderdom van de kwelder zijn in het generaal additief model meegenomen als een lineaire relatie. Voor de kleidikte is een aantal punten niet mee genomen in de analyse. Deze punten zijn plekken die op het wad lagen en er geen kleilaag was. Verder zijn plekken verwijderd die boven de 4.0 m boven NAP liggen, omdat dit geen kwelders zijn.

Daarna zijn de opslibbingsdata apart geanalyseerd voor het oude en het nieuwe meetnet. Voor de analyse van de opslibbingsdata van het nieuwe meetnet wordt de opslibbingssnelheid gerelateerd met de volgende variabelen: Locatie (NLR of de Hon), maaiveldhoogte, inundatiefrequentie, gemiddelde waterhoogte als een PQ overstroomd is, afstand tot de kwelderrand, afstand tot de dichtstbijzijnde kreek, vegetatiebedekking, fractie bedekking eenjarige soorten en gemiddelde vegetatiehoogte. Het nieuwe meetnet had na een enkel meetjaar nog maar 80 observaties en daardoor konden beide gebieden nog niet apart worden geanalyseerd. Het oude meetnet, met 48 meetpunten, is geanalyseerd met dezelfde verklarende variabelen, waarbij ook jaar werd toegevoegd als een verklarende variabele. Voor het oude meetnet zijn de data wel apart geanalyseerd voor het NLR en de Hon, aangezien het meetnet al voor langere tijd gemeten is en daarmee in totaal een groter aantal metingen bevat. In de generaal additief model zijn gebied en het jaar meegenomen als een lineaire relatie, de andere factoren zijn gerelateerd met een parametrische smoothing functie. De analyse laat toe dat sommige variabelen de opslibbing toch verklaren volgens een lineair verband. Voor de analyse zijn twee PQ's van het nieuwe meetnet op de Hon uit de dataset verwijderd, deze punten lagen op het wad en hadden veel erosie wat zorgde voor grote uitschieters, wat een groot effect had op de analyse.

Als laatste is geanalyseerd hoe goed de nieuwste versie van het opslibbingsmodel van de Vlas (v.2020-04-01) de gemeten opslibbing voorspelt. Dit is gedaan voor alle opslibbingsdata (nieuwe + oude meetnet) en alleen het nieuwe meetnet. Aangezien het opslibbingsmodel het beste werkt voor een gemiddelde opslibbingswaarde over een langere tijdsperiode, is ook de cumulatieve opslibbing berekend vanuit de maaiveldhoogte van het oude PQ-meetnet vanaf het begin van de monitoring in 1993 (NLR) of 1995 (HON). De gemeten daling van de SEB-palen wordt gebruikt als maat van de aanwezige bodemdaling, zodat de berekende maaiveldhoogte overeenkomt met de gemeten maaiveldhoogte.

In statistische modellen, met meerdere verklarende variabelen, hebben die vaak een effect op elkaar (co-variabelen). Om te zorgen dat het statisch model de meeste variatie in de data verklaart heeft er modelselectie plaatsgevonden. Dat betekent dat er meerdere statistische modellen zijn gerund met alle verschillende mogelijke combinaties van verklarende variabelen. Voor al die verschillende modellen is de Akaike informatie criterium (AIC) uitgerekend, dat de kwaliteit van een model uitrekent ten opzichte van alle andere modellen. Het model met de laagste AIC-waarde is dan het model dat het beste de variatie in de data verklaart. Aangezien de verschillende modellen weinig kunnen verschillen in AIC-waarde is gecontroleerd of de verschillende modellen met een vergelijkbare lage AIC-waarde verschillende resultaten laten zien die tot andere conclusies kunnen leiden. Dit was niet het geval. Alle analyse zijn gedaan in het statistisch programma R (R Core team 2016).

3 Resultaten

3.1 Kleidikte NLR en de Hon

De kleidikte meting voor het NLR is uitgevoerd in 2016. Er is op 787 punten de kleidikte gemeten, elke 50 – 100 m een punt (Figuur 3-1). De kleidikte meting voor de Hon is uitgevoerd op 5 maart 2020 en er is op 521 punten de kleidikte gemeten, met ongeveer elke 50 meter een punt (Figuur 3-2). Op de Hon lagen tijdens de meting een aantal grote plassen met veel organisch materiaal, op die plekken was het lastiger om de kleidikte te meten en is de onnauwkeurigheid hoger.

Figuur 3-2 Kleidikte voor een raster van 50x100 m voor de kwelder de Neerlands Reid, geprojecteerd op AHN3.

Figuur 3-1 Kleidikte voor een raster van 50x50 meter voor de kwelder de Hon, geprojecteerd op AHN3.

Tabel 3-1 *Generaal additief model gebaseerd op de kleidikte weergegeven voor beide locaties samen (volledig model) en apart weergegeven voor het Neerlands Reid (NLR) en de Hon. Gebied en ouderdom kwelder zijn in het model meegenomen als een lineaire relatie. Grijs cellen geven aan dat de betreffende factoren niet zijn meegenomen in het model.*

	Kleidikte		
	Volledig model	Model NLR	Model de Hon
Linear fit (t-values)			
Intercept	18.27***	121.9***	15.02***
Gebied	-7.11***		
Ouderdom kwelder	-18.08***		-14.71***
Smoothed fit (F-values)			
S(Zandlaaghoogte)	176.75***	149.4***	106.48***
S(Afstand tot de kwelderrand)	66.03***	100.5***	8.41***
S(Afstand tot de kreek)	9.15***	12.4***	5.74***
Observatie	1272	767	505
Variatie verklaard	78.7%	83.7%	78.6%

Notes: *** p > 0.001

Uit het volledige model bleek dat alle variabelen een significant relatie hadden met kleidikte (Tabel 3-1). Door de modellen wordt een groot deel van de variatie verklaard, voor het Neerlands Reid 84% en voor de Hon 79%. De Hon heeft een significant lagere kleidikte dan Neerlands Reid. In beide gebieden neemt de kleidikte significant af met een toenemende hoogte van de onderliggende zandlaag en de afstand tot het wad (Figuur 3-3). Variatie in kwelderouderdom binnen de Hon correleert significant met de kleidikte, de klei is minder dik in de jongere (meest oostelijke) kwelderdelen. Het verschil in kleidikte tussen het Neerlands Reid en de Hon is minder groot dan verwacht gebaseerd op het verschil in leeftijd. Mogelijke verklaringen zijn een lagere opslibingssnelheid en/of meer inklinking/erosie van de kwelderbodem op de Hon.

Figuur 3-3 *De kleidikte gerelateerd aan de zandlaaghoogte, afstand tot de kwelderrand, afstand tot de kreek en het ontstaan jaar van de kwelder, de data is uitgesplitst tussen de twee kwelders. Voor de zandlaaghoogte, afstand tot de kwelderrand en afstand tot de kreek is een smoothed functie geplot, terwijl voor ontstaansjaar van de kwelder een lineaire functie is geplot. Voor de grafieken van het generaal additief model, zie bijlage 6.3 (Figuur 6-3, Figuur 6-4)*

3.2 Opslibbing

3.2.1 Nieuw meetnet

Voor het nieuwe meetnet is de opslibbing voor het eerst gemeten in 2020. Op de meeste plekken vond er inklinking en/of erosie plaats en de gemiddelde opslibbing was $-0.45 \pm 1.08 \text{ mm}$ (gemiddelde $\pm$ se). Door lage of afwezige opslibbing was voor de meeste PQ's de opslibbing niet hoog genoeg om de bodemdaling te compenseren (Figuur 3-4). Op het Neerlands Reid was er gemiddeld meer inklinking en/of erosie in vergelijking met de Hon. Als er naar de verschillende deelgebieden wordt gekeken is het duidelijk dat de deelgebieden op een grotere afstand van de kwelderrand weinig tot geen opslibbing hadden (Tabel 3-2). Daarnaast hadden ook de deelgebieden die intensief met schapen worden begraasd weinig opslibbing. Dat heeft waarschijnlijk meerdere oorzaken, maar uit observaties in het veld kan worden geconcludeerd dat de schapen vaak tegen de SEB-palen aanliggen en daardoor de grond lokaal meer vertrappen. Op sommige plekken was de vegetatie deels door vertrapping verdwenen. Het door schapen begraasde gebied heeft een hoge begrazingsdruk en op meerdere plekken is de vegetatie door vertrapping verdwenen, maar de voorkeur van de schapen voor de SEB-palen kan dit op de meetpunten versterken, wat nadelig is voor de representativiteit van de metingen. Verder was de variatie vrij hoog binnen de deelgebieden, wat aangeeft dat er veel variatie is in opslibbing binnen een deelgebied.

Figuur 3-4 De sedimentatie of erosie (mm/j) ten opzichte van de bodemdaling (mm/j) + zeespiegelstijging voor het Neerlands Reid en de Hon in het jaar 2020. De bodemdaling weergegeven voor 2020 is geëxtrapoléerd van de bodemdaling in de voorgaande jaren. PQ's boven de grijze gestreepte lijn hebben een hogere opslibbing dan de jaarlijkse bodemdaling en voor deze plekken stijgt het maaiveld, bij PQ's onder de grijze lijn daalt het maaiveld. In deze grafiek is rekening gehouden met een gemiddelde zeespiegelstijging van 1.5 mm per jaar.

Tabel 3-2 Voor elk deelgebied is de gemiddelde opslibbing met standard error, gemiddelde afstand tot de kwelderrand, en gemiddelde vegetatiehoogte weergegeven. Op de Hon zijn in deelgebied 1 en 9 samen twee PQ's die op het wad staan waar voornamelijk erosie heeft plaatsgevonden. Deze twee PQ's zijn niet meegenomen in de data analyse.

Deel-gebieden NLR	N	Gem. opslibbing (mm)	Gem. afstand kwelderrand (m)	Gem. vegetatie hoogte (cm)	Deel-gebieden HON	N	Gem. opslibbing (mm)	Gem. afstand kwelderrand (m)	Gem. vegetatie hoogte (cm)
1	3	-6.98 ± 3.71	1987	13	1	4	-7.66 ± 8.67	47	15
2	3	-1.90 ± 1.08	868	11	2	4	4.43 ± 2.27	429	56
3	3	-5.29 ± 2.17	1566	12	3	4	6.01 ± 2.27	187	31
4	3	-9.76 ± 1.57	1234	4	4	4	6.55 ± 4.71	99	20
5	3	-6.62 ± 0.35	910	4	5	3	4.52 ± 2.67	403	23
6	1	-1.07	541	5	6	3	2.00 ± 0.89	243	15
7	4	-1.71 ± 1.11	268	3	7	3	1.64 ± 2.29	68	25
8	3	-4.45 ± 2.65	321	2	8	6	3.43 ± 2.87	210	27
9	3	-7.12 ± 1.09	1114	4	9	4	-13.11 ± 14.55	58	18
10	4	1.64 ± 0.57	1063	11	10	4	2.66 ± 0.65	172	33
11	3	-3.10 ± 0.91	557	2					
12	5	5.84 ± 1.64	532	21					
13	3	7.21 ± 6.33	218	10					
14	1	1.14	232	5					
15	2	-5 ± 1.29	172	13					

Uit het statistisch model komt dat er een lineair verband was tussen de afstand van de kwelderrand en de opslibbingsnelheid, verder van de kwelderrand is de opslibbing lager (Tabel 3-3, Figuur 3-5). Daarnaast had de vegetatiehoogte een significant positief effect op de opslibbing, bij hogere vegetatie bezonk meer sediment. Verder had de fractie bedekking eenjarige soorten ook een significant positief effect op de opslibbing. Er was een negatieve relatie verwacht, aangezien de eenjarige soorten in de winter afsterven. De verwachting was dan ook dat met meer eenjarige soorten de opslibbing lager zou zijn omdat de vegetatie minder sediment kan vast houden in de winter. Dat er een positieve relatie was komt waarschijnlijk doordat de eenjarige soorten (*Salicornia europaea*, *S. procumbens*, *Suaeda*

Nieuw monitorings meetnet 2020

Figuur 3-5 De opslibbing van het nieuwe monitoringsmeetnet gerelateerd aan de afstand tot de kwelderrand, vegetatiebedekking en vegetatiehoogte. De verschillende kleuren geven de twee locaties aan. Voor de afstand tot de kwelderrand is een lineaire functie geplot en voor de vegetatiebedekking en vegetatiehoogte een smoothing functie geplot, het grijze gebied is de vertrouwelijk banden van het gemiddelde. De grafieken van de generaal additive model zitten in de bijlage 6.4 (Figuur 6-5).

maritima) vooral voorkomen op de pionier en lage kwelder dichtbij de kwelderrand waar een hogere opslibbing was. Andere factoren die in het model waren meegenomen zoals gebied, maaiveldhoogte, inundatiefrequentie, gem. hoogwater als overstroomd, afstand tot de kreek en vegetatiebedekking waren niet significant.

Tabel 3-3 *Generaal additief model voor de opslibbing van het nieuwe meetnet en oude meetnet. Voor het oude meetnet is er ook een apart model voor het Neerlands Reid en de Hon. Gebied en jaar zijn in het model meegenomen als een lineaire relatie. Het model geeft aan wanneer een factor een lineaire fit heeft met opslibbing. De grijze cellen geven aan welke factoren niet zijn meegenomen in het model. Met model selectie zijn factoren bepaald die het meeste variatie verklaren doormiddel van de AIC, de t- of F-waardes met bijbehorende p-waardes voor die factoren zijn weergegeven. Factoren die leeg zijn gelaten bij een bepaald model zaten niet in het beste model en waren dan ook niet significant.*

	Nieuw meetnet	Oud meetnet		
	Volledig model	Volledig model	Model NLR	Model de Hon
Lineaire fit (t-waardes)				
Intercept	-1.95	1.77	1.95	5.23***
Gebied				
Jaar		-1.71	-1.88	-5.20***
Fractie bedekking eenjarige soorten	3.50***			
Afstand tot de kwelderrand	-4.08***			
Vegetatiehoogte		2.80		
Inundatiefrequentie				26.41***
Smoothed fit (F-waardes)				
Maaiveldhoogte			2.90**	
S(Fractie bed. eenjarig soorten)				5.04***
S(Afstand tot de kwelderrand)		13.53***	4.58***	4.83***
S(Afstand tot de kreek)		11.31***	9.48***	1.78
S(Vegetatiebedekking)		3.45**	3.34**	10.38**
S(Vegetatiehoogte)	3.50***			
S(Inundatiefrequentie)		5.74***	3.03**	
S(Gem. hoogwater als overstroomd)		6.68***	8.78***	
Aantal observaties	79	745	492	253
R ²	48.3%	41.1%	45.6%	48.5%

Notes: p-waardes **p > 0.01, *** p > 0.001

3.2.2 Oud meetnet

Het oude meetnet is over een langere periode gemeten (1993 – 2018) en zou daardoor het effect van waterhoogte over de verschillende jaren beter kunnen weergeven. Echter, de locaties van het oude meetnet waren minder goed verspreid over de kwelders en een groot aantal PQ's lagen op een oeverwal. Als er naar alle PQ's wordt gekeken was er geen significant verschil in opslibbingssnelheid tussen de twee gebieden (Tabel 3-3). De locatie in de kwelder had wel een significant effect op de opslibbingssnelheid (Figuur 3-6). Niet alleen de afstand van de kwelderrand, maar ook de afstand tot de kreek had een significant negatief effect op de opslibbingssnelheid. Daarnaast had ook de inundatiefrequentie en gemiddeld hoogwater (als een PQ overstroomd werd) een significante relatie met opslibbingssnelheid, waarbij er bij een inundatiefrequentie van 0.6 keer per dag de opslibbingssnelheid het hoogst was (Figuur 3-6). Voor het gemiddeld hoogwater was de opslibbingssnelheid het hoogst rond 160 cm waterhoogte. Voor de vegetatiebedekking was de opslibbingssnelheid het hoogst rond 40%, maar het heeft maar een klein effect op de opslibbingssnelheid en de variatie van opslibbingssnelheid bij 100% bedekking was groot. Vegetatiehoogte en de fractie bedekking eenjarige soorten hadden geen significant effect op de opslibbingssnelheid voor het volledige model.

Ondanks dat er geen significant verschil was in de opslibbingssnelheden tussen het NLR en de Hon werden ze wel apart geanalyseerd, omdat er waarschijnlijk binnen de jaren wel een significant verschil was tussen de twee gebieden. De uitkomst van de GAM model was ook verschillend tussen de twee locaties; voor het Neerlands Reid verklaarde de afstand tot de kreek het meeste variatie (Tabel 3-3), er was een hogere opslibbing tot ongeveer 25 m van de kreek, maar verder weg van de kreek is er nauwelijks nog een effect (Figuur 3-6). Maaiveldhoogte, inundatiefrequentie en het gemiddeld hoogwater als een PQ wordt onderstroomd heeft ook een significant effect voor NLR. Op een hogere maaiveldhoogte was er minder opslibbing, verder was het effect van inundatiefrequentie en gemiddelde hoogwaterstand als een PQ overstroomd is vergelijkbaar met alle data (Figuur 3-6). Met toenemende afstand van de kwelderrand nam de opslibbing af (Figuur 3-6). De vegetatiehoogte en fractie bedekking eenjarige soorten had geen significant effect op de opslibbingssnelheid van het Neerlands Reid.

Voor de Hon had een toenemende afstand tot de kwelderrand een negatief effect op de opslibbingssnelheid. De inundatiefrequentie had een significant positief effect, locaties die vaak worden overstroomd hadden een hogere opslibbing, maar dat zijn wel maar weinig punten (6 van de 253). Verder had de fractie bedekking eenjarige soorten ook een significant effect, maar dat effect is niet heel duidelijk (Figuur 6-7). Als laatste had jaar ook een effect, waarbij de opslibbingssnelheid afneemt over de jaren (Figuur 6-7). De Hon is een jonge kwelder en de toename in kleidikte zorgde ook voor een toename in inklinking. Verder lag de kwelderrand in het verleden voor sommige locaties op een kortere afstand dan nu het geval is, hiervoor is niet gecorrigeerd. De afstand tot de kreek, gemiddeld hoogwater als het PQ overstroomd en de vegetatiehoogte hadden geen significant effect op de opslibbingssnelheid van de Hon.

De GAM-modellen verklaarde voor het nieuwe en het oude meetnet ongeveer 45-48% van de variatie in de opslibbingssnelheid (Tabel 3-3). Dat het statistisch model maar de helft van de variatie verklaart, geeft aan dat de opslibbing binnen een kwelder erg variabel was en dat er achterliggende factoren zijn gemist. Het nieuwe meetnet is pas in 2019 geplaatst en de bodem kan hierdoor tijdelijk verstoord zijn, wat extra variatie kon opleveren. Deze verstoring neemt af in de komende jaren, dus de variatie in

Opslibbing oud monitoringsmeetnet

Figuur 3-6 De opslibbing van het oude monitoringsmeetnet gerelateerd aan de maaiveldhoogte, inundatiefrequentie, gem. waterhoogte als het PQ overstroomd, afstand tot de kwelderrand, afstand tot de kreek en vegetatiebedekking. De verschillende kleuren geven de twee locaties aan. Voor de maaiveldhoogte is een lineaire functie geplott, voor alle andere verklarende variabelen is een smooth functie geplott. De grafieken van de generaal additive model zitten in de bijlage 6.5 (Figuur 6-6, Figuur 6-7).

opslibbingssnelheid dat dit oplevert neemt ook af. Voor het oude meetnet kon de verklaarde variatie ook lager zijn omdat de opslibbing van alle jaren samen wordt geanalyseerd. Naast dat er variatie is in de waterstanden tussen jaren is er waarschijnlijk ook variatie in sedimentaanbod, temperatuur, neerslag en stormfrequentie. Sedimentaanbod wordt niet meegenomen in ons model en dat kan mogelijk een deel van de variatie verklaren. Daarnaast zorgen periodes van droogte en hogere temperaturen in de zomer voor een sterkere inklinking van de kwelderbodem. Verder is zoals er al eerder is genoemd de ruimtelijke spreiding van de oude PQ's niet optimaal. Zo waren er voor het oude meetnet tussen een afstand tot de kwelderrand van 500 tot 800 m geen PQ's geplaatst, dit maakt de relatie tussen de afstand tot de kwelderrand en de opslibbing minder sterk.

3.3 Kalibratie opslibbingsmodel De Vlas

Het opslibbingsmodel is ontwikkeld door De Vlas om het overstromingsrisico te berekenen voor vogelnesten op de kwelder. Dit model is een aangepaste versie (v. 2020-04-01) van het eerdere opslibbingsmodel van De Vlas dat is gepubliceerd in de vorige integrale rapportage (Elschot et al. 2017). Dit opslibbingsmodel is ontwikkeld vanuit de kleidikte data van het Neerlands Reid en de Hon, zie paragraaf 3.1. Er is voor het Neerlands Reid en de Hon samen een formule ontwikkeld. De formule voor de opslibbing is:

$$\text{Opslibbing} = (1.00e^{-8} * (182.2 - 100 * z)^{2.5}) / (d / 1000)^{0.3}$$

Waar z is de aanvangshoogte (m NAP), d het afstand tot de kwelderrand (in m) en de opslibbing in m. De afstand tot de kwelderrand en de aanvangshoogte zijn afgekapt: de minimale afstand is 20 m en de maximale aanvangshoogte is 1.812 m.

Als de gemeten opslibbing (oude en het nieuwe meetnet) wordt vergeleken met de gemodelleerde opslibbing valt op dat het niet goed overeen komt (Figuur 3-7). De gemeten opslibbing heeft een range van -100 tot 100 mm, tussen -8.6 en 17.6 mm opslibbing lagen 95% betrouwbaarheidsinterval. De gemodelleerde opslibbing heeft een range van 0 – 4 mm. De opslibbingsformule houdt geen rekening met natuurlijke inklinking van de bodem en daardoor is de opslibbing altijd positief. Daarnaast is de

Figuur 3-7 Vergelijking tussen de gemeten opslibbing (oude en nieuwe meetnet) en de berekende opslibbing gebaseerd op het model van De vlas. De kleuren geven de aanvangshoogte weer. De gestippelde lijn geeft weer waar de gemeten opslibbing en de berekende opslibbing gelijk zijn. De x en y assen verschillen van schaal, de x as is van -100 tot 100, terwijl de y as is van 0 – 4.

opslibbing erg laag, de maximale opslibbing is 4 mm, terwijl er in het veld opslibbing is gemeten van 100 mm. Het opslibbingsmodel geeft netto een onderschatting, de gemiddelde gemeten opslibbing is 3.36 mm, terwijl de gemiddelde gemodelleerde opslibbing 0.39 mm is, wat bijna een factor 10 verschilt. Verder is voor de berekening van de opslibbing de aanvangshoogte erg belangrijk (Figuur 3-7), maar uit de statistische analyse gebaseerd op zowel het nieuwe en oude meetnet blijkt dat vooral de afstand tot de kwelderrand een groot effect heeft. Daarnaast had ook de inundatiefrequentie, afstand tot de kreek en vegetatie hoogte een significant effect en deze factoren zijn niet meegenomen in het opslibbingsmodel.

Aangezien het aandeel van het oude meetnet erg groot is en het merendeel van deze PQ's dichtbij een kreek liggen waar meer opslibbing is, is er ook apart gekeken naar alleen het nieuwe meetnet. Hieruit blijkt dat de gemodelleerde opslibbing ook niet goed overeenkomt met de gemeten opslibbing van het nieuwe meetnet (Figuur 3-8). Zo kan de opslibbing veel groter zijn, maar is er ook veel meer inklinking. Gemiddeld was er meer inklinking dan opslibbing met netto een gemiddelde maaiveldverandering van - 0.45mm, terwijl de gemodelleerde opslibbing hoger was met gemiddeld 0.37mm.

Het opslibbing model van De Vlas is niet ontwikkeld om de opslibbing per jaar te modelleren, omdat het vanuit de kleidikte is ontwikkeld en met dit model wordt vooral de gemiddelde jaarlijkse opslibbing over de gehele leeftijd van de kwelder berekend. Daarom is de cumulatieve opslibbing gemodelleerd vanaf de initiële maaiveldhoogte van het oude meetnet (1993 voor het Neerlands Reid en 1995 voor de Hon). De gemiddelde afwijking voor de opslibbing was 100.0 ± 14.7 mm. Vooral de PQ's die dichtbij een kreek liggen hadden een grote afwijking, de gemiddelde afwijking was voor de PQ's die meer dan 25 meter van de kreek liggen veel lager (27.0 ± 10.5 mm, Figuur 3-9). Het aantal PQ's dat meer dan 25m van een kreek afligt is wel veel lager dan op een oeverwal (9 PQ's, waarvan een in de Hon).

Figuur 3-8 Vergelijking tussen de gemeten opslibbing van het nieuwe meetnet en de berekende opslibbing gebaseerd op het model van De vlas. De kleuren geven de aanvangshoogte weer. De gestippelde lijn geeft weer waar de gemeten opslibbing en de berekende opslibbing gelijk zijn. De x- en y-assen verschillen van schaal, de x as is van -100 tot 100, terwijl de y as is van 0 – 4.

Figuur 3-9 De afwijking van de cumulatieve opslibbing (gemodelleerde cumulatieve opslibbing – gemeten cumulatieve opslibbing) ten opzichte van de afstand tot de kreek. De kleur geeft de locatie weer. Negatieve waarden betekenen dat het model een onderschatting gaf van de cumulatieve opslibbing, terwijl positieve waarden een overschatting weergeven.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

In deze rapportage worden de eerste nieuwe opslibbingsgegevens verzameld in 2020 van het nieuwe meetnet gepresenteerd. Daarnaast is onderzocht welke variabelen de kleidikte en de opslibbing/inklinking van sediment bepalen. Als laatste is ook het opslibbing model van De Vlas gevalideerd met de opslibbingsdata uit het nieuwe en oude meetnet.

4.1.1 Kleidikte

De kleidikte werd voor beide gebieden vooral bepaald door de maaiveldhoogte, afstand tot de kwelderrand en de afstand tot de kreek, wat overeen met de uitkomsten andere onderzoeken (Olf et al. 1997, Van Wijnen and Bakker 1997, Bartholdy et al. 2010). De hoogte van de onderliggende zandlaag verklaarde de meeste variatie op het Neerlands Reid, gevolgd door de afstand tot de kwelderrand. Voor de Hon verklaarde de afstand tot de kwelderrand minder variatie dan het Neerlands Reid, dat komt waarschijnlijk omdat de kwelder minder breed is en omdat de afstand tot de kwelderrand tijdens de monitoringsperiode is toegenomen voor de PQ's. In deze analyse is daar niet voor gecorrigeerd maar dit kan wel voor extra variatie in de data hebben gezorgd. Ook is er een significant positief effect van kwelderleeftijd op de kleidikte, waarbij Neerlands Reid een dikkere kleilaag heeft dan de Hon. Toch is het verschil in kleidikte niet zo groot als verwacht bij een leeftijdsverschil van 80 jaar. Dit geeft aan dat er meer inklinking plaats vindt op het Neerlands Reid, want met kwelderleeftijd en een toename van gewicht in de bovenste lagen klinkt een kweldebodem van nature in en vindt er compactie van de kweldebodem plaats door vee op het beweidde NLR en niet op de onbeweidde Hon (Cahoon et al. 1995). De opslibbingssnelheid (mm/jaar) die wordt berekend vanuit de kleidikte is gemiddeld genomen voor alle jaren sinds het ontstaan van de kwelder. De verwachting is dat de kwelders in jongere stadia sneller opslibben, en dat de snelheid wat afneemt met leeftijd (Elschot et al. 2015). Daarnaast is in deze analyse is geen rekening gehouden met bodemdaling en met het gegeven dat een netto maaiveld daling de opslibbing kan laten toenemen. Mogelijk leidt dit tot een overschatting voor het begin van de bodemdaling en een onderschatting tijdens bodemdaling. Daarom is het belangrijk om ook jaarlijks de opslibbing in het veld te blijven meten.

4.1.2 Opslibbing/inklinking

De locatie op de kwelder was een van de belangrijkste factoren voor de hoeveelheid opslibbing, waarbij op locaties nabij de kwelderrand en op oeverwallen langs de kreek de hoogste opslibbing plaatsvond (Temmerman et al. 2003b). Voor zowel het nieuwe als het oude meetnet verklaarde de afstand tot de kwelderrand een groot deel van de variatie. Voor het nieuwe meetnet was de opslibbing tot een afstand van ongeveer 750 m van de kwelderrand nog positief, verder weg van de kwelderrand was er gemiddeld meer inklinking dan opslibbing. Dit is in lijn met de gegevens van het oude meetnet, deze gaven aan dat de opslibbing positief was vanaf een afstand van 800 m van de kwelderrand.

Naast de afstand tot de kwelderrand had ook de afstand tot de kreek een groot effect op de opslibbing in het oude meetnet en gebaseerd op de kleidiktemetingen. De afstand tot de kreek had geen significant effect op de opslibbing in het nieuwe meetnet, maar de data laat wel een trend zien dat op een grotere afstand tot de kreek de opslibbing lager ligt. Verder is de afstand tot de kreek bij het nieuwe meetnet veel groter, de maximale afstand tot de kreek is meer dan 1000 m. Aangezien de kreek alleen op een korte afstand een effect heeft op de opslibbingssnelheid, kan de grote afstand tot de kreek het effect maskeren. In het oude meetnet zijn er vooral veel PQ's dichtbij een kreek geplaatst en is de opslibbing hoger tot een afstand van ongeveer 25 m van de kreek. Het effect "afstand tot de kreek" op de kleidikte was 2 keer zo groot (50 m) als het effect van kreek op de opslibbing van het oude meetnet, maar dat

komt waarschijnlijk omdat krekken meanderen over de tijd en daardoor effect hebben op een groter gebied terwijl de dikte van de kleilaag weerspiegelt de ontwikkeling van de kwelder over een langere periode dan het oude meetnet.

De relatie tussen maaiveldhoogte en opslibbing was daarentegen meestal niet significant. Alleen voor het oude meetnet op het Neerlands Reid had maaiveldhoogte een negatieve relatie met opslibbing, waar plekken met een laag maaiveld meer opslibbing hadden dan plekken met een hoog maaiveld. De opslibbingsnelheid had wel veel variatie ten opzichte van de maaiveldhoogte en pas vanaf een maaiveldhoogte van 1.5 m was er een duidelijke afname in de opslibbingssnelheid. Eerdere studies tonen aan dat maaiveldhoogte een belangrijke factor is voor de opslibbingssnelheid (Cahoon and Reed 1995, Suchrow et al. 2011), bij een lagere maaiveldhoogte word een plek vaker overstroomd en is er meer kans tot bezinking van sediment. Een groot deel van dit effect wordt in de analyses in deze rapportage al verklaard door de afstand tot de kwelderrand aangezien lagergelegen delen meestal dicht bij de kwelderrand liggen. Daarnaast was de hoogte van de onderliggende zandlaag een van de belangrijkste variabelen voor de dikte van de kleilaag, dit geeft aan dat de maaiveldhoogte tijdens het ontstaan van de kwelder wel belangrijk is voor de uiteindelijke kleidikte. De maaiveldhoogte wordt beïnvloed door de bodemdaling, en een lage opslibbing gecombineerd met bodemdaling zorgt voor een daling van het maaiveld. Dit resulteert in een hogere inundatiefrequentie en dat kan weer leiden tot een hogere opslibbing afhankelijk van het sedimentaanbod in het inunderende water. Aangezien de afstand tot kreek en kwelderrand, de maaiveldhoogte en inundatiefrequentie allen een significant effect hadden, is het aannemelijk dat bodemdaling nabij de kreek- en kwelderrand zorgt voor een hogere opslibbing op het Neerlands Reid. Daarentegen, is voor de Hon geen significant effect van maaiveldhoogte gevonden, maar wel een significant effect van inundatiefrequentie en kwelderrand. Het effect van bodemdaling op de opslibbingssnelheid op de Hon is nog onduidelijk.

Het effect van maaiveldhoogte op de opslibbing is ook afhankelijk van de waterstanden. Zo vindt opslibbing voornamelijk plaats tijdens ondiepe overstromingen (Silva et al. 2009, Coulombier et al. 2012) of juist tijdens stormen met een hoge intensiteit (Pont et al. 2002, Mudd et al. 2010). Als de opslibbing voornamelijk voorkomt tijdens stormen dan is het effect van maaiveld minder belangrijk, aangezien een groot deel van de kwelder dan overstroomd is. Om te bepalen of inundatiefrequentie of stormintensiteit belangrijker zijn is de inundatiefrequentie en de gemiddelde hoogwaterstand als een PQ overstroomt als variabelen meegenomen. In het oude meetnet voor Neerlands Reid leverden inundatiefrequentie en de gemiddeld hoogwaterstand als een PQ overstroomt beide een significante bijdrage aan de opslibbing, terwijl voor de Hon alleen de inundatiefrequentie significant was. De opslibbingssnelheid was het hoogst bij een inundatiefrequentie van 0.6 keer per dag, dat geeft aan dat vaak voorkomende overstromingen toch wel erg belangrijk zijn. Daarnaast was de opslibbingssnelheid het hoogst bij een gemiddelde waterstand als een PQ overstroomt 1.6 m, wat aangeeft dat bij een iets hogere waterstand wel meer sediment bezinkt. Hiermee is het dus nog niet helemaal duidelijk wat de belangrijkste factoren zijn, verder zijn deze variabelen niet een goede proxy voor stormfrequentie of intensiteit, daarvoor kan het beter zijn om de frequentie van bepaalde waterstandhoogtes die alleen voorkomen tijdens stormen in het model mee te nemen.

Voor het nieuwe meetnet was er een positief significant effect van vegetatiehoogte op de opslibbing. Dit kan twee redenen hebben, lagere vegetatiehoogte kan minder sediment invangen (Peralta et al. 2008) of de lagere vegetatiehoogte komt door een hogere begrazingsdruk en het vee zorgt tegelijkertijd voor biocompactie van de bodem (Elschot et al. 2013). In het nieuwe meetnet zitten ook PQ's in het deel van de kwelder op het Neerlands Reid dat door schapen wordt begrazen. De begrazingsdruk is hier relatief hoog (persoonlijke observatie) en daardoor de biocompactie waarschijnlijk ook. Op de schapenbegraste kwelder zijn er ook meerdere plekken waar de vegetatie is verdwenen waarschijnlijk door vertrapping. Daarnaast was in het veld te zien dat de schapen aangetrokken werden door de SEB palen om daar tegenaan te liggen of te schuren. Dit geeft lokaal waarschijnlijk ook een hogere compactie van de bodem. Dat een lagere vegetatie minder sediment opvangt, speelt waarschijnlijk ook een rol. Maar wij verwachten dat de biocompactie van de bodem door vee het grootste effect heeft op de opslibbingsbalans. In de toekomst zal de veebezetting per hectare (GVE – grootvee-eenheid) als variabele in het model meegenomen moeten worden. Er zal in het veld extra aandacht worden besteed aan de aantrekkingskracht van de SEB-palen voor schapen en als dat nodig is zou een andere methode voor het meten van sedimentatie kunnen worden gebruikt (bijv. sedimentatieplaten). Verder was de

vegetatiebedekking en de fractie bedekking eenjarige soorten ook significant, maar de relatie was niet duidelijk te interpreteren en kwam deels door uitschieters in de data. Het effect van vegetatie op sedimentatie is nog niet altijd duidelijk, er zijn meerdere studies waarin blijkt dat vegetatie geen effect had op sedimentatie (Neumeier and Ciavola 2004, Elschot et al. 2013).

De statistische modellen verklaren maar een deel van de variatie in de opslibbing op de kwelder. Het nieuwe meetnet verklaart 48% van de variatie, en scoort niet beter dan het oude meetnet, dat voor NLR en de Hon respectievelijk 46% en 49%. Het nieuwe meetnet is een jaar geleden geplaatst, het plaatsen van de SEB-palen kan verstoring veroorzaken en dat kan zeker effect hebben op de opslibbing en inklinking. Dat kan deels de minder goede verklaring van de opslibbinssnelheid verklaren. In de komende jaren zal het effect van de verstoring van het plaatsen van de SEB palen vermoedelijk minder zijn.

Daarnaast kan een deel van de variatie in de opslibbingssnelheid verklaard worden omdat het sediment aanbod in het water niet is meegenomen (Cahoon and Reed 1995, Temmerman et al. 2003a), wat verschillen tussen jaren deels zou kunnen verklaren. Verder kan de bodem inklinken tijdens droogte en uitzetten na een periode met veel regenval (Cahoon et al. 2011), door regenoverschot in de weken voor de meting mee te nemen in het model zou het model nauwkeuriger kunnen worden. De absolute inklinking is ook afhankelijk van de kleidikte, dus dat zou ook een deel van de variatie kunnen verklaren. Verder is nu de afstand tot de kwelderrand berekend door de kleinste afstand te gebruiken. Voor sommige deelgebieden (vooral in het Neerlands Reid) kan dat niet helemaal kloppen, aangezien de kleinste afstand soms over een duingebied gaat en het water grotendeels om de hoger gelegen duinen heen zal stromen voor het bij het PQ aankomt. Het zal beter kunnen zijn om de afstand naar de kwelderrand via de kreek uit te rekenen. Als laatste kan volgend jaar de inundatiefrequentie en waterhoogte bepaald worden met de recent geplaatste drukloggers en dit zal, naar verwachting, een nauwkeuriger beeld geven.

4.1.3 Validatie opslibbingsmodel De Vlas

Het opslibbingsmodel van De Vlas kwam niet goed overeen met de gemeten jaarlijkse opslibbing. Gemodelleerde en gemeten waarden konden een factor 10 van elkaar verschillen. Dit verschil in de gemeten opslibbing en gemodelleerde opslibbing komt deels doordat de PQ's van het oude meetnet voornamelijk dichtbij een kreek liggen en een hoge opslibbing hebben. Het nieuwe meetnet is nog maar een jaar oud en verstoring door het plaatsen van de palen kan meetfouten geven. Verder is het model van De Vlas ontwikkeld vanuit kleidiktegegevens, en de kleidikte geeft de opslibbing weer over een langere periode. Daarom is het beter om de cumulatieve opslibbing over een langere periode te gebruiken om het model te valideren. Aangezien in het nieuwe meetnet nog maar een keer is gemeten kan de cumulatieve opslibbing alleen worden vergeleken met het oude meetnet. Over een aantal jaren kan de opslibbingswaarde ook binnen het nieuwe meetnet beter worden gemodelleerd, alleen is het nog niet duidelijk hoe lang de periode moet zijn om de cumulatieve opslibbing te modelleren.

Als de gemeten cumulatieve opslibbing in het oude meetnet over een langere periode vergeleken wordt met de gemodelleerde cumulatieve opslibbing, is er nog steeds een redelijk grote afwijking van gemiddeld 10 cm. Deze afwijkingen zijn het grootst in PQ's vlak bij een kreek op de oeverwallen, waar de opslibbing hoog is (Temmerman et al. 2003b). In het opslibbingsmodel wordt de afstand tot de kreek niet meegenomen, dus dat verklaart de hoge afwijking van het model nabij de kreek. Vanuit de locaties van de krekken kan de oppervlakte dat binnen 25m van een kreek ligt worden uitgerekend. Voor het Neerlands Reid is dat 15% en voor de Hon is dat 25%. Dat is wel een aanzienlijk oppervlak, dus dat geeft aan dat het wel belangrijk is om de afstand tot de kreek mee te nemen in het opslibbingsmodel.

Op een afstand van meer dan 25 meter van de kreek was de afwijking maximaal 8 cm en gemiddeld 2.7 cm. Dat is een veel lagere afwijking en dat geeft een indicatie dat de gemodelleerde opslibbing een veel nauwkeuriger is op een grotere afstand van de kreek. In het oude meetnet zijn er slechts 9 PQ's die verder dan 25 m van de kreek bevinden en daardoor is het lastig om de nauwkeurigheid van het opslibbingsmodel te bepalen.

Naast dat het opslibbingsmodel de hoge opslibbing in de buurt van een kreek niet meeneemt, is er geen netto erosie of inklinking meegenomen. Daardoor kan het model een te hoge opslibbing berekenen, juist voor gebieden die ver van de kwelderrand liggen waar veel inklinking plaatsvindt. Het opslibbingsmodel is gebaseerd op eenzelfde formule voor beide gebieden en het is niet duidelijk of dit de onnauwkeurigheid vergroot. Er is namelijk maar één PQ op de Hon van het oude meetnet dat verder dan 25 meter van een kreek ligt, en dat maakt vergelijken tussen de twee gebieden niet mogelijk. Maar aangezien de kleidikte significant verschilt tussen de twee gebieden zou het model nauwkeuriger kunnen zijn als daar rekening mee wordt gehouden.

4.2 Aanbevelingen en aandachtspunten

- In dit rapport is het eerste jaar van opslibbingsgegevens van het nieuwe meetnet geanalyseerd. Geconstateerd wordt dat het plaatsen van nieuwe palen op de kwelders geleid kan hebben tot lokale verstoring van de bodem. De opslibbingsmetingen zullen de komende jaren opnieuw worden geanalyseerd en zullen mogelijk een duidelijker beeld geven.
- Verder zal er extra aandacht moeten worden besteed aan de aantrekkingskracht van schapen op de SEB palen, en als het nodig is andere methodes worden ingezet voor het meten van sedimentatie, zoals sedimentatieplaten.
- Om het effect van biocompactie te kunnen verklaren in het statistisch model voor opslibbing wordt in de volgende analyse de begrazingsdruk van vee per hectare berekend en meegenomen voor het Neerlands Reid.
- Het statistisch model van de opslibbing in deze rapportage zou meer variatie kunnen verklaren als het sedimentaanbod vanuit de Waddenzee, regenoverschot enkele weken voor het meetmoment, kleidikte en de inundatiefrequentie van de drukmeters worden meegenomen in het model. Dit zal in de volgende analyse meegenomen worden.
- In het opslibbingsmodel van De Vlas wordt de verhoogde opslibbing dichtbij de krekken niet meegenomen en dat zorgt voor een onderschatting in de maaiveldhoogteverandering nabij de krekken. Aangezien op de Hon een kwart van de kwelder binnen 25m afstand van een kreek bevindt, is het belangrijk dat dat wel meegenomen gaat worden in het model om de risico's voor broedvogels te bepalen.
- Het opslibbingsmodel zou voor locaties op een grotere afstand van een sedimentbron een nauwkeurigere opslibbing kunnen modelleren als inklinking/erosie van het sediment wordt meegenomen in het model.
- De kleidikte verschilt significant tussen de twee kwelders (Neerlands Reid en de Hon). De nauwkeurigheid van het opslibbingsmodel van De Vlas wordt waarschijnlijk groter als een gebiedseffect wordt meegenomen. Zo zouden er aparte formules kunnen worden bepaald voor Neerlands Reid en de Hon en/of een extra parameter die begrazing meeneemt als factor.

5 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. Dit certificaat is geldig tot 15 december 2021. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV GL.

Literatuur

- AHN, P. 2013. Actueel Hoogtebestand Nederland 2. Programmasecretariaat AHN, Amersfoort, The Netherlands.
- AHN3. 2014. Actueel Hoogtebestand Nederland 3.
- Bartholdy, A. T., J. Bartholdy, and A. Kroon. 2010. Salt marsh stability and patterns of sedimentation across a backbarrier platform. *Marine Geology* 278:31–42.
- Brinkman, A. G., A. V. de Groot, and J. T. van der Wal. 2017. Bodemdaling en opslibbing op de kwelders van Ameland, een modelstudie.
- Cahoon, D. R., B. C. Perez, B. D. Segura, and J. C. Lynch. 2011. Elevation trends and shrink-swell response of wetland soils to flooding and drying. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 91:463–474.
- Cahoon, D. R., and D. J. Reed. 1995. Relationships among Marsh Surface Topography, Hydroperiod, and Soil Accretion in a Deteriorating Louisiana Salt Marsh. Page Source: *Journal of Coastal Research*.
- Cahoon, D. R., D. J. Reed, and J. W. ' Day. 1995. Estimating shallow subsidence in microtidal salt marshes of the southeastern United States: Kaye and Barghoorn revisited. Page *MARINE GEOLOGY ELSEVIER Marine Geology*.
- Coulombier, T., U. Neumeier, and P. Bernatchez. 2012. Sediment transport in a cold climate salt marsh (St. Lawrence Estuary, Canada), the importance of vegetation and waves.
- Dankers, N., K. S. Dijkema, G. Londo, and P. A. Slim. 1987. De ecologische effecten van bodemdaling op Ameland. RIN-rapport 87/14. Texel.
- Elschot, K., J. P. Bakker, S. Temmerman, J. Van De Koppel, and T. J. Bouma. 2015. Ecosystem engineering by large grazers enhances carbon stocks in a tidal salt marsh. *Marine Ecology Progress Series* 537:9–21.
- Elschot, K., T. J. Bouma, S. Temmerman, and J. P. Bakker. 2013. Effects of long-term grazing on sediment deposition and salt-marsh accretion rates. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 133:109–115.
- Elschot, K., A. de Groot, C. Sonneveld, J. T. van der Wal, P. de Vries, A. G. Brinkman, W. van Duin, W. Molenaar, J. Krol, A. T. Kuiters, D. de Vries, R. M. A. Wegman, P. A. Slim, E. C. Koppelaar, and J. de Vlas. 2017. Ontwikkeling kwelder Ameland-Oost: Evaluatie bodemdalingsonderzoek 1986–2016. Pages 185–328 in J. de Vlas, editor. Monitoring effecten van bodemdaling op Oost-Ameland.
- Londo, G. 1976. The decimal scale for relevés of permanent quadrats. *Vegetatio* 33:61–64.
- Mudd, S. M., A. D'Alpaos, and J. T. Morris. 2010. How does vegetation affect sedimentation on tidal marshes? Investigating particle capture and hydrodynamic controls on biologically mediated sedimentation. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 115.
- Neumeier, U., and P. Ciavola. 2004. Flow resistance and associated sedimentary processes in a *Spartina maritima* salt-marsh. *Journal of Coastal Research* 20:435–447.
- Nolte, S., E. C. Koppelaar, P. Esselink, K. S. Dijkema, M. Schuerch, A. V. De Groot, J. P. Bakker, and S. Temmerman. 2013. Measuring sedimentation in tidal marshes: A review on methods and their applicability in biogeomorphological studies. *Journal of Coastal Conservation* 17:301–325.
- Oloff, H., J. De Leeuw, J. P. Bakker, R. J. Platerink, and H. J. van Wijnen. 1997. Vegetation Succession and Herbivory in a Salt Marsh: Changes Induced by Sea Level Rise and Silt Deposition Along an Elevational Gradient. *Journal of Ecology* 85:799–814.
- Peralta, G., L. van Duren, E. Morris, and T. Bouma. 2008. Consequences of shoot density and stiffness for ecosystem engineering by benthic macrophytes in flow dominated areas: a hydrodynamic flume study. *Marine Ecology Progress Series* 368:103–115.
- Piening, H. 2017. Excel utility to compute spatially correlated deformation estimates for Ameland (version 2017). NAM, Assen.
- Piening, H., W. van der Veen, and R. van Eijs. 2017. Bodemdaling. Pages 9–25 in J. de Vlas, editor. Monitoring effecten van bodemdaling op Oost-Ameland.
- Pont, D., J. W. Day, P. Hensel, E. Franquet, F. Torre, P. Rioual, C. Ibàñez, and E. Coulet. 2002. Response scenarios for the deltaic plain of the Rhône in the face of an acceleration in the rate of sea-level rise with special attention to *Salicornia*-type environments. *Estuaries* 25:337–358.
- van Puijenbroek, M. E. B., and C. Sonneveld. 2020. Nieuw monitoringsmeetnet kwelders Ameland-Oost : Jaarrapportage veldwerk 2019. Wageningen Marine Research.
- R Core team. 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Silva, H., J. M. Dias, and I. Caçador. 2009. Is the salt marsh vegetation a determining factor in the sedimentation processes? *Hydrobiologia* 621:33–47.
- Suchrow, S., N. Pohlmann, M. Stock, and K. Jensen. 2011. Long-term surface elevation changes in German

North Sea salt marshes.

- Temmerman, S., G. Govers, P. Meire, and S. Wartel. 2003a. Modelling long-term tidal marsh growth under changing tidal conditions and suspended sediment concentrations, Scheldt estuary, Belgium. *Marine Geology* 193:151–169.
- Temmerman, S., G. Govers, S. Wartel, and P. Meire. 2003b. SPATIAL AND TEMPORAL FACTORS CONTROLLING SHORT-TERM SEDIMENTATION IN A SALT AND FRESHWATER TIDAL MARSH, SCHELDT ESTUARY, BELGIUM, SW NETHERLANDS. *Earth Surf. Process. Landforms* 28:739–755.
- van Wijnen, H. J., and J. P. Bakker. 1999. Nitrogen and Phosphorus Limitation in a Coastal Barrier Salt Marsh: The Implications for Vegetation Succession. *Journal of Ecology* 87:265–272.
- Van Wijnen, H. J., and J. P. Bakker. 1997. Nitrogen accumulation and plant species replacement in three salt marsh systems in the Wadden Sea. *Journal of Coastal Conservation* 3:19–26.
- Wood, S. N. 2017. *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. Second edition. Chapman and Hall/CRC.

Verantwoording

Rapport C039/21

Projectnummer: 4312100083

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research

Akkoord: Kelly Elschot
Onderzoeker

Handtekening:

Datum: 8 april 2021

Akkoord: Jakob Asjes
Manager integratie

Handtekening:

Datum: 8 april 2021

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 09 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Bezoekers adres:

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden

Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.

Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'

6 Bijlages

6.1 Locaties vaste PQ's Neerlands Reid

Figuur 6-1 Locaties van vaste PQ's op het NLR met een label en de maaiveldhoogte. In kleur is aangegeven of en vanaf wanneer er de overstromingsfrequentie wordt gemeten met een druksensor.

6.2 Locaties vaste PQ's de HON

6.3 Overzicht grafiek kleidikte

Figuur 6-3 De model uitkomsten van het generaal additief model van de kleidikte op het Neerlands Reid voor de verklarende variabelen (van boven naar beneden) zandlaaghoogte (m boven NAP), afstand tot de kwelderrand, en afstand tot de kreek. De grafiek geeft de verandering in de functie (fit) van de verklarende variabelen weer. Bijvoorbeeld, met toenemende zandlaaghoogte, neemt de functie f af, daardoor neemt de kleidikte ook af. Zo is bij afstand tot de kwelderrand de afname van kleidikte meer uitgesproken met een afstand van 0 – 500 meter, daarna is de afname meer stabiel.

Figuur 6-4 De model uitkomsten van het generaal additief model van de kleidikte van de Hon in een grafiek, voor de verklarende variabelen zandlaag hoogte, ontstaan jaar kwelder, afstand tot de kwelderrand, en afstand tot de kreek. De grafiek geeft de verandering in de functie van de verklarende variabelen weer. Bijvoorbeeld, met toenemende zandlaag hoogte, neemt de functie f af, daardoor neemt de kleidikte ook af. Zo is bij zandlaaghoogte de afname van kleidikte meer uitgesproken met een afstand van 0 – 160 cm, daarna is de kleidikte stabiel.

6.4 Overzicht grafiek opslibbing nieuw meetnet

Figuur 6-5 De model uitkomsten van het generaal additief model van de opslibbing van het nieuwe meetnet, voor de verklarende variabelen afstand tot de kwelderrand, fractie bedekking eenjarige soorten en vegetatiehoogte. De grafiek geeft de verandering in de functie van de verklarende variabelen weer. Bijvoorbeeld, met toenemend afstand van de kwelderrand, neemt de functie f af, daardoor neemt de opslibbing ook af.

6.5 Overzicht grafiek opslibbing oud meetnet

Model uitkomst oud meetnet Neerlands Reid

Figuur 6-6 De model uitkomsten van het generaal additief model van de opslibbing van het oude meetnet voor het Neerlands Reid, met de verklarende variabelen maaiveldhoogte, inundatiefrequentie, gem. hoogwater als PQ is overstromd, afstand tot de kwelderrand, afstand tot de kreek, vegetatiebedekking. De grafiek geeft de verandering in de functie van de verklarende variabelen weer. Bijvoorbeeld, bij een maaiveldhoogte vanaf 1300 mm neemt de functie f (fit) af en daardoor neemt de opslibbingssnelheid ook af.

Model uitkomst oud meetnet HON

Figuur 6-7 De model uitkomsten van het generaal additief model van de opslibbing van het oude meetnet voor de Hon, met de verklarende variabelen afstand tot de kwelderrand, inundatiefrequentie, jaar, vegetatiebedekking en fractie bedekking eenjarige soorten. De grafiek geeft de verandering in de functie van de verklarende variabelen weer. Bijvoorbeeld bij toenemende inundatiefrequentie neemt de functie f (fit) toe en daarmee neemt ook de opslibbingssnelheid toe.