

Onderzoek naar de relatie tussen bodemdaling en kans op overstroming van kwelderbroedvogels op Ameland



Sjoerd Duijns
Kees Oosterbeek
Johan Krol
Willem van Duin
Symen Deuzeman
Jelle Postma
Christian Kampichler

Sovon-rapport 2023/34



Onderzoek naar de relatie tussen bodemdaling en kans op overstroming van kwelderbroed- vogels op Ameland

Sjoerd Duijns - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Kees Oosterbeek - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Johan Krol - Natuurmuseum Ameland

Willem van Duin - Artemisia kwelderonderzoek

Symen Deuzeman - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Jelle Postma - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Christian Kampichler - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Sovon-rapport 2023/34
Dit rapport is samengesteld
in opdracht van de NAM



Colofon

© Sovon Vogelonderzoek Nederland 2024

Dit rapport is samengesteld in opdracht van de NAM.

Wijze van citeren: Duijns, S., Oosterbeek, K., Krol, J., van Duin, W., Deuzeman, S., Postma, J. & Kampichler, C. 2024. Onderzoek naar de relatie tussen bodemdaling en kans op overstroming van kwelderbroedvogels op Ameland. Sovon-rapport 2023/34. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

Foto's omslag: Harvey van Diek & Symen Deuzeman

ISSN-nummer: 2212 5027

Sovon Vogelonderzoek Nederland

Toernooiveld 1

6525 ED Nijmegen

e-mail: info@sovon.nl

website: www.sovon.nl

Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar worden gemaakt d.m.v. druk, fotokopie, microfilm, of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Sovon en/of opdrachtgever.

Inhoud

Samenvatting	6
1. Inleiding	8
2. Materiaal en methoden	9
2.1. Bepaling nesthoogte	9
2.2. Diepteloggers	9
2.3. Overstromingskans	11
2.3.1. Berekening overstromingskans	11
2.4. Beschikbare Opslibbingsmodellen	12
2.5. Keuze opslibbingmodel	12
2.6. Broedvogels Ameland	13
2.6.1. Algemeen	13
2.6.2. Kluut	14
2.6.3. Lepelaar	15
2.6.4. Kleine Mantelmeeuw	15
2.6.5. Noordse Stern	16
2.6.6. Visdief	17
2.6.7. Scholekster	18
2.6.8. Kokmeeuw	19
2.6.9. Stormmeeuw	20
2.6.10. Eider	20
3. Resultaten	21
3.1. Diepteloggers	21
3.2. Overzicht overstromingskans Scholekster	22
3.3. Overzicht overstromingskans voor alle soorten	24
4. Discussie	26
5. Dankwoord	28
6. Literatuur	29
Bijlage I Validatie van Dobben model	31
Bijlage II Overstromingskans berekend met van Dobben model voor alle kolonies	32
Bijlage III Overstromingskans berekend met van Dobben model voor alle kolonies	40
Bijlage IV Overzicht van nestlocaties	49

Samenvatting

In 1986 is de gaswinning op Ameland-Oost gestart, waarna ook gestart is met de 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. In deze rapportage gaan we in op de kans van overstroming van de nesten van kwelderbroedvogels door de effecten (bodemdaling) van de gaswinning. Er is grotendeels dezelfde aanpak gekozen als tijdens de integrale rapportage in 2014, met een aantal verbeteringen en verfijningen in de methodiek en berekeningen. De daling op Ameland heeft de vorm van een ondiepe schotel, en de effecten aan het maaiveld zijn o.a. afhankelijk van de mate van opslibbing en het voorkomen van oneffenheden in het terrein. Het algemene patroon is dat bodemdaling aan de rand van het wad en langs de slenken behoorlijk goed gecompenseerd wordt door opslibbing, maar verder van de rand bevat het water minder slib waardoor daar minder klei wordt gedeponneerd. De tot op heden gebruikte opslibbingmodellen zijn niet goed beschreven en geparametriseerd, waardoor het niet duidelijk was of deze modellen wel juiste voorspellingen maakten. In overleg met de Begeleidingscommissie is besloten de beschikbare opslibbingsmodellen tegen het licht te houden en een keuze te maken in het gebruik van een geparametriseerd en gedocumenteerd model. In

deze rapportage is gekozen voor het model ontwikkeld door Han van Dobben, het zogenaamde van Dobben opslibbingsmodel.

De bodemdaling bij Neerlands Reid (NLR) en De Hon kan de overstromingskansen van nesten van vogels die op de kwelder broeden vergroten. Door het geulenpatroon en vegetatie treedt er vertraging in het onderstromen op en daardoor zullen maximale waterhoogtes later optreden en waarschijnlijk ook lager zijn dan de Waddenzee, naarmate locaties verder van de rand van de kwelder liggen. Anderzijds zal er ook vertraging zijn bij het afstromen. Bodemhoogte kan dus niet één op één vertaald worden in de kans op overstromen, en daarmee kunnen metingen aan veranderingen in bodemhoogte ook niet rechtstreeks worden gebruikt om veranderingen in overstromingskansen te voorspellen. In de winter van 2019/2020 is daarom een meetnetwerk van diepteloggers ontworpen en geïmplementeerd om zo een goed beeld te krijgen van de ruimtelijke patronen in overstromingskansen en de veranderingen in de tijd, en in deze rapportage is deze informatie verwerkt.

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag; wat is de overstromingskans van de nesten van kwelderbroedvogels op de kwelders op Ameland (Neerlands Reid en



Wad bij laag water ten zuiden van Ameland. Foto: Symen Deuzeman

De Hon), wordt er gefocust op de Natura 2000-broedvogels die lokaal voorkomen, namelijk Kluut, Lepelaar, Kleine Mantelmeeuw, Noordse Stern en Visdief. De Bontbekplevier is ook een Natura 2000 broedvogel voor de Waddenzee, maar door de lage aantallen op Ameland, is deze soort buiten beschouwing gelaten. Voor overige niet Natura 2000 soorten als Scholekster, Stormmeeuw en Kokmeeuw zijn ook in sommige jaren nesthoogtes bepaald en daarom meegenomen in de analyse. Belangrijk hierbij is om te realiseren is dat dit onderzoek is toegespitst op metingen van maai-veldhoogte. Eventuele effecten op broedlocatiekeuze of aantalsontwikkeling veroorzaakt door verandering in vegetatie niet zijn meegenomen.

Op basis van (i) verzamelde gegevens over de nestlocatie, nesthoogte en bodemhoogte, (ii) ecologische gegevens over de eileg datum en broedduur en (iii) door een opslibbingsmodel berekende nesthoogte in drie scenario's wordt de kans op overstroming per soort berekend. Deze 3 scenario's zijn:

1. de overstromingskans in de periode 1981-1990, voordat met de gaswinning werd begonnen
2. de huidige overstromingskans (periode 2013-2022), waarbij dus bodemdaling heeft plaatsgevonden
3. de overstromingskans (periode 2013-2022), wanneer er geen bodemdaling zou hebben plaatsgevonden

De belangrijkste conclusies uit deze analyses zijn:

- Voor alle onderzochte soorten geldt dat het huidige overstromingskans groter is geworden of gelijk is gebleven, dan wanneer er geen gaswinning had plaatsgevonden.
- Voor drie Natura 2000 soorten (Eider, Kleine Mantelmeeuw en Kluut), is de huidige overstromingskans hoger of gelijk gebleven voordat de gaswinning begon. Dit geldt ook voor de Kokmeeuw, maar dan alleen op De Hon, niet op Neerlands Reid.
- De Lepelaar laat geen verandering zien in de kans op overstroming. Deze nesten liggen de laatste jaren dermate hoog, dat de kans op overstroming erg laag is. Voor de Kluut geldt datzelfde voor de mediane broeders; de vroege of late broeders hebben echter wel een toegenomen kans in overstroming.
- Voor 3 soorten (Visdief, Noordse Stern, Scholekster) is de huidige kans op overstroming lager dan in vergelijking met voordat de gaswinning begon, en voor de Kokmeeuw geldt hetzelfde op Neerlands Reid, maar niet op De Hon. Voor de Stormmeeuw geldt ook voor de mediane broeders dat er een lagere kans op overstroming is, maar niet voor de vroege of late broeders.
- De aantalsontwikkeling van broedparen van de verschillende soorten op De Hon gaat bij de meeste soorten achteruit (Lepelaar uitgezonderd), terwijl op het NLR een toename te zien is bij de meeste soorten.

1. Inleiding

Sinds 1986 wordt door de NAM gas gewonnen uit het gasveld onder de oostpunt van Ameland. Door gaswinning (en door inklinking) daalt de bodem van de kwelder van Ameland. Als deze daling niet door opslibbing wordt gecompenseerd neemt de overstromingskans van nesten van vogels die op de kwelder broeden toe. Vanaf het begin van de winning worden de mogelijke effecten gemonitord door verschillende onderzoeksinstellingen in opdracht van de NAM onder begeleiding van de bodemdalingcommissie Ameland.

Lokaal is er sprake van een verlaging van het maaiveld (de Groot *et al.* 2016, Ens *et al.* 2014), en voor vogels die op de kwelder broeden, kan dit leiden tot een verhoogde kans op overstroming van de nesten tijdens het broedseizoen, of een afname in de oppervlakte geschikt broedhabitat (Ens *et al.* 2014).

Dit onderzoek dient ertoe om deze mogelijk verhoogde kans op overstroming voor kwelderbroedende vogels te kwantificeren. De kwelder op Ameland-Oost bestaat uit twee verschillende delen: de oudere, beweidde kwelder Neerlands Reid ten westen van het duincomplex Oerd, en de jongere, onbeweidde De Hon ten oosten daarvan (Elschot *et al.* 2017). Neerlands Reid is gevormd na de aanleg van een stuifdijk tussen de Kooiduinen en de Oerderduinen in de periode 1882-1893. Tot 1960 was De Hon een kale zandplaat en in 1960 werd begonnen om oostelijk van de Oerderduinen een stuifdijk aan te leggen op de zandplaat waarbij reeds gevormde duincomplexen met elkaar verbonden werden. Langs de noordzijde vormden zich duintjes waarachter de kwelder is ontwikkeld. De kwelder Neerlands Reid en een deel van de aangrenzende duinen is eigendom van de 'Maatschappij tot Exploitatie van Onroerende Goederen op het Oostende, Oerd en Neerlands Reid B.V.', in de volksmond kortweg de 'Vennoot' genoemd. De Hon en een deel van het Oerd wordt sinds 1938 door It Fryske Gea beheerd.

Algemeen geldt dat de overstromingskans groter is geworden door een toename in de kans op hoge vloed tijdens het broedseizoen, en dat dit nog verder zou kunnen toenemen (van de Pol *et al.* 2010). Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag, wordt er gefocust op de N2000-broedvogels die voorkomen op Neerlands Reid en/of De Hon, namelijk Kluut, Lepelaar, Kleine Mantelmeeuw, Noordse Stern, Visdief en Eider. Voor Scholekster, Stormmeeuw en kokmeeuw zijn ook in sommige jaren nesthoogtes bepaald, en zijn er ook overstromingskansen berekend.

Op basis van (i) verzamelde gegevens over de nestlocatie, nesthoogte en bodemhoogte, (ii) ecologische gegevens over de eilegdatum en broedduur en (iii) door een opslibbingsmodel berekende bodemhoogtes bij afwezigheid van bodemdaling zullen voor eerder genoemde beschermde broedvogels de volgende overstromingskansen berekend worden. Dit zal gedaan worden voor de volgende drie scenario's:

1. de overstromingskans in de periode 1981-1990; voordat met de gaswinning werd begonnen
2. de huidige overstromingskans (periode 2013-2022); waarbij bodemdaling heeft plaatsgevonden
3. de huidige overstromingskans (periode 2013-2022) wanneer er geen bodemdaling zou hebben plaatsgevonden

Door de berekenende overstromingskans per vogelsoort per locatie (NLR of Hon), en voor deze drie periodes met elkaar te vergelijken, kan een inschatting gemaakt worden van het effect dat de bodemdaling door gaswinning heeft op het overstromingskans van nesten op de kwelders van Ameland-Oost.

2. Materiaal en methoden

2.1. Bepaling nesthoogte

Om de overstromingskans te berekenen, is het nodig de exacte nesthoogte te weten. In eerdere rapportages is nog gebruik gemaakt verschillende databronnen. Zo werd er gebruik gemaakt van territoriumkaarten, waarbij de geografische locatie gekoppeld werd aan een hoogtekaart (AHN; het Actuele Hoogtebestand Nederland) die vrij beschikbaar is. Echter, doordat de nesten in een 10 jarige periode worden samengevoegd vanwege de spreiding in hoogtes en soorten, is in de huidige rapportage enkel gebruik gemaakt van nesten die zijn gevonden tussen 2013 en 2023. Al deze hoogtes zijn bepaald met een DGPS. Vanaf 2019 zijn de nesten gelokaliseerd door middel van een drone met warmtebeeld camera. Deze methode resulteert in een nauwkeurigere positiebepaling van de individuele nesten van verschillende vogelsoorten (e.g., Hodgson *et al.* 2018, Scarton & Valle 2022, Wilson *et al.* 2022), dan wanneer gewerkt wordt met een territoriumstip of inventarisaties. Met name voor cryptische soorten als Eider, lijken de nesten hierdoor veel beter gevonden. De hoogte van deze nauwkeurige positie kan vervolgens na het broedseizoen ingemeten worden met een DGPS. Zie Tabel 1 voor een overzicht van alle ingemeten nesten en soorten.

2.2. Diepteloggers

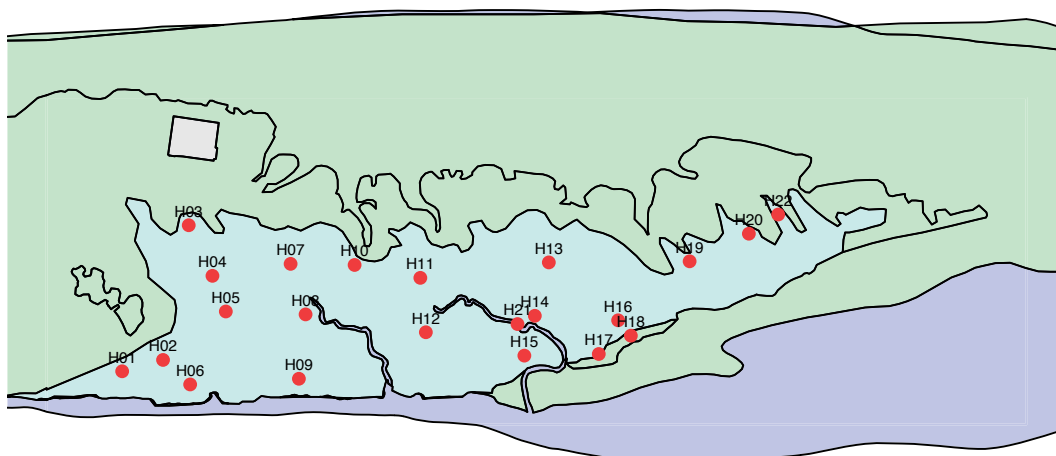
De regelmatige overstroming zal een effect hebben op de vegetatie-ontwikkeling in de kwelder (Elschot *et al.* 2017). Door het geulenpatroon vertraagt het onderstromen van de kwelder, waardoor maximale waterhoogtes later optreden en waarschijnlijk ook lager zijn, naarmate locaties verder van de rand van de kwelder liggen. Anderzijds zal er ook vertraging zijn bij het afstromen van deze hoge getijden. Door deze vertraging kan bodemhoogte niet één op één vertaald worden in de kans op overstroming, en daarmee kunnen metingen aan veranderingen in bodemhoogte ook niet rechtstreeks worden gebruikt om veranderingen in de overstromingskans te voorspellen.

In de winter van 2019/2020 is daarom een meetnetwerk van diepteloggers ontworpen en geïmplementeerd om zo een goed beeld te krijgen van de ruimtelijke patronen in overstromingskans en de veranderingen in de tijd (Figuur 1 & Figuur 2 van De Hon en Neerlands Reid respectievelijk).

Tabel 1. Het aantal nesten van verschillende soorten waarvan de nesthoogte is ingemeten vanaf 2013. De sterke intensivering vanaf 2019 is duidelijk zichtbaar. (lege cellen: geen nesten ingemeten of niet gebroed).

Soort	Gebied	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Totaal
Lepelaar	Hon	147	124	122	145	166	175	202	198	272	273	1.824
Eider	Hon	-	-	-	-	-	-	34	76	20	86	216
Kleine Mantelmeeuw	Hon	-	-	-	-	-	-	420	579	530	636	2.165
Visdief	Hon	-	-	-	-	-	-	-	-	72	51	123
Kokmeeuw*	Hon	-	-	-	-	156	-	-	-	-	-	156
Eider	Neerlands Reid	-	-	-	-	-	-	3	18	3	11	35
Kluut	Neerlands Reid	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	7
Kleine Mantelmeeuw	Neerlands Reid	-	-	-	-	-	-	47	72	60	70	249
Visdief	Neerlands Reid	-	-	-	25	-	34	-	12	20	-	91
Noordse Stern	Neerlands Reid	-	-	-	-	-	-	9	22	7	-	38
Kokmeeuw*	Neerlands Reid	32	122	106	21	301	-	171	6	-	-	759
Scholekster*	Neerlands Reid	-	-	-	-	-	-	-	32	-	-	32
Stormmeeuw*	Neerlands Reid	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	13

* Geen N2000 soort



Figuur 1. Overzicht van de locaties van het loggers op De Hon op Ameland



Figuur 2. Overzicht van de locaties van het loggers op Neerlands Reid op Ameland

De loggers waren zo ingesteld dat ze elke 5 minuten een meting registreerden. Om het risico van *missing* data te beperken, zijn ze iedere 6 maanden uitgelezen tot en met het najaar van 2022 en bestrijken ze in totaal dus 3 jaar aan data. De data uit de diepteloggers worden omgezet in 'effectieve nesthoogtes', door ieder nest te koppelen aan zowel de gegevens van nest- en maai-veldhoogte als die van de dichtstbijzijnde dieptelogger. Deze aanpak zorgt voor 2 hoogtes; de hoogte van het nest op NAP en de 'effectieve hoogte'. De effectieve hoogte is de hoogte waarop het nest overstroomt bij een bepaalde waterstand. Ter illustratie; stel dat 2 nesten

zich op een hoogte van 1,00 m NAP bevinden, waarbij het ene nest wordt bereikt bij een hoogwaterstand met 1,00 m en heeft dus ook de effectieve hoogte van 1,00 m. Het andere nest ligt verder weg van de wadrand en wordt pas bereikt door het water met een hoogwater met 1,10 m, de effectieve nesthoogte van dit nest is dus 1,10 m. In deze rapportage wordt enkel gebruik gemaakt van de effectieve nesthoogtes, zowel in de berekeningen, als in de figuren. De diepteloggers zijn in het najaar van 2022 verwijderd op verzoek van de NAM, en de uitgelezen gegevens zijn vervolgens gebruikt in de berekeningen van de overstromingskansen (zie 2.3.1).

2.3. Overstromingskans

Voor de schatting van de overstromingskans is gebruik gemaakt van een eerder ontwikkeld model (van de Pol *et al.* 2010). De kans op overstroming van een nest wordt in dit model berekend aan de hand van getijgegevens, nesthoogte en datum van de eileg. Bij het bepalen van de overstromingskans op de kwelders in het verleden en in de toekomst, is rekening gehouden met historisch gemeten getij-gegevens, opslibbing en inklinking van de kleilaag door middel van een opslibbingsmodel, en daadwerkelijke overstromingen gemeten aan de hand van de diepteloggers.

Het is van belang de resultaten goed te interpreteren wanneer er gesproken wordt over overstromingskans. Zo wordt de kans dat een nest tijdens de broedtijd en de kritieke kuikenperiode ten minste één keer in een gegeven jaar zal worden overstroomd weergegeven in een getal tussen de 0 en de 1. Wanneer de kans berekend is op bijvoorbeeld 0.8, dan betekent dit dat de overstromingskans 80% is. Dit betekent dan dat de kans op overstroming van een nest bij een bepaalde hoogte en de legdatum 80% is, en de kans dus vrij groot is dat zo'n nest in het seizoen overstroomt. Dit betekent uiteraard niet dat 80% van de nesten ook daadwerkelijk overstroomt en de nadruk ligt in deze rapportage dan ook voornamelijk in de verschillen in overstromingskans tussen de verschillende scenario's.

2.3.1. Berekening overstromingskans

Een overstroomd nest is een nest dat gedurende de eifase (bepaald aan de hand van eilegdatum en broedduur), en de kwetsbare fase van de kuikens minstens één keer overspoeld geraakt is. Hierbij is de aanname dat een nest is mislukt als het zeewater gedurende korte of langere tijd meer dan 15 cm boven een actief nest staat (van de Pol *et al.* 2010). De kans op overstroming q wordt berekend met vergelijking (1):

$$q = 1 - \prod_{j=s}^{s+d} (1 - p_{ej}) \quad (1)$$

hierbij is s de eilegdatum, d de kritieke fase (broedduur + kwetsbare fase van de kuikens), en p_{ej} de kans dat een actief nest met gegeven nesthoogte e op dag j van de broedseizoen overspoeld raakt, P_{ej} wordt berekend volgens vergelijking (2):

$$p_{ej} = \begin{cases} 1 & \text{als } HW_j > e + 15\text{cm} \\ 0 & \text{anders} \end{cases} \quad (2)$$

hierbij is HW_j de hoogwaterstand op dag j voor $j \in (s, s+1, \dots, s+d-1, s+d)$. Als bijvoorbeeld een nest wordt begonnen op 25 april (= dagnummer 115 waarbij dagnummer 1 overeenkomt met 1 januari)

en de kritieke fase 45 dagen duurt (= dagnummer $115 + 45 = 160 = 9$ juni), wordt voor elke dag tussen dag 115 en 160 bepaald of de hoogwaterstand hoger was dan nesthoogte $e + 15$ cm. Als dit ten minste een keer gebeurt, neemt een p_{ej} de waarde 1 aan, en de term $1 - p_{ej}$ in vergelijking (1) wordt daarom 0. Vervolgens wordt het product van alle $1 - p_{ej} = 0$ en hieruit volgt dat $q = 1$ ("nest mislukt"). Alleen als in dit voorbeeld tussen de dagen 115 en 160 het nest geen enkele dag wordt overstroomd, heeft de $1 - p_{ej}$ de waarde 1 en hun product is 1 en $q = 0$ ("nest gelukt").

Voor de kritieke fase d zijn soort-specifieke perioden aangenomen, waarbij de kwetsbare fase van de kuikens bij elkaar zijn opgeteld. Sommige soorten hebben echter enkele dagen nodig voor het leggen van een volledig legsel; de eerste eieren in een legsel hebben dus een langere kritieke fase dan de laatste, omdat met broeden pas wordt begonnen wanneer het legsel volledig is. Deze periode tussen eerste en laatste ei in een legsel wordt aan de kritieke fase van deze soorten toegevoegd. Voor een redelijk deel van de Scholeksters op Neerlands Reid zijn eilegdatums beschikbaar. Deze zijn gebaseerd op metingen aan eieren (gewicht, lengte en breedte), die op meerdere dagen zijn uitgevoerd en naast een ijkcurve tussen gewicht en legdatum worden gelegd. De legdatum van elk Scholekster nest kon met deze methode met een nauwkeurigheid van enkele dagen worden bepaald. Voor de andere soorten is de periode van eileg en broeden uit de literatuur genomen (e.g., Cramp & Simmons 1977, 1983, Lok 2013, van de Pol *et al.* 2010). Voor details per soort, zie tabel 1 in Ens *et al.* (2014). Veel soorten reageren echter op klimaatsverandering door de timing aan te passen en komen daardoor eerder in hun *stopover*-gebieden en hun broedgebieden (e.g., Jenni & Kery 2003, Rakhimberdiev *et al.* 2018). De Scholekster bijvoorbeeld, lijkt in een periode van 25 jaar een vervroeging van ongeveer één week te laten zien, blijkt op basis van het Meetnet Nestkaarten. Daarin wordt bijgehouden wat de gemiddelde jaarlijkse datum is waarop het eerste ei is gelegd (Sovon.nl). Dit verschil in timing tussen vroeger en nu is niet meegenomen in de berekeningen, omdat dit niet is bijgehouden voor de soorten in het studiegebied. In het algemeen geldt dat de kans op overstromingen groter wordt naarmate er eerder of veel later in het seizoen begonnen wordt met de eileg

Voor elke combinatie van nesthoogte, legdatum en broedduur kan de kans op overstroming tijdens het broeden berekend worden voor elk van de volgende drie periodes:

1. 1981 t/m 1990 voor de situatie in 1985 (voor begin van de gaswinning)

2. 2013 t/m 2022 voor de huidige situatie
3. 2013 t/m 2022 voor de huidige situatie als er geen gaswinning en daarom geen diepe bodemdaling had plaats gevonden

Net als in voorgaande rapportages wordt voor elke combinatie van nesthoogte, legdatum en broedduur voor alle drie de gegeven periodes de kans op overstroming tijdens het broeden berekend. De waterstanden in de Waddenzee zijn beschikbaar van vaste meetstations via de website van Rijkswaterstaat (www.getij.nl). Echter, het getij in de Waddenzee loopt niet synchroon. Door de getijvertraging van West naar Oost zijn de gegevens van de meetstations die het dichtst bij De Hon en Neerlands Reid liggen, namelijk de stations van Ameland haven of Holwerd, niet representatief voor de situatie op deze kwelders. Daarom zijn de historische metingen van RWS op het meetstation Nes (vanaf 1980 - heden), geïnterpoleerd door gebruik te maken van het programma Intertides (Rappoldt *et al.* 2014). De data van de diepteloggers lieten zien dat de momenten van de hoogwaterperiodes beter overeenkwam dan wanneer gebruik werd gemaakt van alleen het meetstation op Nes.

Het proces van de diepe bodemdaling is al vanaf de start van de winning bekend, zowel de omvang van de schotel als de snelheid van dalen binnen de schotel. Van iedere locatie binnen de schotel is per jaar de mate van daling bekend. De mate van opslibbing is berekend vanwege de jaarlijkse afzetting van kleilaagjes op de kwelder (Elschot *et al.* 2017, van Dobben *et al.* 2022). De opslibbing wordt berekend door middel van een model (zie 2.4 en 2.5). Op deze manier kan berekend worden hoe hoog de bodem zou zijn geweest wanneer er geen bodemdaling zou hebben plaatsgevonden. Na verwerking van al deze gegevens zijn de berekende overstromingskansen binnen elke periode nog slechts afhankelijk van nesthoogte en legdatum. Daarmee kunnen de drie perioden worden vergeleken.

2.4. Beschikbare Opslibbingsmodellen

De opslibbingssnelheid en samenstelling van de kweldervegetatie zijn onder andere afhankelijk van de overvloedings-frequentie (de regelmaat waarin het gebied onder water staat), die op haar beurt in belangrijke mate wordt bepaald door de hoogte van het maaiveld. Aangezien de bodemdaling direct de hoogte van het maaiveld beïnvloedt, kan bodemdaling consequenties hebben voor zowel de vegetatiesamenstelling als de opslibbingssnelheid. De terugkoppeling tussen hoogteligging en opslibbingssnelheid kan er echter voor zorgen dat de opslibbing de bodemdaling compenseert, wanneer sedimentbeschikbaarheid en transportcapaciteit

voldoende zijn. Om de effecten van bodemdaling te kwantificeren, is er naast de biologische parameters zoals nesthoogte, broeddatum en getij ook informatie nodig over opslibbing en inklinking.

Er bestaan drie opslibbingsmodellen van de kwelder en deze drie modellen zijn ingezet om de opslibbing te schatten, zodat de nesthoogte berekend kan worden voor de hoogteverdeling van de kwelder in 1980-1990 en voor de huidige situatie wanneer er geen bodemdaling had plaatsgevonden. Deze resultaten van deze drie verschillende modellen zijn vervolgens geëvalueerd, om uiteindelijk met een onderbouwde keuze, met één model de berekeningen van deze rapportage uit te voeren. De verschillende opslibbingsmodellen zijn:

- (i) van Wijnen & Bakker (2001)
- (ii) Jaap de Vlas model (2017)
- (iii) van Dobben model (2022)

Voor deze rapportage is gekozen om de opslibbingmodellen niet opnieuw in detail te bespreken. Daarvoor verwijzen we naar de eerdere rapportages en specifieke publicaties daarover (Ens *et al.* 2014, Hallmann & Ens 2011, van Dobben *et al.* 2022).

2.5. Keuze opslibbingmodel

Zoals vermeld in paragraaf 2.4 bestaan er drie modellen over opslibbing van de kwelder, waarbij rekening wordt gehouden met opslibbing en inklinking van de kleilaag. De modellen die in eerdere rapportages zijn toegepast (de Vlas 2017 en van Wijnen & Bakker 2001), missen een ruimtelijke component en bevatten vrij grote onzekerheden in de parameterisatie. Daarnaast is de documentatie rondom de werking en implementatie beperkt. De wens van de Begeleidingscommissie en van de onderzoekers was dat er gezocht zou worden naar een betrouwbaar sedimentatiemodel waarmee de voorspelling van de ruimtelijke patronen in opslibbing en hoogteligging en de productie van vlakdekkende kaarten van maaiveldhoogte mogelijk is. Daarnaast waren er nog een aantal specifieke voorwaarden waaraan dit model moet voldoen:

- Voorspelt de lange termijn opslibbing met een tijdschaal van 10 – 100 jaar;
- Ruimtelijk aspect; hogere opslibbing nabij de wadrand en kreken, waar vooral de wadrand belangrijk is omdat daar veel vogels broeden;
- Mogelijkheid om effect van begrazing op compactie mee te nemen, aangezien er een duidelijk verschil tussen Neerlands Reid en De Hon bestaat.

Het opslibbingsmodel van Wijnen en Bakker is een statistisch model dat met data van verschillende Waddeneilanden geparametriseerd is. Het is geen ruimtelijk model en niet goed gedocumenteerd. Het opslibbingsmodel de Vlas is een relatief eenvoudig mechanistisch model dat de opslibbing berekent op basis van de klei-diktemeting van het NLR. Hiermee wordt de jaarlijkse opslibbing gerelateerd aan de maaiveldhoogte en afstand tot het wad. Wanneer de kwelder wordt opgedeeld in deelgebieden kan het model een goede gemiddelde maaiveldhoogte berekenen. Het berekent echter wel oneindige opslibbing aan de wadrand. Daarnaast is het model niet gevalideerd voor De Hon en is het niet gedocumenteerd. Recent is er een gepubliceerd en statistisch model met opslibbingsdata van Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog beschikbaar gekomen. De opslibbingsdata worden voorspeld door middel van overstromingskansen afstand tot kreek en wad en is goed gedocumenteerd (van Dobben *et al.* 2022).

Om een keuze te maken over welk model het meest geschikt is voor deze studie zijn de drie modellen in R geïmplementeerd en zijn de resultaten met elkaar vergeleken. In deze rapportage gaan we hier niet heel diep op in, maar geven we de belangrijkste conclusies:

- De drie modellen vertonen redelijke overeenkomsten in uitkomsten
- Het van Wijnen & Bakker-model lijkt een structurele onderschatting van de opslibbing te geven in vergelijking met de gemeten hoogtes in de andere modellen
- Het de Vlas-model werkt niet optimaal met korte afstanden tot de kreek
- Het van Dobben-model kan nog uitgebreid worden met compactie en door opdroging ontstane fluctuaties tussen jaren
- De validatie van het Van Dobben-model, op basis van historische klei diktemetingen van WMR laat zien, dat het model goed voorspelt (zie ook Bijlage I).

Op basis van bovenstaande conclusies, en het feit dat het een wetenschappelijk geborgde documentatie heeft, en is geparametriseerd met data uit het studiegebied en omliggende eilanden, is voor deze rapportage gekozen voor het van Dobben opslibbingsmodel. Dit betekent dat voor alle berekeningen ten aanzien van nesthoogtes in de drie verschillende periodes gebruik is gemaakt van het van Dobben-model.

2.6. Broedvogels Ameland

2.6.1. Algemeen

Voor berekeningen naar de overstromingskansen van nesten van kwelderbroedvogels, zijn op basis van de broedvogelaantallen op Neerlands Reid en De Hon vier N2000-soorten van belang (tabel 2): Lepelaar, Eider, Kleine Mantelmeeuw en Visdief. Deze soorten broedden de afgelopen jaren regelmatig in het bodemdalingsgebied. Hiernaast konden enkele nesthoogtes van N2000-soorten zoals Kluut en Noordse Stern worden vastgesteld, ook al komen ze relatief weinig in het gebied voor. Er zijn geen nesthoogtes bepaald van Bontbekplevieren, aangezien deze in lage dichtheden broeden. Sinds begin jaren 90 worden van de deze soorten (behalve de Eider), de jaarlijkse aantallen broedparen geïnventariseerd, die gebruikt worden voor de aantalsontwikkeling.

Het is belangrijk te realiseren dat de keuze van een nestlocatie is gebaseerd op meerdere factoren zoals hoogte, uitzicht, het reduceren van de kans op vertrapping of predatie (Smith 2003). Ook de aanwezigheid van soortgenoten of juist andere soorten (die predatoren op afstand kunnen houden) is belangrijk (Bêty *et al.* 2001). Daarnaast is natuurlijk de afstand tot het voedselgebied belangrijk. Voor dit onderzoek is uitsluitend gekeken naar de nestlocatie en de berekening van de overstromingskansen van legsels en soms kleine nestjongen om verstoring in het broedseizoen

Tabel 2. Voor Natura 2000 gebied 'Waddenzee' belangrijkste broedvogelsoorten, die op Neerlands Reid en De Hon broeden.

Broedvogelsoort ¹	Doelstelling Waddenzee ¹	Broedparen Neerlands Reid (gem.) ²	Broedparen Hon (gem.) ²
Lepelaar (A034)	430	0	238
Eider (A063)	5.000	8	45
Kluut (A132)	3.800	10	0
Kleine mantelmeeuw (A183)	19.000	66	2406
Visdief (A193)	5.300	18	17
Noordse stern (A194)	1.500	15	0
Bontbekplevier (A137) ³	60	3	0

¹ De instandhoudingsdoelen van Natura 2000 gebied Waddenzee zijn niet per Waddeneiland gespecificeerd.

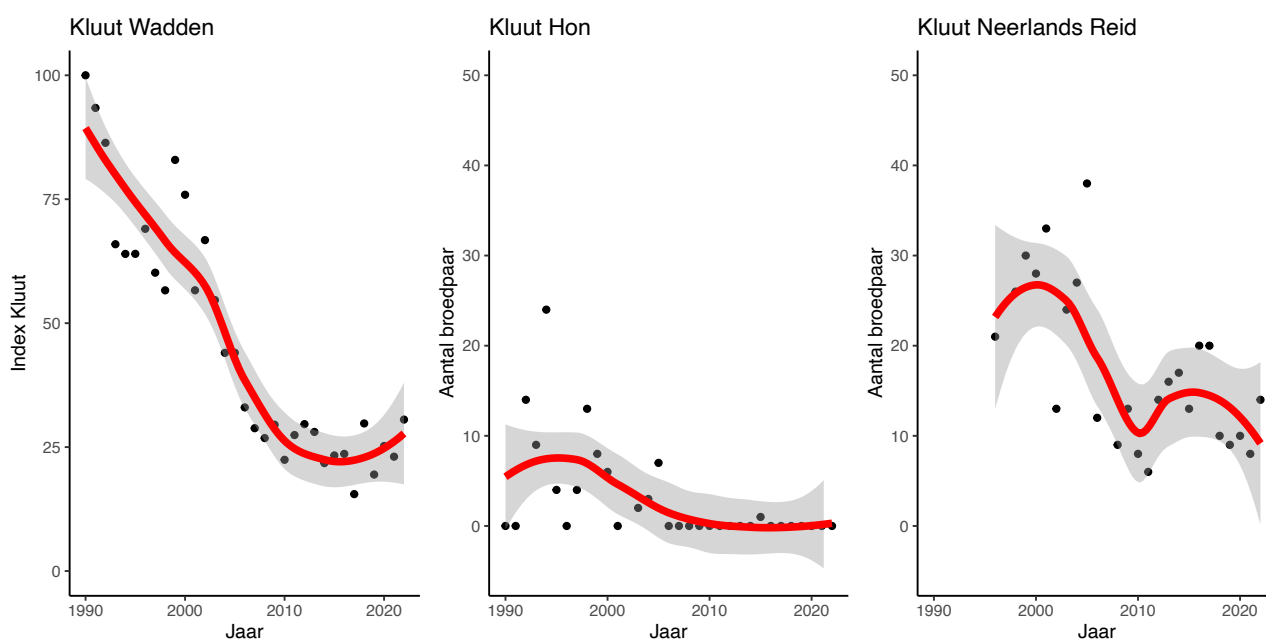
² Bron Sovon Vogelonderzoek Nederland; betreft gemiddelde van de jaren 2019, 2020, 2021 en 2022.

³ Vanwege de lage aantallen broedparen in het studiegebied zijn er geen nesthoogtes bekend van deze soort en dus geen overstromingskansen berekeningen uitgevoerd.

te minimaliseren. Bovendien vestigen veel vogels niet jaarlijks op dezelfde locatie. Daarom is het niet mogelijk om individuele nesten te volgen over meerdere jaren. De hoogtegegevens bestaan daarom per definitie uit een willekeurig aantal nesten van een soort, verspreid over het gebied. Deze hoogtes zijn omgezet in effectieve nesthoogtes (zie 2.2), en zijn over de periode 2013 – 2022 samengevoegd als input voor de berekeningen van de overstromingskans.

2.6.2. Kluut

De Kluut broedt in lage aantallen op Ameland en laat een afnemende trend zien, terwijl de Wadden trend zich lijkt te stabiliseren en zelfs de laatste jaren iets toeneemt. Het merendeel van de Kluten broedt in het Wadden- en Deltagebied, en in lagere aantallen in het IJsselmeergebied of West-Nederland. Kluten nestelen veelal in pionier situaties en reageren snel op het verschijnen of verdwijnen van geschikte plekken. In de twee belangrijkste gebieden voor de Kluut, het Waddengebied en de Zuidwestelijke Delta, is de reproductie te laag om de populatie in stand te houden (Koffijberg *et al.* 2021). Vanaf het jaar 2000 dalen de aantallen in het Waddengebied harder dan in het Deltagebied. Deze afname hangt samen met nestpredatie, het door vegetatiesuccessie ongeschikt worden van broedplaatsen, voedselproblemen en het verdwijnen van tijdelijk geschikte broedlocaties (Sovon.nl). Hieronder wordt een overzicht gegeven van de broedpaarontwikkeling op de Wadden, De Hon en Neerlands Reid.

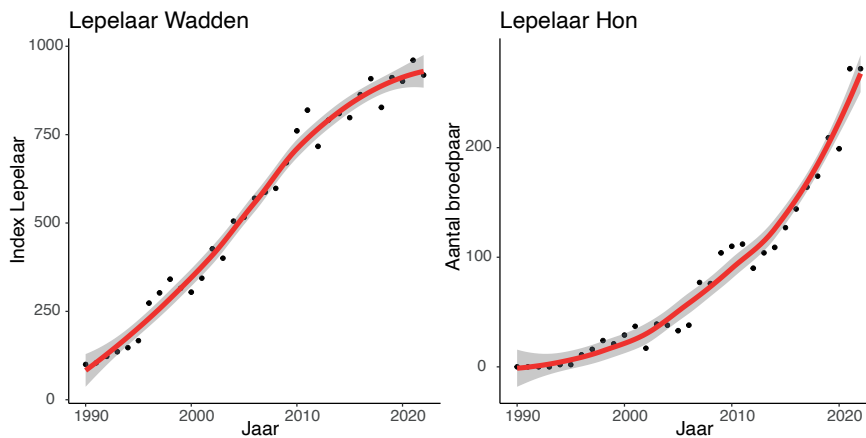


Figuur 3. Overzicht van de aantalsontwikkeling van de broedparen Kluut vanaf 1990 - heden op de Wadden, De Hon en Neerlands Reid op Ameland.

2.6.3. Lepelaar

De Lepelaar laat op De Hon een spectaculaire toename zien, die ook op de Wadden te zien is. Van de ongeveer 50 kolonies in Nederland ligt twee derde in het Wadden- en Deltagebied. Vanaf 1990 herstelden de aantallen en de landelijke trend passeerde de grens van

1000 paren in 1997 en die van 2000 paren in 2009. De verdere uitbreiding over de Waddeneilanden wordt deels verklaard door de afwezigheid van vossenpredatie (Koffijberg *et al.* 2017).

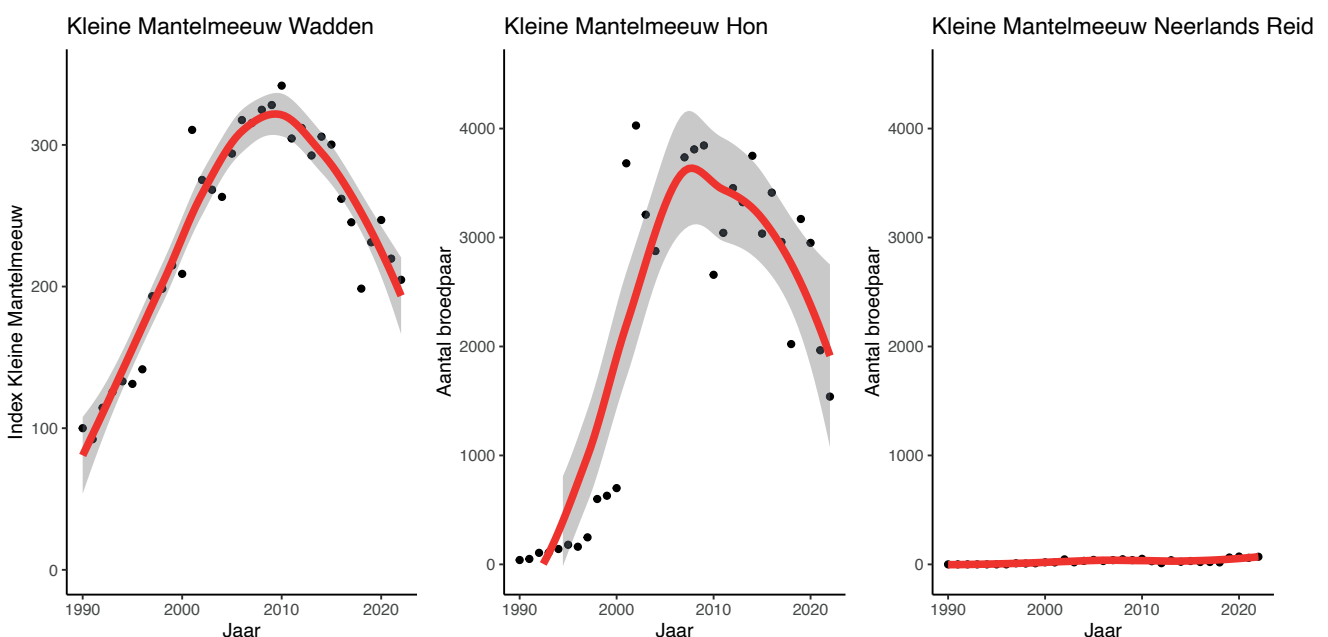


Figuur 4. Overzicht van de ontwikkeling van aantallen broedpaar Lepelaar op de Wadden (links) en de lokale trend op De Hon.

2.6.4. Kleine Mantelmeeuw

De Kleine Mantelmeeuw is naast broedvogel ook doortrekker en wintervogel in Nederland. Het broedbiotoop van de Kleine Mantelmeeuw beperkt zich vrijwel geheel tot kustlocaties, al kunnen broedgevallen tot diep in het binnenland plaatsvinden. De nestplaats is gelegen in het open duin en op schorren/kwelders, industriegebieden, opspuiterreinen en eilandjes in afgesloten zeearmen, tegenwoordig ook op daken van gebouwen en sluizencomplexen (Sovon.nl). De soort broedt vaak

samen met Zilvermeeuwen. De Kleine Mantelmeeuw heeft in zowel De Hon als Neerlands Reid rond de jaren 2000 een behoorlijke toename laten zien, maar vanaf 2010 zien we de aantallen broedparen op De Hon weer afnemen. Op de Wadden is dezelfde trend waarneembaar. Voor de aantallen op Neerlands Reid zien we na de initiële daling rond 2010, vanaf 2019 weer een toename, maar de aantallen zijn wel laag in vergelijking met De Hon die vanaf 2007 een afname laat zien.

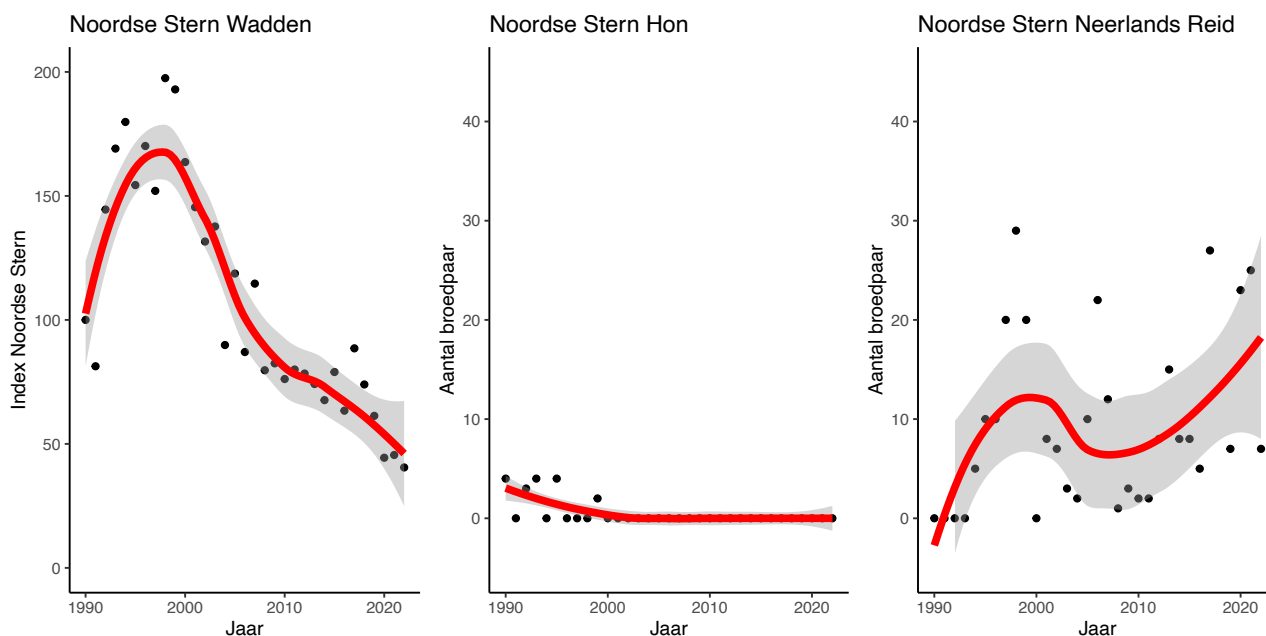


Figuur 5. Overzicht van de aantalsontwikkeling van het aantal broedpaar Kleine Mantelmeeuw op de Wadden, De Hon en Neerlands Reid op Ameland.

2.6.5. Noordse Stern

Noordse Sterns komen in april naar Nederland om te broeden en vertrekken in september weer naar hun overwinteringsgebied rondom Antarctica. Het merendeel van de Nederlandse Noordse Sterns broedt in het Waddenzeegebied; een klein deel in de (noordelijke) Delta. De soort is in Nederland sterk gebonden aan zout milieu en broedt veelal in kolonies, op strandvlaktes en zandplaten en schaars begroeide eilanden, kwelders en duingebieden (Sovon.nl). Nederland ligt

aan de uiterste Zuidgrens van het broedgebied van de Noordse Stern, wat ten dele de grote jaarlijkse aantalsverschillen in heel Nederland, maar ook op lokale schaal, verklaart. De trend op de Wadden laat een gestage afname zien vanaf het jaar 2000, maar opvallend genoeg lijkt deze soort het op Neerlands Reid beter te doen dan de Waddentrend, al zijn de aantallen wel laag.

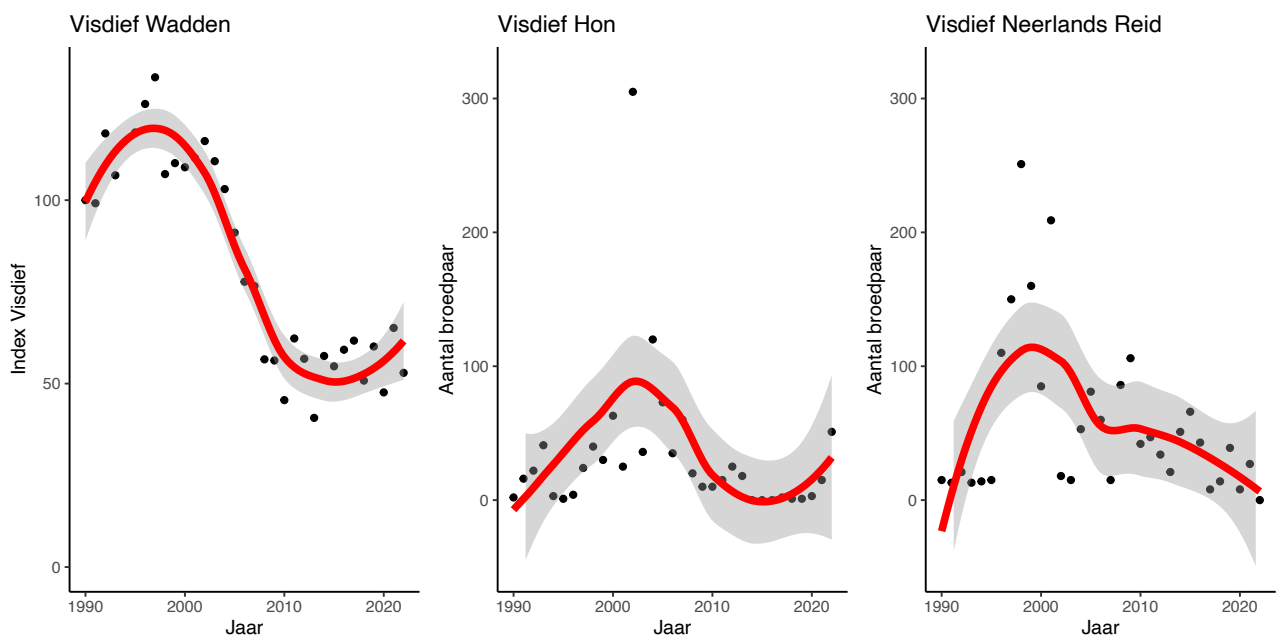


Figuur 6. Overzicht van de aantalsontwikkeling van het aantal broedpaar van de Noordse Stern op de Wadden, De Hon en Neerlands Reid op Ameland.

2.6.6. Visdief

Eind maart arriveren de Visdieven in Nederland, waarbij de kolonies tussen eind april en half mei bezet raken. Ze vertrekken in augustus-september weer naar hun overwinteringsgebied op zee voor de kusten van Mauritanië tot Zuid-Afrika. In Nederland broeden Visdieven vaak in kolonies in open, waterrijke gebieden, bij zowel zout als zoet water. Ze hebben daarbij een voorkeur voor pionier habitat, zoals zandplaten, kwelders/schorren en eilanden. Ook kunstmatige broedplekken zoals nestvlotjes, drijvende platforms of grinddaken worden gebruikt. Visdieven waren tot midden twintigste eeuw talrijker dan nu. Net als bij verschillende andere Sterns kelderden de aantallen

door lozing van landbouw-bestrijdingsmiddelen (Sovon.nl). Het verbod op pesticiden zorgde voor een langzaam en gedeeltelijk herstel. Het merendeel van de Visdieven broedt in het Wadden- en Deltagebied, maar het ontstaan van eiland De Kreupel in het IJsselmeer trok grote aantallen naar dit gebied, al zien we nog steeds een langzame afname van de broedpopulatie in heel Nederland (Sovon.nl), al lijken de aantallen in de Wadden weer langzaam toe te nemen. Een vergelijkbare trend is waarneembaar op De Hon, terwijl het aantal broedpaar op Neerlands Reid vanaf 2000 langzaam afneemt.

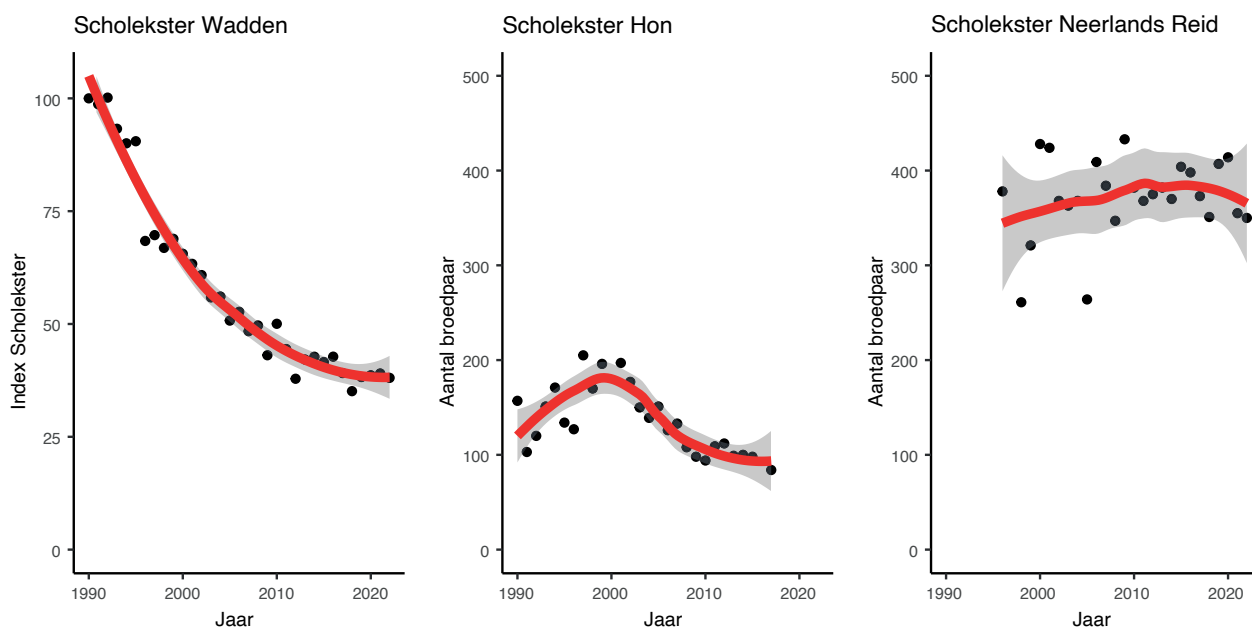


Figuur 7. Overzicht van de aantalsontwikkeling van het aantal broedpaar van de Visdief op de Wadden, De Hon en Neerlands Reid op Ameland.

2.6.7. Scholekster

In Nederland broeden ongeveer 34.000 paren Scholeksters, waarvan het grootste deel (>75%) tegenwoordig in het agrarisch gebied broedt. Hoewel de Scholekster tot begin jaren tachtig landelijk toenam, is dat beeld veranderd. Vanaf 1985 gaat de populatie Scholeksters in Nederland achteruit en inmiddels is de populatie met 60% afgenomen (Sovon.nl), en dit is duidelijk te zien op de Wadden (Figuur 8). De oorzaken daarvoor liggen zowel in de broedtijd als door de winterperiode. Broedvogels brengen vooral in het

intensief gebruikte boerenland te weinig jongen groot, terwijl overwintelaars kampen met voedselgebrek. Op Ameland is de broedpopulatieontwikkeling wisselend; het aantal broedparen wat de meeste jaren geteld is op De Hon, liet vanaf begin jaren 90 nog een behoorlijke toename zien, die vervolgens vanaf begin 2000 een gestage afname laat zien, al is de data de laatste jaren schaars. Op Neerlands Reid daarentegen, laat de populatie ondanks een paar uitschieters een min of meer stabiele populatie zien.

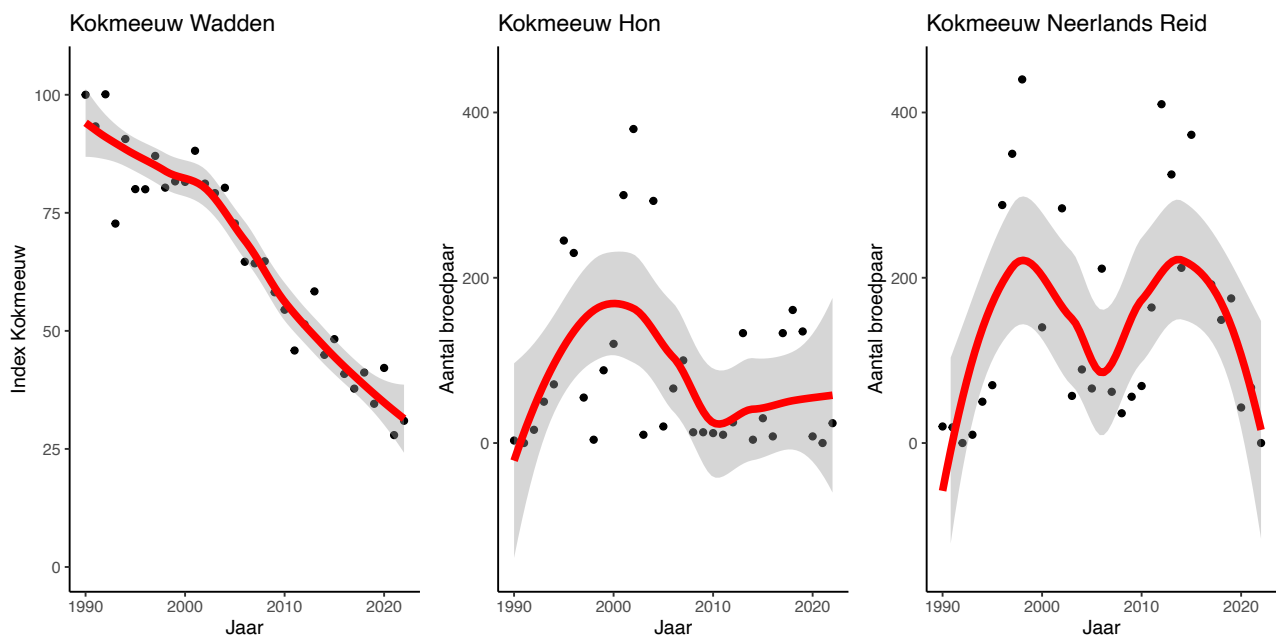


Figuur 8. Overzicht van de aantalsontwikkeling van het aantal broedpaar van de Scholekster op Wadden, De Hon en Neerlands Reid op Ameland.

2.6.8. Kokmeeuw

Kokmeeuwen werden in de twintigste eeuw gaandeweg talrijker, en profiteerden destijds van een groter voedselaanbod door menselijke activiteiten: landbouw, vuilstort en wintervoeding. Inmiddels zijn de aantallen echter gehalveerd. Vooral in het binnenland verdwenen veel kolonies. De landelijke neergang valt samen met slecht broedsucces door voedselproblemen en predatie van eieren en jongen. Intensiever grondgebruik (o.a. verdroging en vermesting) en afdekken van vuilstortplaatsen pakten eveneens ongunstig uit. De Kokmeeuw is echter nog steeds een van de talrijkste

broedvogels in de Waddenzee. In 2019 ging het om bijna 25.00 broedparen (Koffijberg *et al.* 2021). Grote kolonies zijn nog op de eilanden te vinden of op eilandjes in binnendijkse watergebieden, al zien we op de Wadden ook een behoorlijke afname. Op Ameland is het lastig een trend te ontdekken, na initieel lage aantallen vanaf 1990, het begin van de tellingen, zijn er veel fluctuaties geweest en is de situatie momenteel vergelijkbaar met de aantallen van 30 jaar geleden. De soort is in 2022 ook hard geraakt door het vogelgriepvirus, wat de populatieomvang geen goed heeft gedaan.

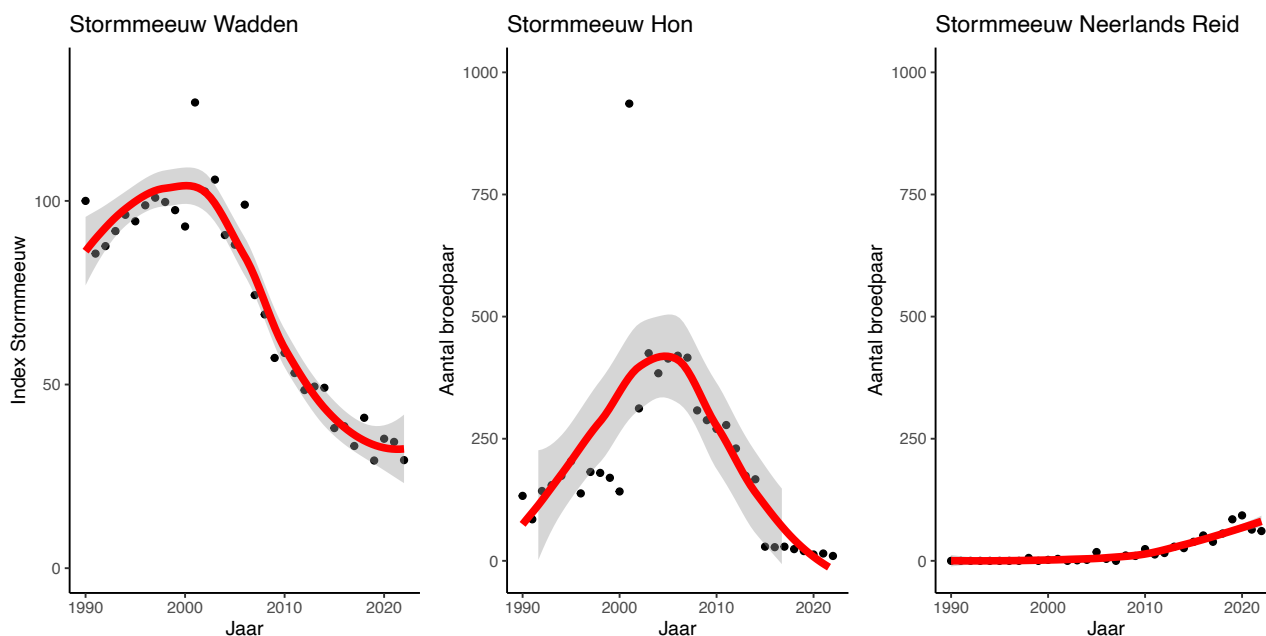


Figuur 9. Overzicht van de aantalsontwikkeling van het aantal broedpaar van de Kokmeeuw op de Wadden, De Hon en Neerlands Reid op Ameland.

2.6.9. Stormmeeuw

Stormmeeuwen broeden vanaf begin vorige eeuw in Nederland. De populatie nam vooral na 1960 toe en bereikte een top van rond 11.000 paren rond 1980. Sindsdien namen de aantallen af naar minder dan 5000 paren vanaf 2009. De aanwezigheid van de Vos leidde tot het verdwijnen van de grote kolonies op het vasteland. Ook de broedpopulatie op de Waddeneilanden neemt vanaf de eeuwwisseling af, terwijl de tientallen paren in het Deltagebied zich relatief goed handhaven

(Sovon.nl). Op het Hon op Ameland is er sprake van een korte intensieve opleving van de broedpopulatie vanaf 2001, maar laat vanaf 2007 weer een gestage afname zien, waarbij er de laatste jaren nog enkele tot tientallen broedparen over zijn. Op Neerlands Reid zien we een omgekeerd beeld, namelijk een toename van het aantal broedparen, al zijn de aantallen vooralsnog wel laag.



Figuur 10. Overzicht van de aantalsontwikkeling van het aantal broedparen van de Stormmeeuw op de Wadden, De Hon en Neerlands Reid op Ameland.

2.6.10. Eider

Van de Eider bestaat geen lange reeks met betrouwbare aantallen broedparen. Sinds er de laatste paar jaar met een drone geteld wordt, is duidelijk dat er weliswaar veel nesten zijn (zie ook Tabel 1), maar er is voor gekozen deze niet te tonen omdat het slechts een korte tijdserie betreft.

3. Resultaten

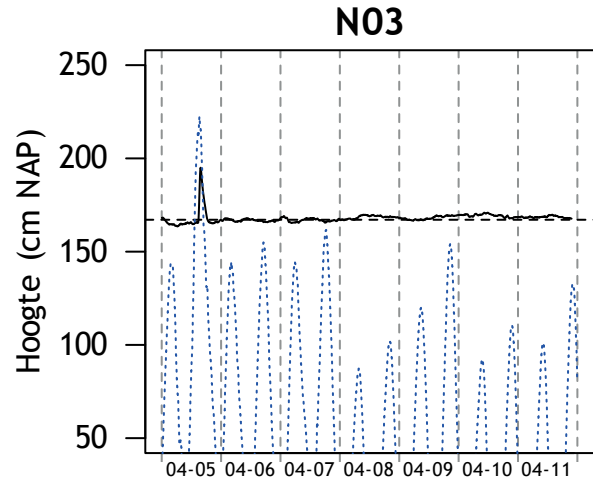
Aangezien in deze rapportage gebruik is gemaakt van de data uit de diepteloggers, worden de data aan de hand van een voorbeeld gepresenteerd. Vervolgens worden de overstroomingskans berekeningen voor de verschillende scenario's van de Scholekster als voorbeeld in detail gepresenteerd. De belangrijkste resultaten van alle soorten worden in een samenvattende beknopte tabel gepresenteerd (Tabel 3). De bijbehorende uitgebreide resultaten worden in Bijlage II en III weergegeven.

3.1. Diepteloggers

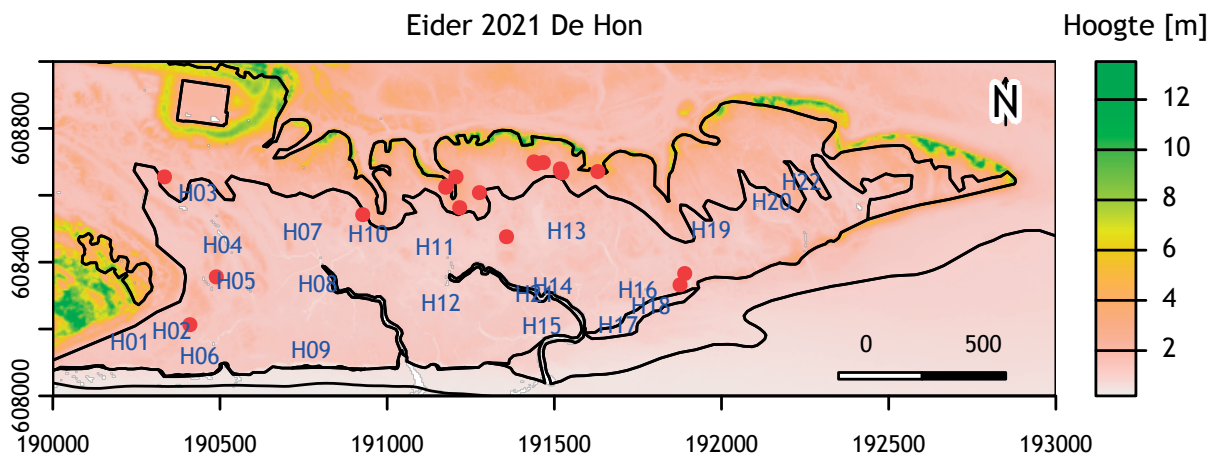
De data uit de diepteloggers laten zien dat de kwelder niet gelijkmatig wordt overspoeld door hoge waterstanden en de mate van en frequentie van overspoelen is afhankelijk van drempels, geulen, windrichting en stuwing, met name voor nesten verder van de kwelder-rand (zie voorbeeld van dieptelogger N03; Figuur 11).

In Figuur 12 wordt een overzicht gegeven van de locaties waar Eidernesten zijn gevonden op De Hon in 2021, met in blauw de posities en namen van de diepteloggers.

Deze verdeling van diepteloggers en nesten (Figuur 12) laat goed zien hoe de loggers verdeeld zijn over het gebied en dat op deze manier de data van de dichtstbijzijnde logger gebruikt worden voor de overstroomingskans-berekening en zodoende met nauwkeurige gegevens gerekend kan worden. In Bijlage 4 staan de locaties van de nesten waarvan de hoogte is bepaald.



Figuur 11. Waterafvoer tussen 5 april en 11 april 2021 op basis van een dieptelogger op locatie N03 (zie Figuur 2 voor exacte locatie). De zwarte lijn geeft de door de dieptelogger gemeten waterstand en de blauwe stippellijn laat de door EcoCurves geïnterpoleerde waterstand zien. De horizontale stippellijn geeft de hoogte van de sensor weer. Deze locatie ligt vrij ver van de wadrand en bij een hoogwater van 222 cm + NAP in de Waddenzee wordt duidelijk dat de werkelijke waterstand op deze locatie (bepaald door de dieptelogger) ongeveer 20 cm lager was.



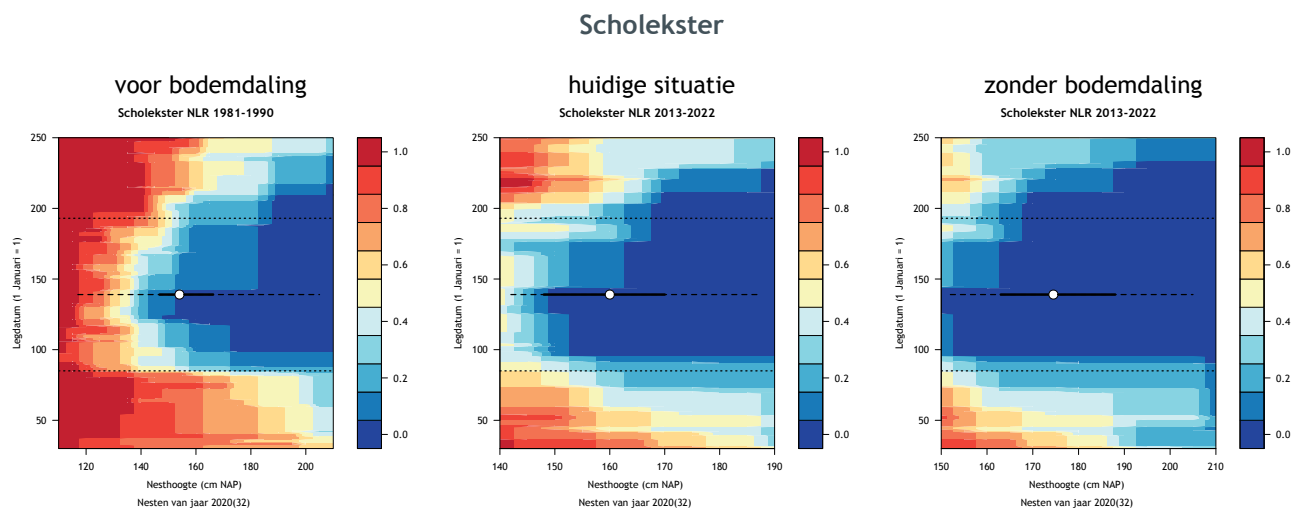
Figuur 12. Overzicht van De Hon op Ameland in 2021, waarop de nesten van Eiders met rode punten zijn gemarkeerd en de posities en namen van de verschillende loggers.

3.2. Overzicht overstromingskans Scholekster

De resultaten van de kans op overstroming worden grafisch weergegeven. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur 13 voor de Scholekster op Neerlands Reid op Ameland. De drie verschillende figuren laten de kans op overstroming zien voor de 3 verschillende scenario's;

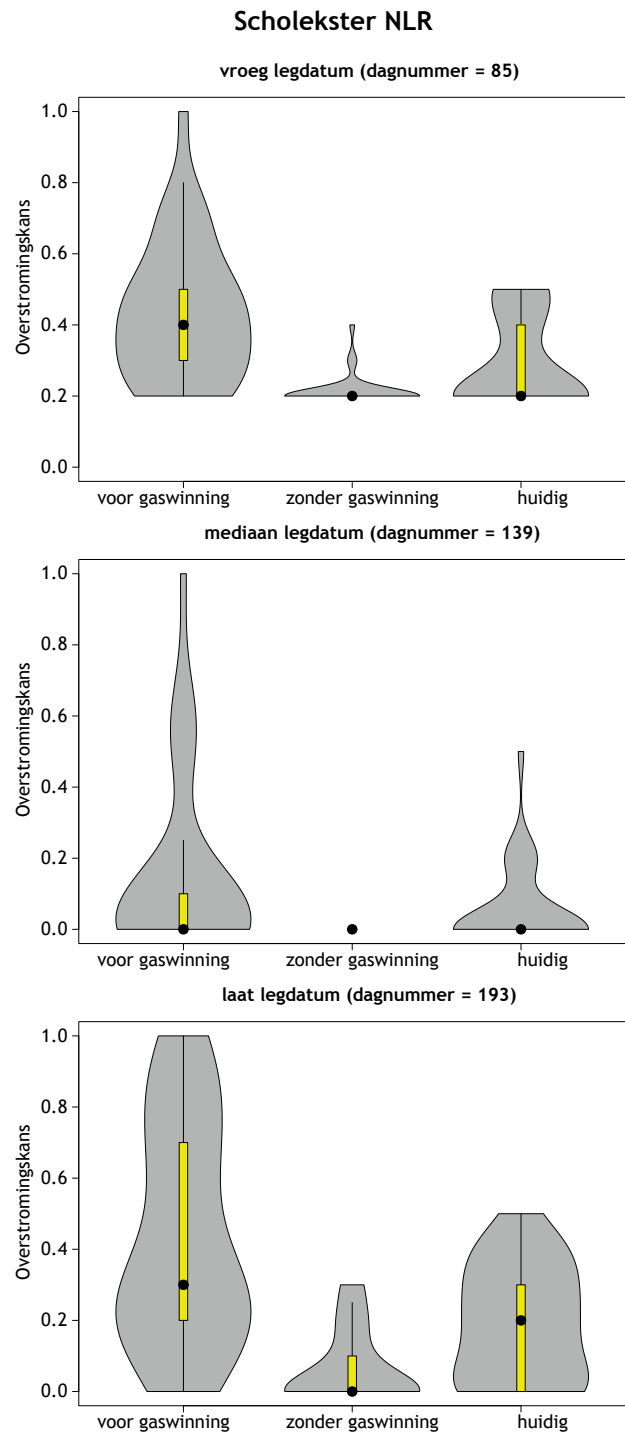
1. de kans op overstroming vóór de gaswinning en voordat de bodemdaling begon (de periode 1981 – 1990)
2. de huidige kans op overstroming (periode 2013 – 2022)
3. de kans op overstroming, wanneer er geen gaswinning en dus geen bodemdaling had plaatsgevonden (periode 2013 – 2022).

Voor een gemiddeld Scholeksternest gevonden in de periode 2013- 2022 bedraagt de kans om tijdens de broedtijd en de kritieke kuikenperiode ten minste één keer in de gegeven periode (1981 t/m 1990) te worden overstroomd 0.14 (of 14%; zie ook Figuur 13 en tabel 3). In de huidige situatie is deze kans echter lager, namelijk 0.05 (5%), wat veroorzaakt wordt doordat de nesten gemiddeld wat hoger liggen (162 cm). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door opslibbing, want verplaatsing naar hogere nestlocaties is niet bijgehouden. Wanneer er geen gaswinning had plaatsgevonden, is de kans op overstroming 0,04 dus 4%. Dus ondanks dat in dit voorbeeld de huidige overstromingskans lager is dan voor de gaswinning begon, is de kans op overstroming iets hoger dan wanneer er geen gaswinning had plaatsgevonden. Een overzicht van de figuren van alle berekende soorten in de verschillende deelgebieden (Hon en Neerlands Reid, en verschillende kolonies) staan in Bijlage II.



Figuur 13. De berekende overstromingskans voor Scholeksters op Neerlands Reid op Ameland als functie van legdatum en nesthoogte. De witte stip geeft de gemiddelde nesthoogte en de zwarte horizontale stippellijnen representeren de verdeling van legdatum en nesthoogte (mediaan en kwartielen). Ook weergegeven (middels een boxplot van mediaan en kwartiel) de gecombineerde verdeling van legdatum en nesthoogte.

De overstromingskans hangt mede af van de datum van eileg. Voor veel soorten zijn er algemene gegevens en is uitgegaan van de periode 1 april t/m 30 juni. Deze periode is met name van belang van voor vroege of juist late broeders, zoals is weergegeven in Figuur 13. Daarnaast is gekozen om de overstromingskansen in een vioolplot te visualiseren. Een vioolplot is een grafiek die gebruikt wordt om de verdeling van een dataset te visualiseren. Het voordeel van een vioolplot is dat het verschillende statistische waarden weergeeft, zoals de mediaan, kwartielen en de dichtheid van de gegevenspunten. Dit geeft een meer gedetailleerde weergave van de verdeling van de gegevens dan een histogram of een boxplot. Een ander voordeel van een vioolplot is dat het gemakkelijk is om meerdere vioolplots te vergelijken door ze naast elkaar te plaatsen. Hierdoor is het mogelijk om snel de verschillen of overeenkomsten tussen verschillende scenario's te zien. Hiernaast een voorbeeld van dezelfde Scholekster data zoals in 3.2 beschreven, met de verschillende legdata (vroeg, mediaan en laat; Figuur 14). In Bijlage II staan alle vioolplots van alle gemeten soorten.



Figuur 14. Vioolplots van de berekende overstromingskansen voor Scholeksters op Neerlands Reid op Ameland als functie van 3 legdata's (vroeg, mediaan en laat) en gemeten nesthoogte. De legdata voor vroege broeders is 26 maart, de mediane broeders hebben een legdatum van 19 mei en de late broeders hebben een legdatum van 12 juli. In deze vioolplots is ook een boxplot te zien welke de mediaan en kwartiel weergeeft.

3.3. Overzicht overstromingskans voor alle soorten

Binnen een soort bestaat er veel variatie in keuze van een nestplaats, waardoor de kans op overstroming soms zeer hoog, maar soms heel laag is. In deze rapportage wordt echter alleen op soortniveau gekeken, niet op individueel niveau. Voor 3 soorten waarvan nesthoogtes bekend waren (Eider, Kleine Mantelmeeuw en Kokmeeuw op De Hon), is de huidige overstromingskans hoger of gelijk gebleven dan toen de gaswinning begon (Tabel 3; Bijlage II), terwijl de Visdief, Noordse

Stern, Scholekster, Stormmeeuw en Kokmeeuw op het NLR een ander resultaat laten zien; die hebben nu een lagere kans op overstroming in vergelijking met voordat de gaswinning begon. De verklaring hiervoor is waarschijnlijk doordat deze nesten veelal dicht bij kwelderrand liggen, waardoor de opslibbing de daling heeft kunnen compenseren, terwijl de soorten die een toename in overstromingskans laten zien, over het algemeen verder van de wad- en geulranden broeden, waar de opslibbing minder is. De Lepelaar en Kluut laten geen verandering zien in overstromingskans. Voor deze rapportage is verplaatsing van de nestlocatie

Tabel 3. Samenvatting van de overstromingskans-berekeningen waarbij de gemiddelde overstromingskans per scenario is weergegeven en onderverdeeld in vroege, mediane en late broeders voor een compleet broedseizoen voor Neerlands Reid (NLR) en De Hon. Wanneer een scenario een toename in overstromingskans t.o.v. het scenario voor bodemdaling laat zien, is dit rood gearceerd. Wanneer een scenario een afname in overstromingskans t.o.v. het scenario voor bodemdaling laat zien, is dit groen gearceerd. Wanneer er geen verandering plaatsvond, is geen arcering gebruikt.

Soort	Timing eileg	Voor bodem daling	NLR		Voor bodemdaling	Hon	
			Huidige situatie	Zonder bodemdaling		Huidige situatie	Zonder bodemdaling
Eider	vroeg	0,12	0,18	0,08	0,16	0,31	0,08
	mediaan	0,05	0,09	0	0,07	0,22	0
	laat	0,12	0,18	0,08	0,16	0,31	0,08
Kleine Mantelmeeuw	vroeg	0,4	0,45	0,11	0,09	0,41	0
	mediaan	0,35	0,4	0,06	0,06	0,41	0
	laat	0,4	0,45	0,11	0,09	0,41	0
Kluut	vroeg	0,09	0,14	0,09			
	mediaan	0	0	0			
	laat	0,09	0,14	0,09			
Kokmeeuw	vroeg	0,2	0,12	0,05	0,32	0,58	0,03
	mediaan	0,24	0,09	0,04	0,41	0,61	0,01
	laat	0,2	0,12	0,05	0,32	0,58	0,03
Lepelaar	vroeg				0,03	0,03	0
	mediaan				0,04	0,04	0
	laat				0,03	0,03	0
Noordse Stern	vroeg	0,44	0,29	0,23			
	mediaan	0,29	0,11	0,04			
	laat	0,44	0,29	0,23			
Scholekster	vroeg	0,43	0,29	0,23			
	mediaan	0,14	0,05	0,04			
	laat	0,43	0,29	0,23			
Stormmeeuw	vroeg	0,4	0,46	0,25			
	mediaan	0,26	0,18	0			
	laat	0,4	0,46	0,25			
Visdief	vroeg	0,18	0,15	0,02	0,28	0,24	0,09
	mediaan	0,23	0,14	0,01	0,38	0,2	0,03
	laat	0,18	0,15	0,02	0,28	0,24	0,09

op het overstromingskans niet onderzocht, maar voor meer verspreid broedende soorten als Kokmeeuw, Kluut en Scholekster lijkt het niet onwaarschijnlijk dat dit mogelijk een rol speelt. Vissie en Noordse Sterns daarentegen zijn echte pioniersoorten, en stellen behoorlijke strenge eisen aan hun broedhabitat.

Belangrijk om te realiseren is dat dit onderzoek is toegespitst op metingen van maaiveldhoogte. Eventuele effecten op broedlocatiekeuze of aantalsontwikkeling veroorzaakt door verandering in vegetatie niet zijn meegenomen. Desalniettemin, laten de resultaten zien dat voor alle soorten geldt dat de huidige kans op overstroming lager was geweest dan wanneer er geen gaswinning had plaatsgevonden. Ook bij de vogelsoorten waar de overstromingskans in het huidige scenario is afgenomen, zou deze kans waarschijnlijk nog sterker zijn afgenomen bij een scenario zonder bodemdaling. Wanneer er geen gaswinning had plaatsgevonden zou er geen diepe daling door de gaswinning zou zijn ontstaan. In plaats daarvan zouden door opslibbing (en mogelijk verplaatsing van soorten) de meeste nesten nu waarschijnlijk hoger hebben gelegen dan in de periode 1981 t/m 1990 (voor bodemdaling).

Opvallend zijn de grote verschillen tussen Kokmeeuwen en Kleine Mantelmeeuwen op De Hon en Neerlands Reid. Zo laat de Kokmeeuw op De Hon een behoorlijk toegenomen kans op overstroming zien dat een nest in een broedseizoen overstroomt (van 41 naar 61%), terwijl deze kans op Neerlands Reid juist afneemt (van 24 naar 9%). Voor de Kleine Mantelmeeuw is de kans op overstroming gelijk in beide gebieden, maar de toename op overstromingskans is op De Hon veel hoger (van 6 naar 41%) door de bodemdaling. Hier moet wel opgemerkt worden dat de nesthoogtes van Kokmeeuwen veelal aan het begin van deze periode ingemeten zijn (2013 – 2018) terwijl de Kleine Mantelmeeuw nesten voornamelijk zijn ingemeten in het latere deel van de onderzoek decade (2019 – 2022), en dat de nesten van deze soorten een hoge jaarlijkse variatie laten zien in locatiekeuze.

4. Discussie

Het hoofddoel van de in dit rapport gepresenteerde metingen en berekeningen was het bepalen van de overstromingskans van nesten van kwelderbroedvogels en het effect van bodemdaling op deze kans. Over het algemeen is de huidige overstromingskans op de kwelder van Ameland voor nestelende broedvogels toegenomen, ten opzichte van wanneer er geen bodemdaling had plaatsgevonden.

Van 5 onderzochte soorten (Visdief, Noordse Stern, Scholekster, Kokmeeuw op het NLR en Stormmeeuw), is er in de huidige situatie een verlaagde kans op overstroming, ervanuit gaande dat ze op dezelfde locatie hadden gebroed voordat de gaswinning begon. Bij 3 soorten (Eider, Kleine Mantelmeeuw en Kokmeeuw op De Hon) is er een toenemende kans op overstroming gevonden en bij 2 soorten (Kluut en Lepelaar) is er geen verandering in overstromingskans, al laten de berekeningen zien dat vroege of late broeders van de Kluut, wel een toegenomen overstromingskans laten zien. Zoals aangegeven is de overstromingskans niet direct gemeten, maar berekend op basis van metingen aan de hoogte van nesten. Voor de berekeningen zijn ook andere gegevens nodig, zoals legdatum en broedduur. Een deel van deze gegevens zijn geschat uit de literatuur. Daarnaast broeden niet alle soorten ieder jaar in dezelfde aantallen in beide gebieden, daardoor is de dataset van sommige soorten beperkt. Zo is er in het afgelopen decennium in 1 jaar data verzameld van Kluut, Kokmeeuw en Stormmeeuw (Tabel 3), waardoor de resultaten van deze soorten minder robuust zijn dan bijvoorbeeld de resultaten voor de Lepelaar, die jaarlijks in behoorlijke aantallen ingemeten wordt.

In de laatste monitoringsrapportage (Elschot *et al.* 2017) is reeds aangetoond dat er lokaal grote veranderingen in de kweldebegroeiingen van Neerlands Reid en De Hon zijn opgetreden. Dit geldt voornamelijk voor de open en lage begroeiingen van hoge- en middenkwelders, zowel op De Hon als Neerlands Reid. De oudere hoge- en middenkwelders hebben hiernaast ook hoge begroeiingen gekregen, wat voor soorten als Kluut, Visdief en Noordse stern minder geschikte broedplekken oplevert. Mogelijk hebben deze soorten zich daarom verplaatst naar hogere plekken in de getijzone met een lagere kans op overstroming of deze locaties zijn hoger komen te liggen door opslibbing. Aangezien we geen individuele nesten kunnen volgen, blijft het speculeren wat er exact gebeurd is en het is niet mogelijk deze processen te onderscheiden.

Daarnaast zijn abiotische factoren als zeespiegelstijging en weerseffecten van invloed op de kans op overstroming van het maaiveld in het broedseizoen.

Kwelders worden hoger als ze vaker overstromen door depositie van sediment tijdens overstroming, maar dit meegroeivermogen heeft zijn grenzen. Zo blijkt uit een vergelijkende studie het meegroeivermogen van een kwelder op ongeveer 4 mm per jaar te liggen (Kirwan *et al.* 2016), maar of en wanneer deze kritische grens overschreden wordt hangt af van lokale factoren zoals de hoeveelheid sediment in de waterkolom, de amplitude van getijden en de snelheid van de zeespiegelstijging en bodemdaling.

Vanwege de verschillen in methodiek, dataverzameling en gebruikte data tussen de laatste rapportage (Ens *et al.* 2014) en de huidige rapportage is het niet heel zinvol de verschillen en overeenkomsten te beschrijven. Een memo, welke namens de Begeleidingscommissie monitoring bodemdaling Ameland is geschreven, bevat meer overeenkomsten en wordt hieronder kort besproken. Algemeen liggen de huidige waarden van de berekende overstromingskansen lager dan in de memo beschreven. Dit heeft waarschijnlijk meerdere oorzaken. Zo is er groot verschil in hoogtedata van de nesten. Deze hoogtes konden destijds nog niet gekoppeld worden aan de diepteloggers, waardoor er geen onderscheid gemaakt is tussen nesthoogte en effectieve nesthoogte. Daarnaast is daar met een ander model teruggerekend, ook tot verschillende beginperiodes. Zo is in de memo beschreven dat de overstromingskansen voor Lepelaar en Kleine Mantelmeeuw zijn teruggerekend naar 1995, het jaar van vestiging.

De aantallen broedparen van de onderzochte soorten verschillen nogal per gebied en jaar, maar over het algemeen zien we de aantallen op De Hon afnemen (behalve de Lepelaar), en op Neerlands Reid is het beeld iets wisselender. De Lepelaar en de Kleine Mantelmeeuw hebben zich tijdens de periode van gaswinning gevestigd op beide kwelders en zijn sindsdien in aantal toegenomen, al zien we de laatste jaren weer een afname van de aantallen Kleine Mantelmeeuw op De Hon. Sommige onderzochte soorten kunnen jaarlijks een andere plaats voor hun kolonie kiezen en daarmee het overstromingskans vergroten of verkleinen. Een aantal koloniesoorten broedt in kleine aantallen en niet jaarlijks. Alleen de Lepelaar broedt sinds 1994 jaarlijks in toenemende aantallen en deze soort heeft een verplaatsing naar de hogere delen van De Hon laten zien, waardoor de overstromingskans t.o.v. hun eerdere broedlocaties aanzienlijk is afgenomen. De Stormmeeuw heeft sinds de vestiging op het NLR vanaf 1998 een behoorlijke toename laten zien op het NLR, maar een duidelijke verklaring hiervoor is nog niet te geven.

Overstromingsrisico berekeningen worden uitgedrukt in kansberekeningen, en met de huidige beschikbare data is het niet mogelijk de resultaten uit te drukken in meetbare gegevens. Als hier behoefte aan is, dan is het van belang om de gevonden nesten individueel te volgen, om de daadwerkelijke overstromingen per nest te kwantificeren. Daarnaast geeft de Auditcommissie van 2017 aan dat het goed zou zijn om het daadwerkelijke broedsucces van verschillende soorten te meten als functie van daadwerkelijk bodemdaling, ook om de flexibiliteit van soorten (zoals Scholekster) te kunnen beoordelen. Deze wens wordt door de onderzoekers ondersteund, echter tot op heden is het voor de onderzoekers niet toegestaan om het gebied te betreden in het broedseizoen. Het is raadzaam om samen met de Begeleidingscommissie en de beheerders te verkennen wat de mogelijkheden zijn om deze data te verzamelen. Wanneer er geen toestemming volgt voor een dergelijk onderzoek, zal er naar alternatieven gekeken moeten worden. Zo worden drones steeds vaker ingezet om soorten te herkennen en door middel van automatische beeldherkenning is het mogelijk om het aantal broedpaar te tellen (Kellenberger *et al.* 2021), en in theorie zou het mogelijk zijn om na een hoog tij de nesten opnieuw te inventariseren om de eventuele nestverliezen te kwantificeren. Drone inventarisaties vinden reeds jaarlijks plaats, al zijn de metingen puur en alleen bedoeld om de locatie van de nesten te bepalen, zodat na het broedseizoen de hoogte van het nest gemeten kan worden. Vooralsnog worden er geen additionele parameters zoals vegetatie of individu verzameld. Daarnaast kan gedacht worden aan de inzet van camera's bij nesten, waarvan de beelden later geanalyseerd kunnen worden op daadwerkelijke overstroming of niet, maar ook om predatie of vertrapting van een nest te kwantificeren.

Voor Scholeksters is duidelijk geworden dat ze plaatstrouw zijn en dus niet in de loop van hun leven hogerop gaan broeden (Bailey *et al.* 2017). Echter, wanneer nieuwe broedvogels zich vestigen, doen ze dit in gebieden waar veel jongen geboren worden, wat in recente jaren steeds vaker de hogere plekken zijn (Bailey *et al.* 2019). Dit is een voorbeeld van een soort die zich dus deels kan aanpassen, maar de vraag is of dit voldoende is met oog op de bodemdaling enerzijds en de verwachte zeespiegelstijging anderzijds. Duidelijk is wel dat de hogere locaties vaak de locaties zijn die verder weg van het wad liggen, waardoor de afstand die ze moeten afleggen om voedsel te verkrijgen ook groter wordt.

Concluderend is het duidelijk dat de huidige kans op overstroming bij alle hier onderzochte soorten is genomen, dan wanneer er geen gaswinning had plaatsgevonden. Voor een drietal soorten (Eider, Kleine Mantelmeeuw en Kluut), is de huidige overstromingskans hoger of gelijk gebleven voordat de gaswinning begon. Dit geldt ook voor de Kokmeeuw, maar dan alleen op De Hon, niet op Neerlands Reid. Een soort als de Lepelaar laat geen verandering zien in de kans op overstroming. Voor 3 soorten (Visdief, Noordse Stern, Scholekster) is de huidige kans op overstroming lager dan in vergelijking met voordat de gaswinning begon. Om tot een betere schatting te komen van het effect van bodemdaling op kwelderbroedvogels zijn verschillende aanbevelingen geformuleerd:

- Verken de mogelijkheden om de daadwerkelijke overstroming van een nest te monitoren (bijvoorbeeld na een hoog tij de overstromingsgevoelige nesten te controleren);
- Zet de huidige monitoring met drones in combinatie met DGPS metingen voort;
- Herplaats de diepteloggers en implementeer de uitlezingen hiervan in de monitoring, zodat de effectieve hoogtes van de nesten beter geschat kunnen worden;
- Probeer een betere inschatting te maken van het broedsucces van een aantal soorten, wat een monitoringsprogramma vereist waarbij het broedsucces daadwerkelijk gemeten wordt, inclusief de verschillende factoren die het broedsucces bepalen;
- Probeer een beter beeld van de huidige legdatum te krijgen voor de verschillende soorten en onderzoek of er al een vervroeging heeft plaatsgevonden;
- Probeer een vergelijk te maken met andere Waddeneilanden (referentiegebieden) om de effecten van bodemdaling, opslibbing en zeespiegelstijging te kunnen onderscheiden.

5. Dankwoord

We bedanken Erwin Bruinewoud van de NAM voor de fijne samenwerking. Ook bedanken we de leden van de Begeleidingscommissie en Buro landwijzer voor de kritische blik ten aanzien van ons werk. We danken Martijn van de Pol, Han van Dobben, Bruno Ens en Marinka van Puijenbroek voor hun hulp en het meedenken met de implementatie van het opslibbingsmodel. We bedanken Piet-Wim van Leeuwen voor het maken van, en hulp bij het plaatsen van de bevestigingspalen van de diepteloggers. Verder bedanken we It Fryske Gea en De Vennoot voor toestemming om buiten het broedseizoen in het gebied te werken.

6. Literatuur

- Bailey, L. D., B. J. Ens, C. Both, D. Heg, K. Oosterbeek, and M. van de Pol. 2017. No phenotypic plasticity in nest-site selection in response to extreme flooding events. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 372:20160139.
- Bailey, L. D., B. J. Ens, C. Both, D. Heg, K. Oosterbeek, and M. van de Pol. 2019. Habitat selection can reduce effects of extreme climatic events in a long-lived shore-bird. *Journal of Animal Ecology* 88:1474-1485.
- Bêty, J., G. Gauthier, J.-F. Giroux, and E. Korpimäki. 2001. Are goose nesting success and lemming cycles linked? Interplay between nest density and predators. *Oikos* 93:388-400.
- Cramp, S., and K. E. L. Simmons. 1977. *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa. Vol I: Ostrich to ducks.* Oxford University Press.
- Cramp, S., and K. E. L. Simmons. 1983. *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa. Vol III: Waders to gulls.* Oxford University Press.
- de Groot, A. V., M. van Regteren, and B. van der Weide. 2016. Opslibbing en vegetatie kwelder Ameland-Oost, jaarrapportage 2015. Imares Wageningen UR Den Helder, 1-33.
- Elschot, K., A. de Groot, K. Dijkema, 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. Koppenaar, and J. de Vlas. 2017. 4. Ontwikkeling kwelder Ameland-Oost - Evaluatie bodemdalingsonderzoek 1986-2016. Pages 185-328 in J. de Vlas, editor. *Monitoring effecten van bodemdaling op Oost-Ameland*, Wageningen.
- Ens, B. J., C. Kampichler, K. Koffijberg, J. Krol, and K. Oosterbeek. 2014. *Onderzoek naar de relatie tussen bodemdaling en overstromingsrisico van kwelderbroedvogels op Ameland.* Sovon Vogelonderzoek Nederland Nijmegen, 1-36.
- Hallmann, C., and B. J. Ens. 2011. Overstromingsrisico en broedsucces van Scholeksters op de kwelder van Ameland en Schiermonnikoog. *Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost 2005-2010.* NAM Assen, 67-92.
- Hodgson, J. C., R. Mott, S. M. Baylis, T. T. Pham, S. Wotherspoon, A. D. Kilpatrick, R. Raja Segaran, I. Reid, A. Terauds, L. P. Koh, and N. Yoccoz. 2018. Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods in Ecology and Evolution* 9:1160-1167.
- Jenni, L., and M. Kery. 2003. Timing of autumn bird migration under climate change: advances in long-distance migrants, delays in short-distance migrants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270:1467-1471.
- Kellenberger, B., T. Veen, E. Folmer, and D. Tuia. 2021. 21 000 birds in 4.5 h: efficient large-scale seabird detection with machine learning. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 7:445-460.
- Kirwan, M. L., D. C. Walters, W. G. Reay, and J. A. Carr. 2016. Sea level driven marsh expansion in a coupled model of marsh erosion and migration. *Geophysical Research Letters* 43:4366-4373.
- Koffijberg, K., P. de Boer, S. C. V. Geelhoed, J. Nienhuis, H. Schekkerman, K. Oosterbeek, and J. Postma. 2021. Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee in 2019. Nijmegen, 48.
- Koffijberg, K., J. Frikke, B. Hälterlein, K. Laursen, G. Reichert, and L. Soldaat. 2017. Breeding birds. Wadden Sea quality status report 2017. Page 19 in S. e. a. Kloepper, editor. *Common Wadden Sea secretariat*, Wilhelmshaven, Germany.
- Lok, T. 2013. Spoonbills as a model system: a demographic cost-benefit analysis of differential migration. PhD thesis. University of Groningen, Groningen, The Netherlands.
- Rakhimberdiev, E., S. Duijns, J. Karagicheva, C. J. Camphuysen, VRS Casticum, A. Dekinga, R. Dekker, A. Gavrilov, J. ten Horn, J. Jukema, A. Saveliev, M. Soloviev, T. L. Tibbitts, J. A. van Gils, and T. Piersma. 2018. Fuelling conditions at staging sites can mitigate Arctic warming effects in a migratory bird. *Nature Communications* 9:4263.
- Rappoldt, C., O. R. Roosenschoon, and D. W. G. van Kraalingen. 2014. Intertides: maps of the intertidal by interpolation of tidal gauge data. *EcoCurves, EcoCurves Rapport 19, haren*, 1-36.

Scarton, F., and R. G. Valle. 2022. Comparison of drone vs. ground survey monitoring of hatching success in the black-headed gull (*Chroicocephalus ridibundus*). *Ornithology Research* 30:271-280.

Smith, P. A. 2003. Factors affecting nest site selection and reproductive success of tundra nesting shorebirds. University of British Columbia, Vancouver, B.C., University of British Columbia, Vancouver, B.C.

van de Pol, M., B. J. Ens, D. Heg, L. Brouwer, J. Krol, M. Maier, K.-M. Exo, K. Oosterbeek, T. Lok, C. M. Eising, and K. Koffijberg. 2010. Do changes in the frequency, magnitude and timing of extreme climatic events threaten the population viability of coastal birds? *Journal of Applied Ecology* 47:720-730.

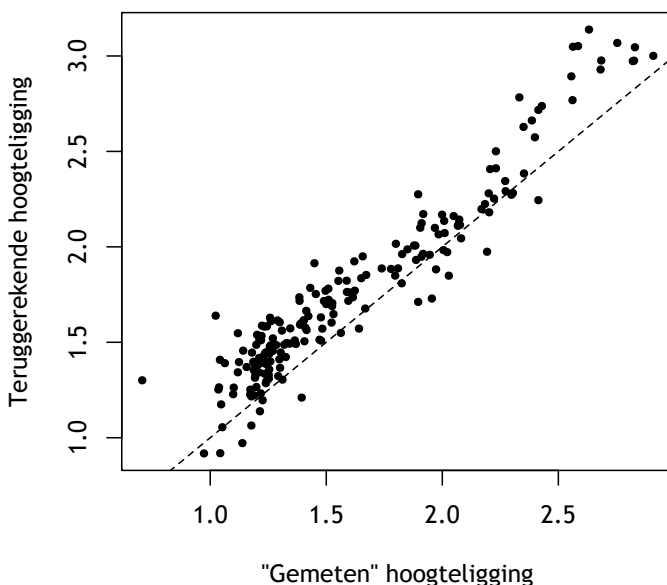
van Dobben, H. F., A. V. de Groot, and J. P. Bakker. 2022. Salt marsh accretion with and without deep soil subsidence as a proxy for sea-level rise. *Estuaries and Coasts* 45:1562-1582.

Wilson, J., T. Amano, and R. A. Fuller. 2022. Using drones to survey shorebirds. University of Queensland Moreton Bay, Australia 1-19.

Bijlage I Validatie van Dobben model

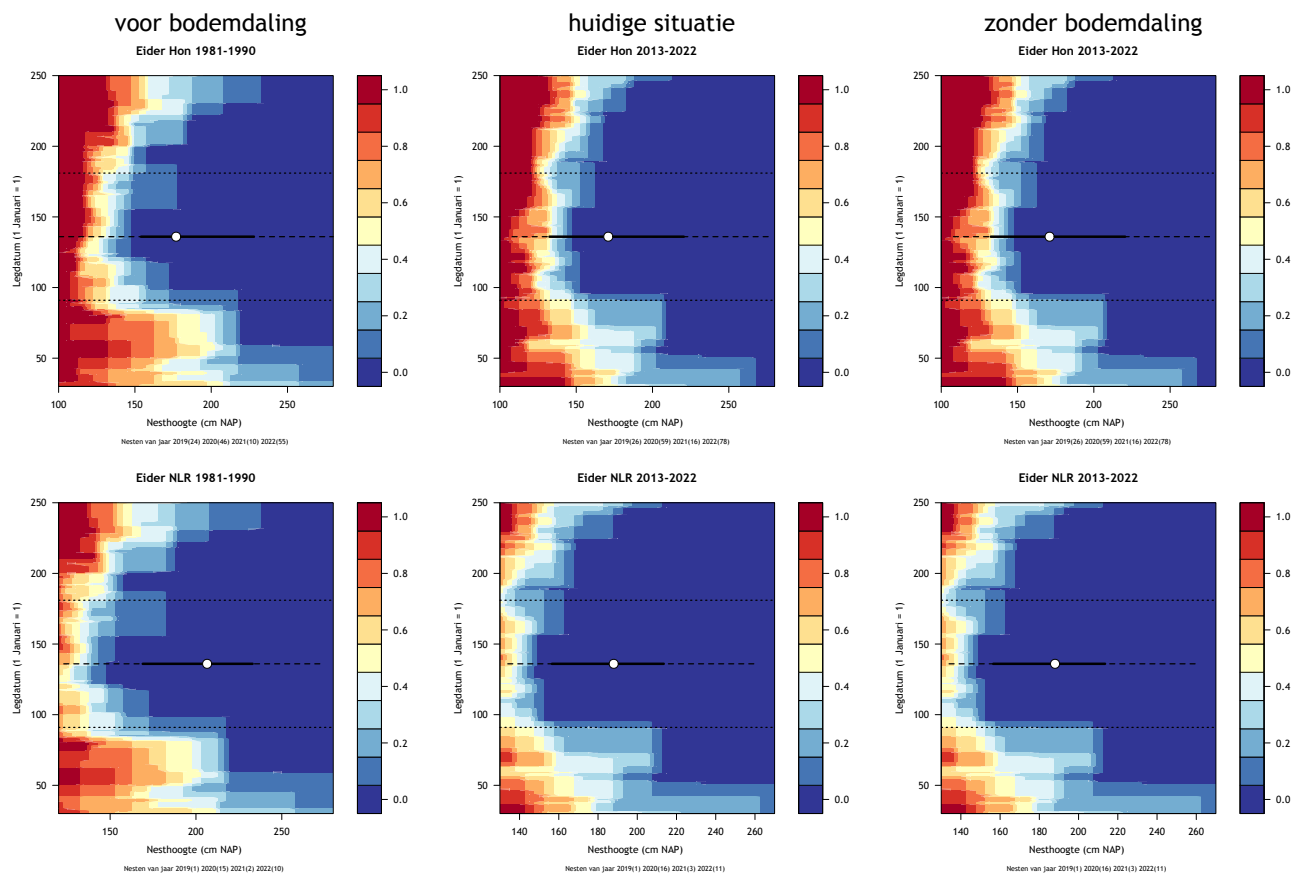
Een deel van De Hon is ontstaan rond 1980, vanaf dat moment zijn er doordat planten de golfsnelheid verminderen kleideeltjes bezonken op de zandige wadplaat. Door de sedimentatie over tijd ontstaat er een kleilaag, wat de totale opslibbing is van de kwelder. Op De Hon is in 2020 door WMR de kleidikte en maaiveldhoogte bepaald. Daarnaast kan met het maaiveldhoogte en de kleidikte ook bepaald worden op welke maaiveldhoogte de onderliggende zandlaag ligt. Deze onderliggende zandlaag is alleen van hoogte veranderd door de bodemdaling, dus door te corrigeren met de gemodelleerde bodemdaling (NAM model) kan de maaiveldhoogte van de zandlaag tijdens de start van de kwelderontwikkeling in 1980 worden berekend. Vanaf 1980 zijn er waterhoogte gegevens van Rijkswaterstaat beschikbaar die kan worden gebruikt voor het bepalen van de opslibbing met het van Dobben model.

Het model van Dobben kan worden gevalideerd door de met maaiveldhoogte van 2020 terug te rekenen naar 1980 (start kwelderontwikkeling) en dat te vergelijken met de maaiveldhoogte van de zandlaag tijdens de start van de kwelderontwikkeling. Hieronder het belangrijkste resultaat weergegeven. Op de Y-as is te zien wat de terug gerekende hoogte is, en op de X-as de maaiveldhoogte tijdens de start van de kwelderontwikkeling. De stippellijn is de 1:1 relatie. Wat opvalt is dat het model over het algemeen goed de hoogte voorspeld, maar ook dat er een kleine overschatting in de berekende hoogte geeft. Dit heeft te maken met het feit dat de data waarop het model gekalibreerd is. De data die gebruikt is om het model te kalibreren bevat namelijk de data van de PQ's, welke vaak dicht bij de krekken lagen, vanwege de hoge opslibbing aldaar. Dit wordt door de maker van het model ook onderkend. Desalniettemin, geeft deze validatie voldoende vertrouwen om het opslibbingsmodel van Van Dobben (2022) toe passen in deze studie.

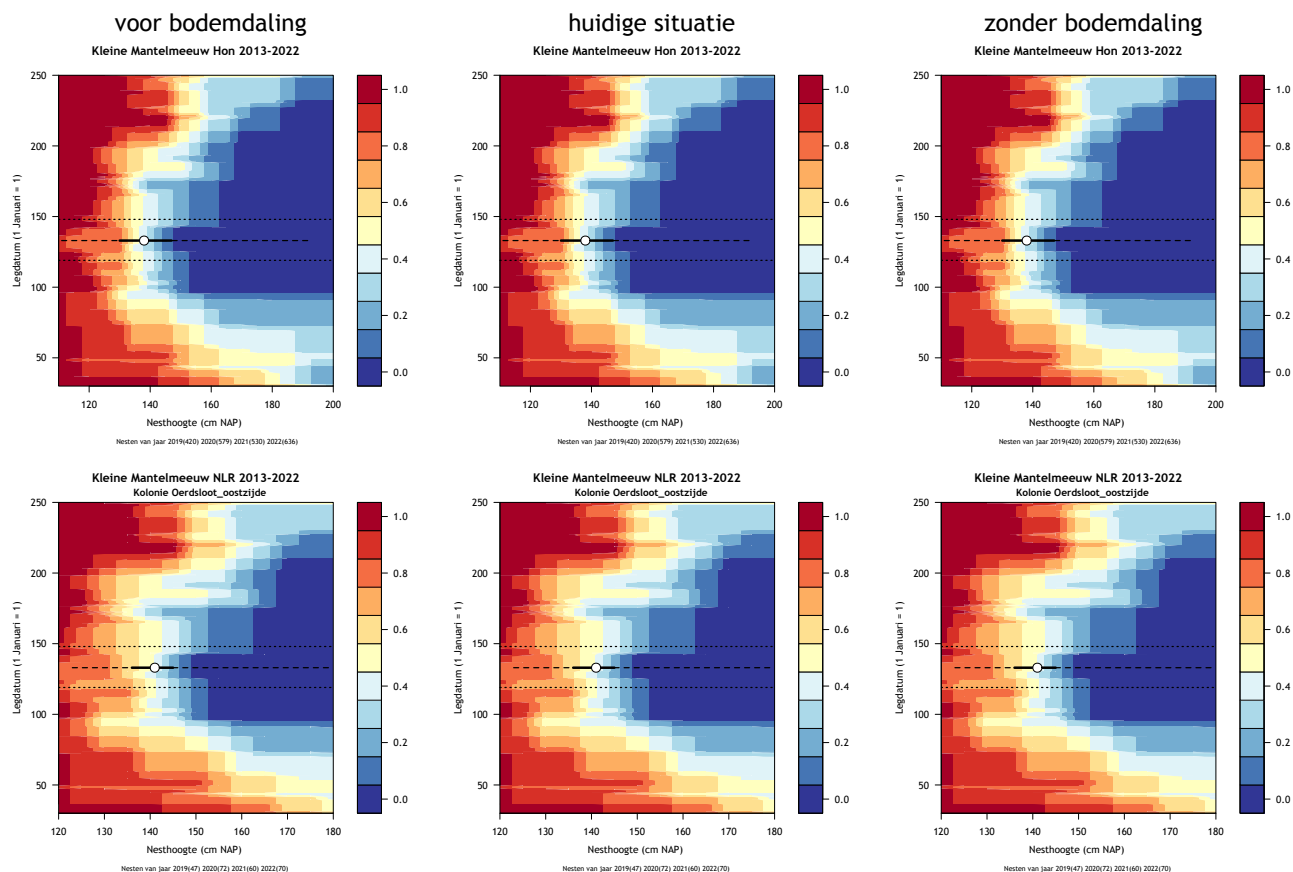


Bijlage II Overstromingskans berekend met van Dobben model voor alle kolonies

Eider

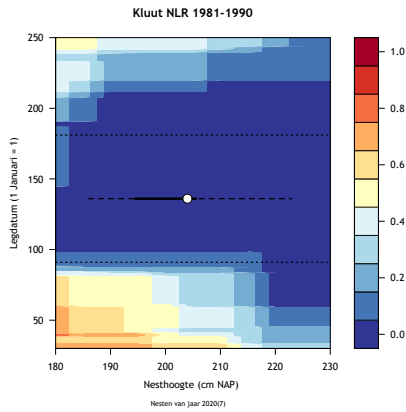


Kleine Mantelmeeuw

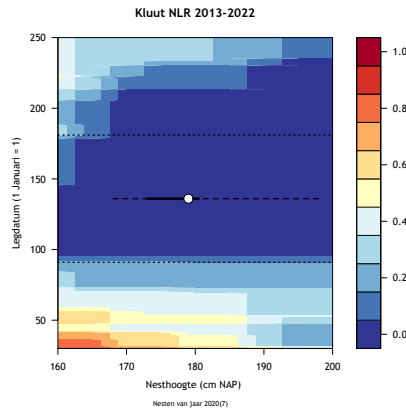


Kluut

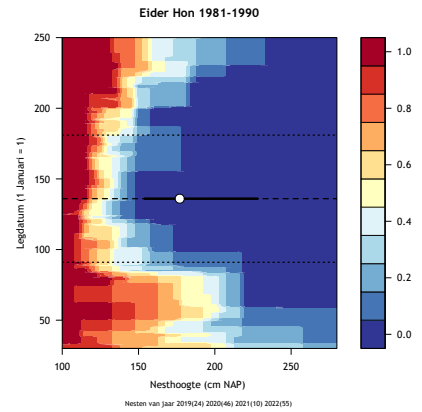
voor bodemdaling



huidige situatie

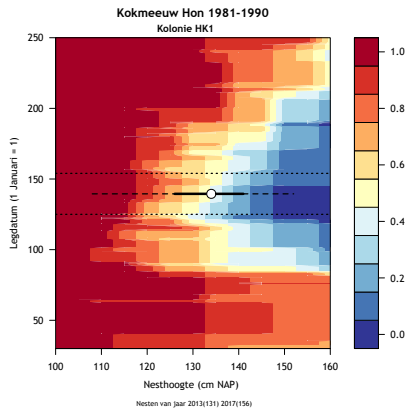


zonder bodemdaling

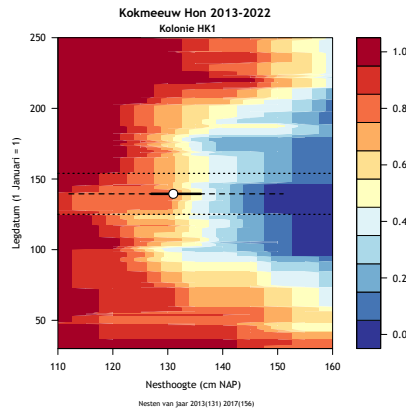


Kokmeeuw

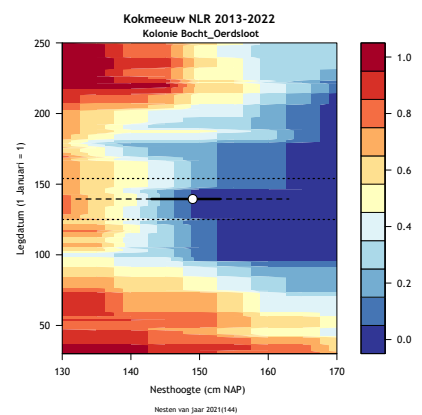
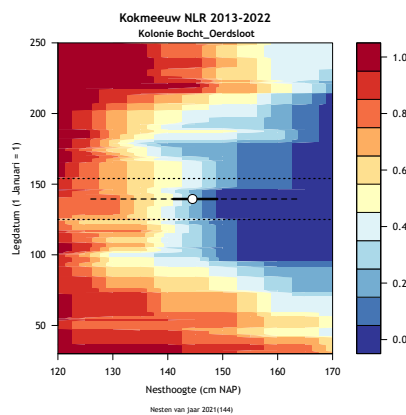
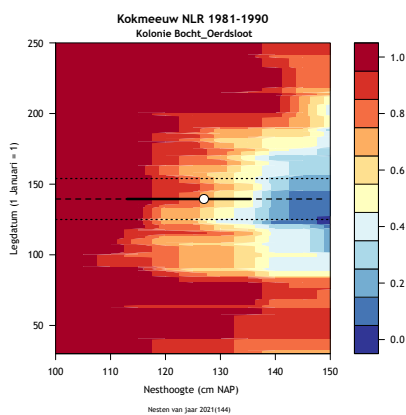
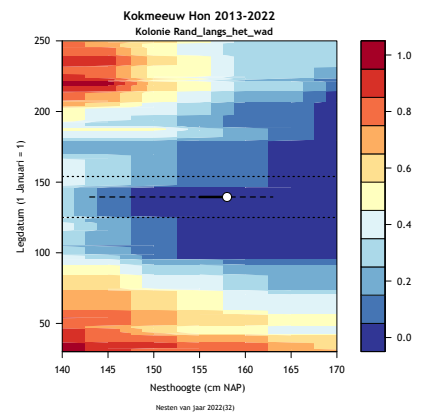
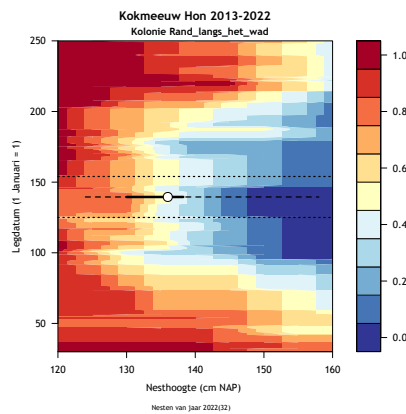
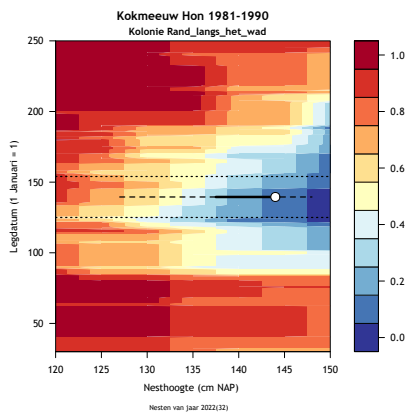
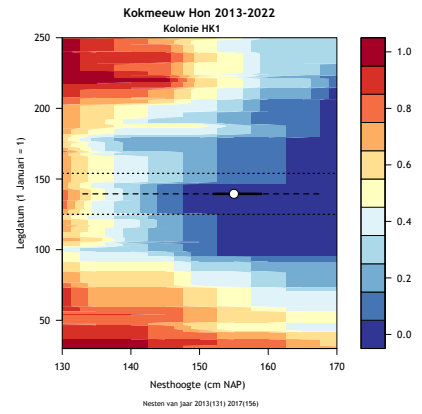
voor bodemdaling



huidige situatie

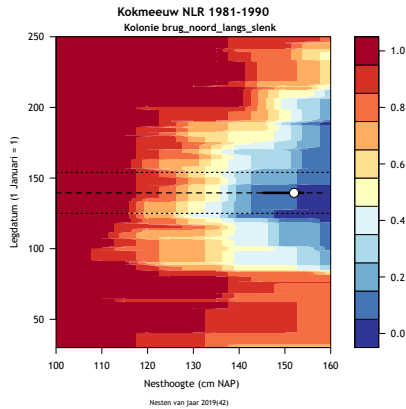


zonder bodemdaling

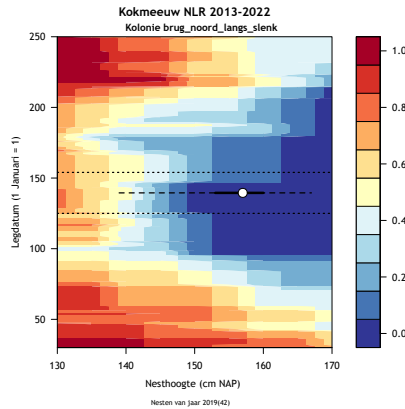


Kokmeeuw

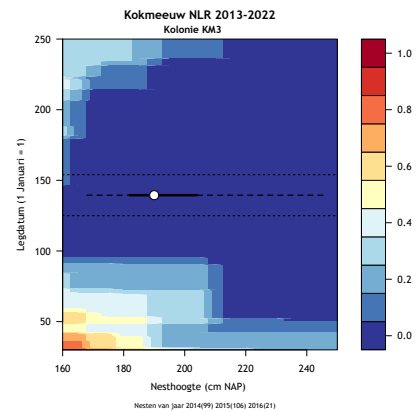
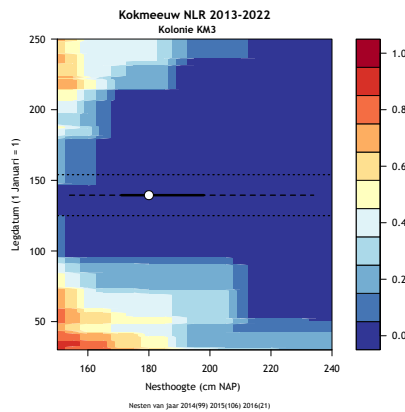
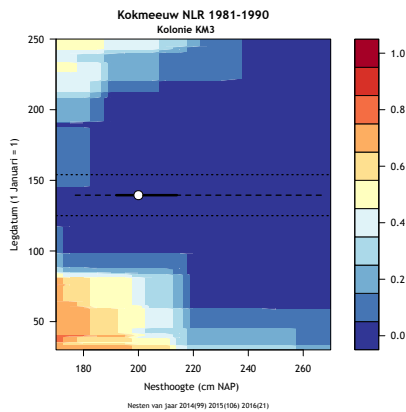
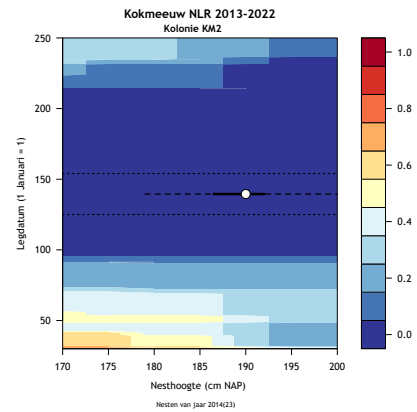
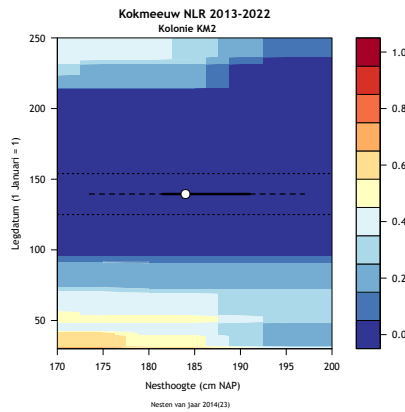
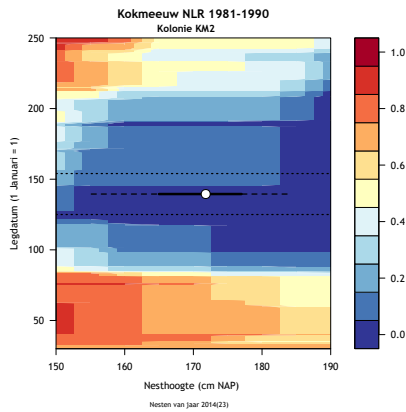
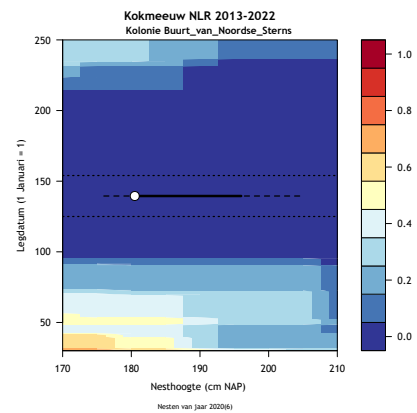
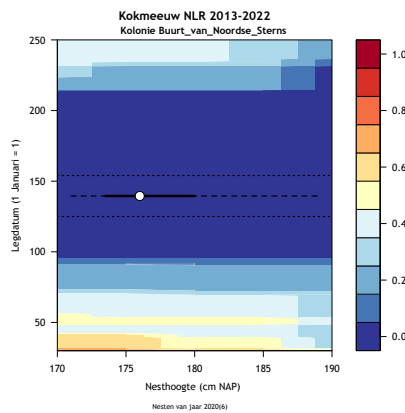
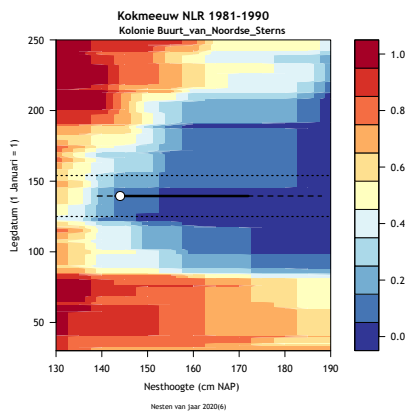
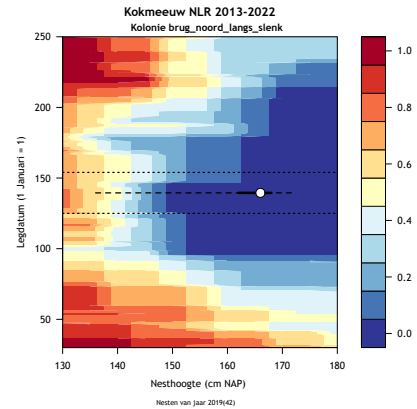
voor bodemdaling

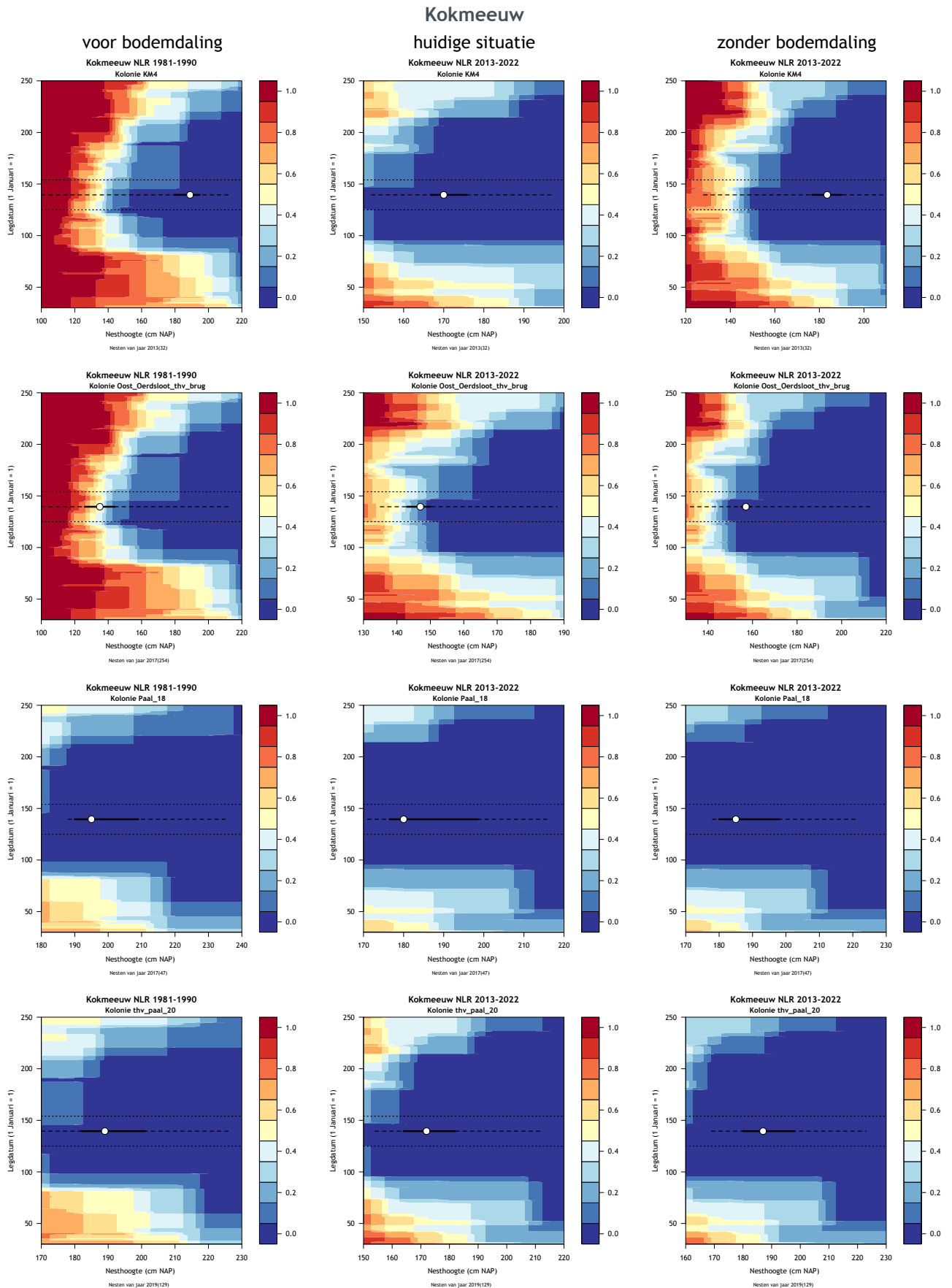


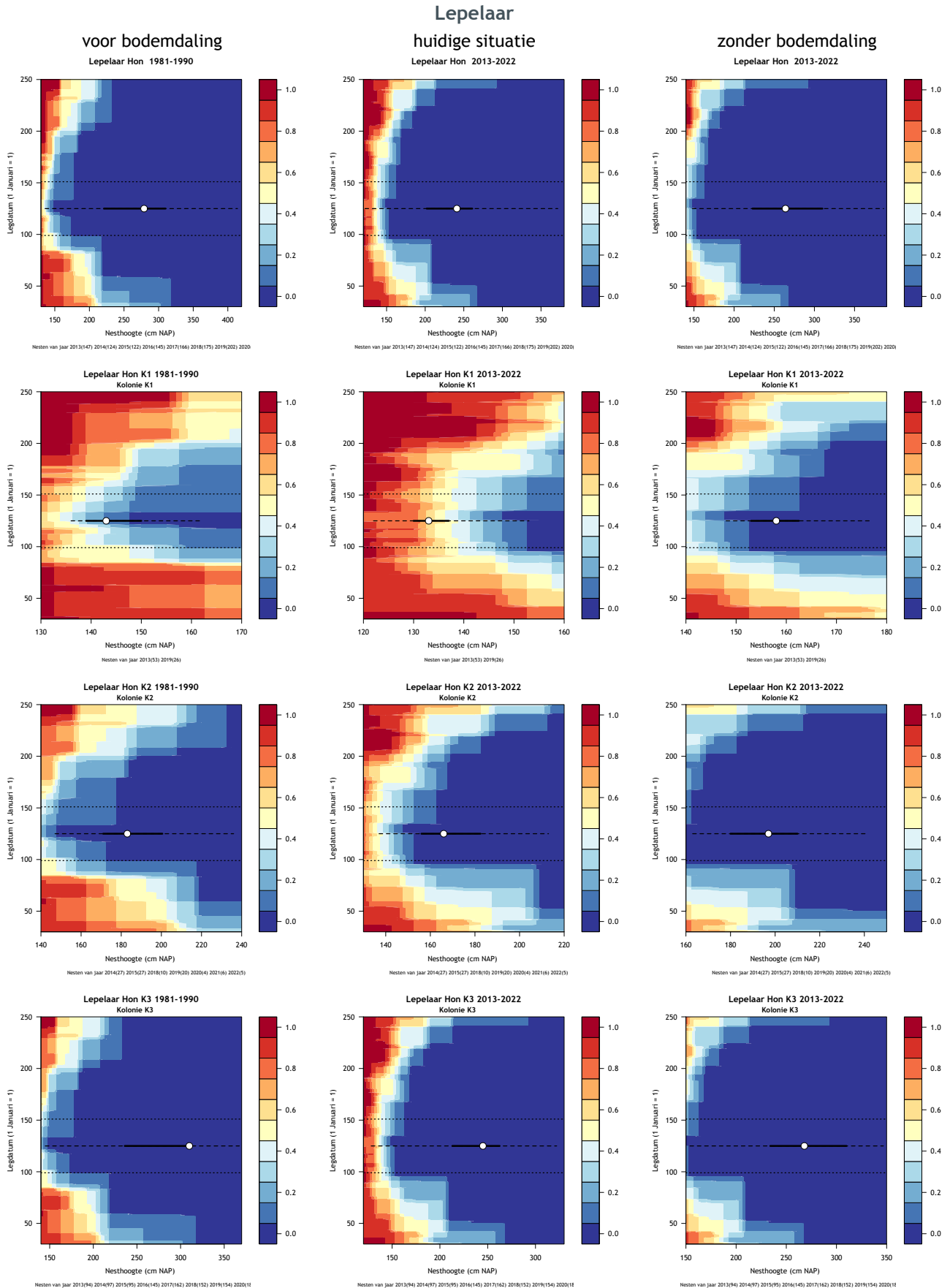
huidige situatie



zonder bodemdaling

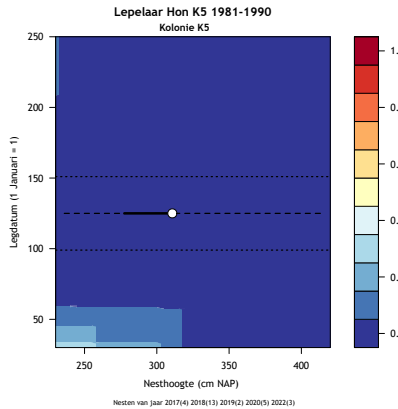




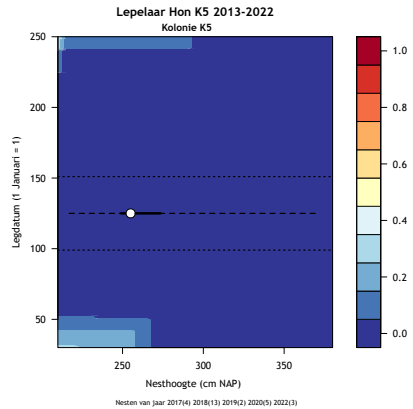


Lepelaar

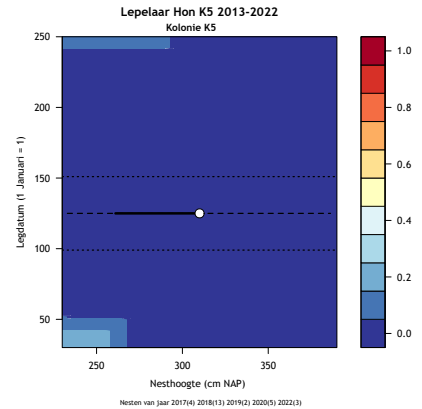
voor bodemdaling



huidige situatie

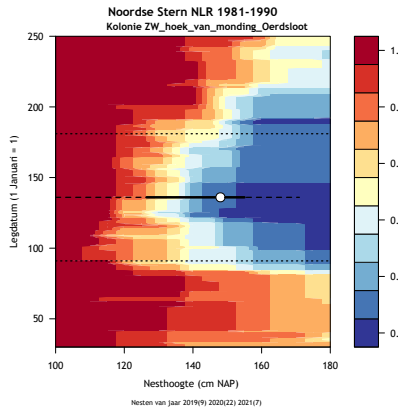


zonder bodemdaling

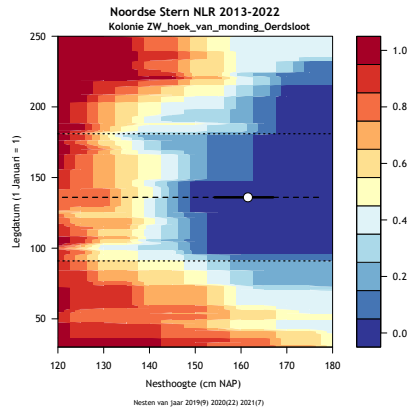


Noordse Stern

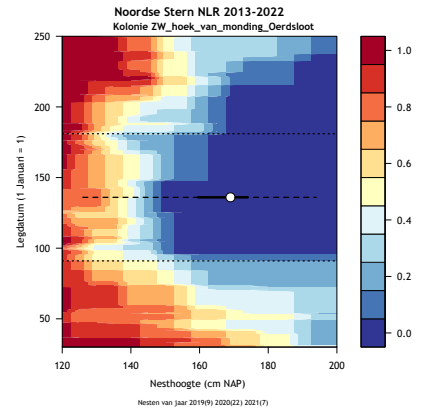
voor bodemdaling



huidige situatie

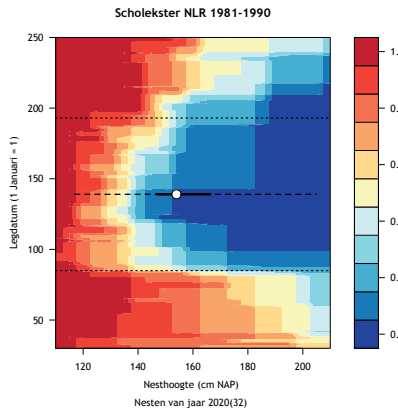


zonder bodemdaling

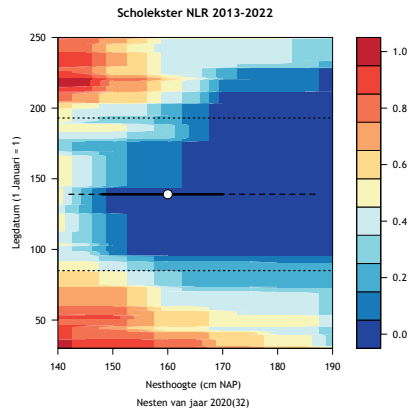


Scholekster

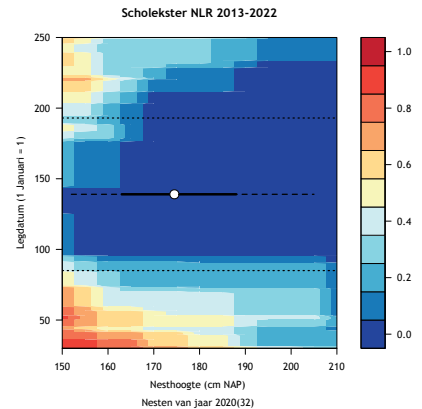
voor bodemdaling



huidige situatie



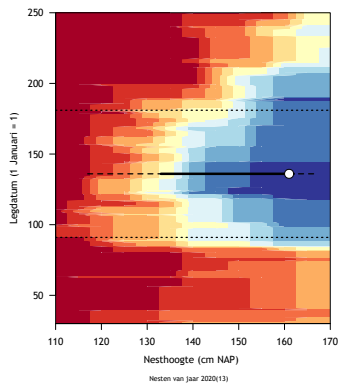
zonder bodemdaling



Stormmeeuw

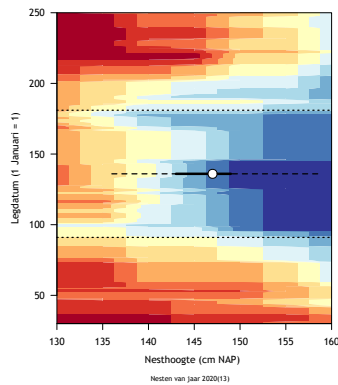
voor bodemdaling

Stormmeeuw NLR 1981-1990



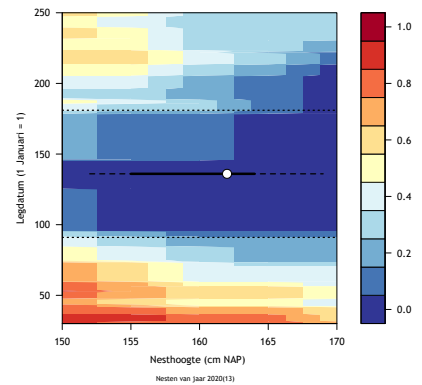
huidige situatie

Stormmeeuw NLR 2013-2022



zonder bodemdaling

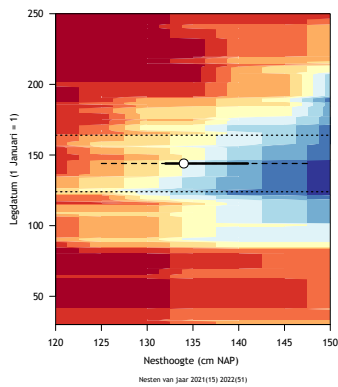
Stormmeeuw NLR 2013-2022



Visdief

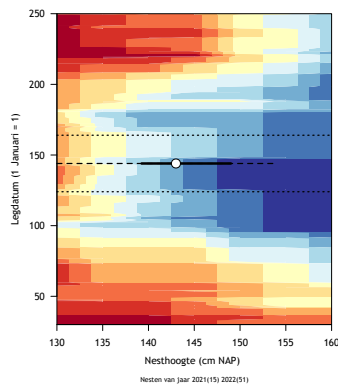
voor bodemdaling

Visdief Hon 1981-1990



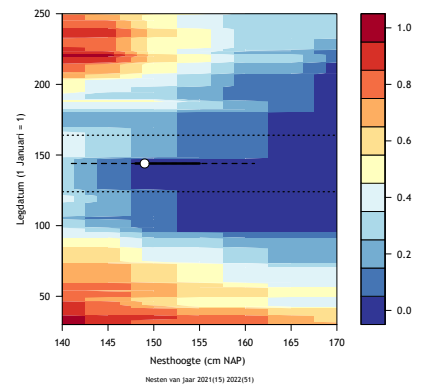
huidige situatie

Visdief Hon 2013-2022



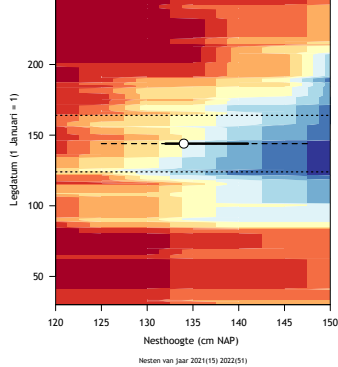
zonder bodemdaling

Visdief Hon 2013-2022



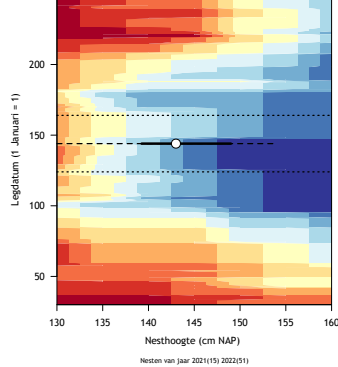
Visdief Hon 1981-1990

Kolonie Rand_langs_het_wad



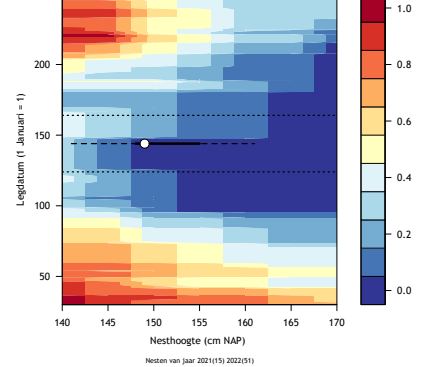
Visdief Hon 2013-2022

Kolonie Rand_langs_het_wad

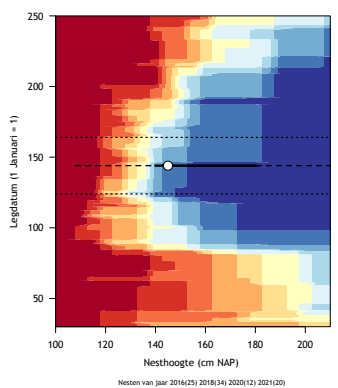


Visdief Hon 2013-2022

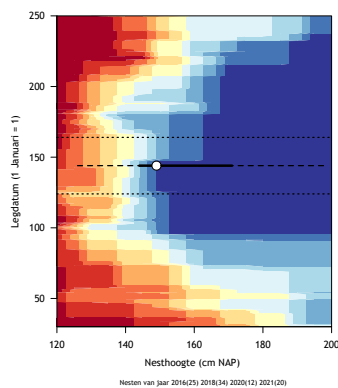
Kolonie Rand_langs_het_wad



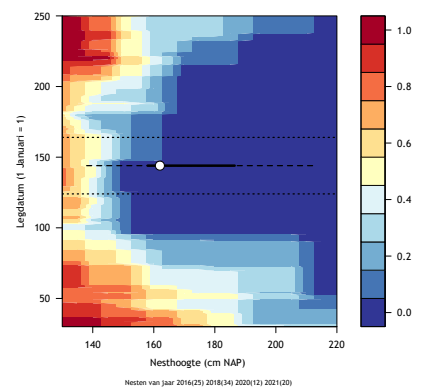
Visdief NLR 1981-1990



Visdief NLR 2013-2022

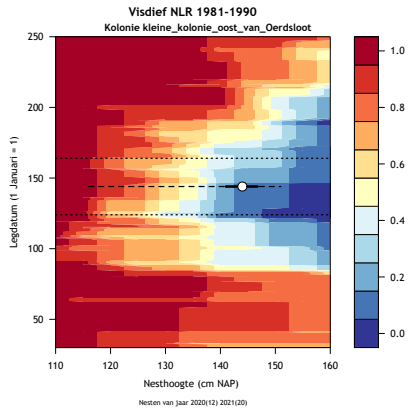


Visdief NLR 2013-2022

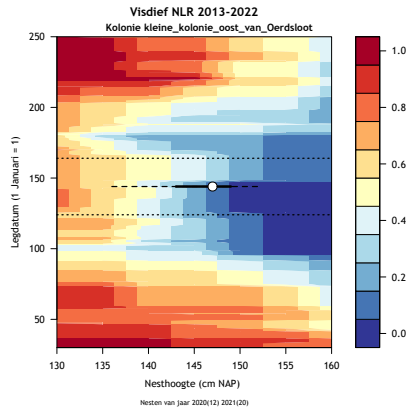


Visdief

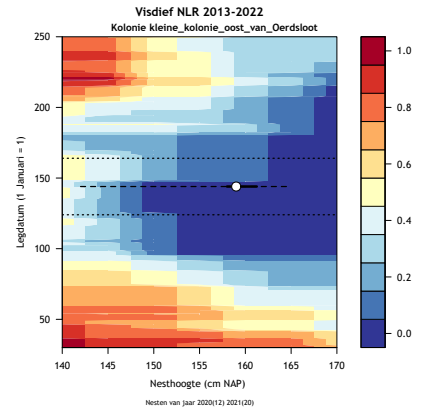
voor bodemdaling



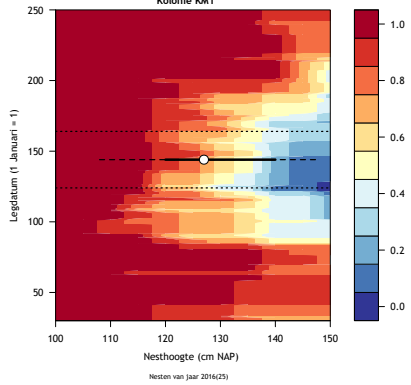
huidige situatie



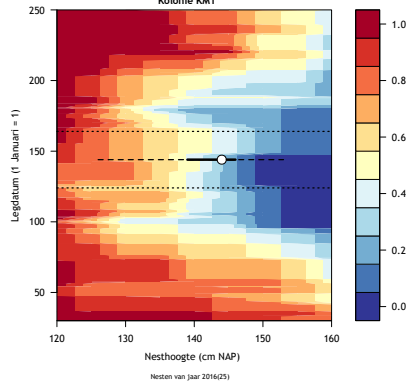
zonder bodemdaling



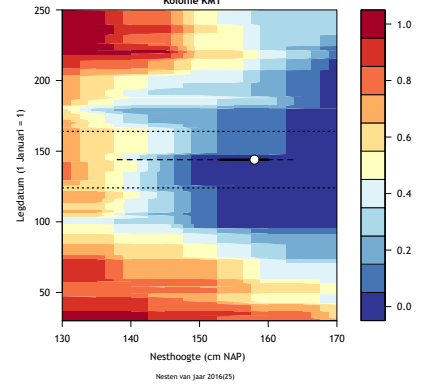
Visdief NLR 1981-1990



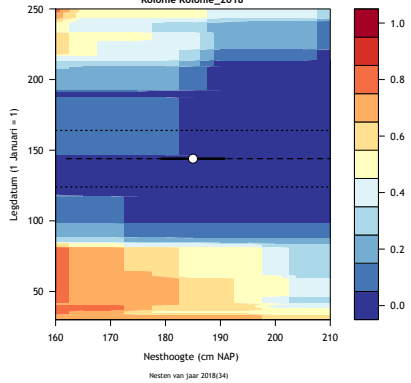
Visdief NLR 2013-2022



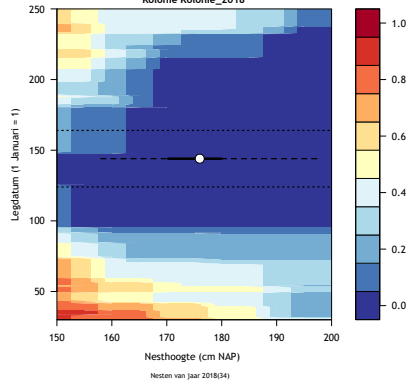
Visdief NLR 2013-2022



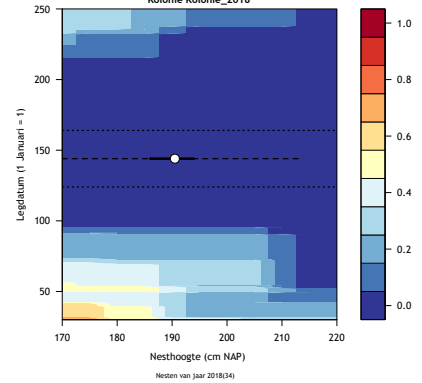
Visdief NLR 1981-1990



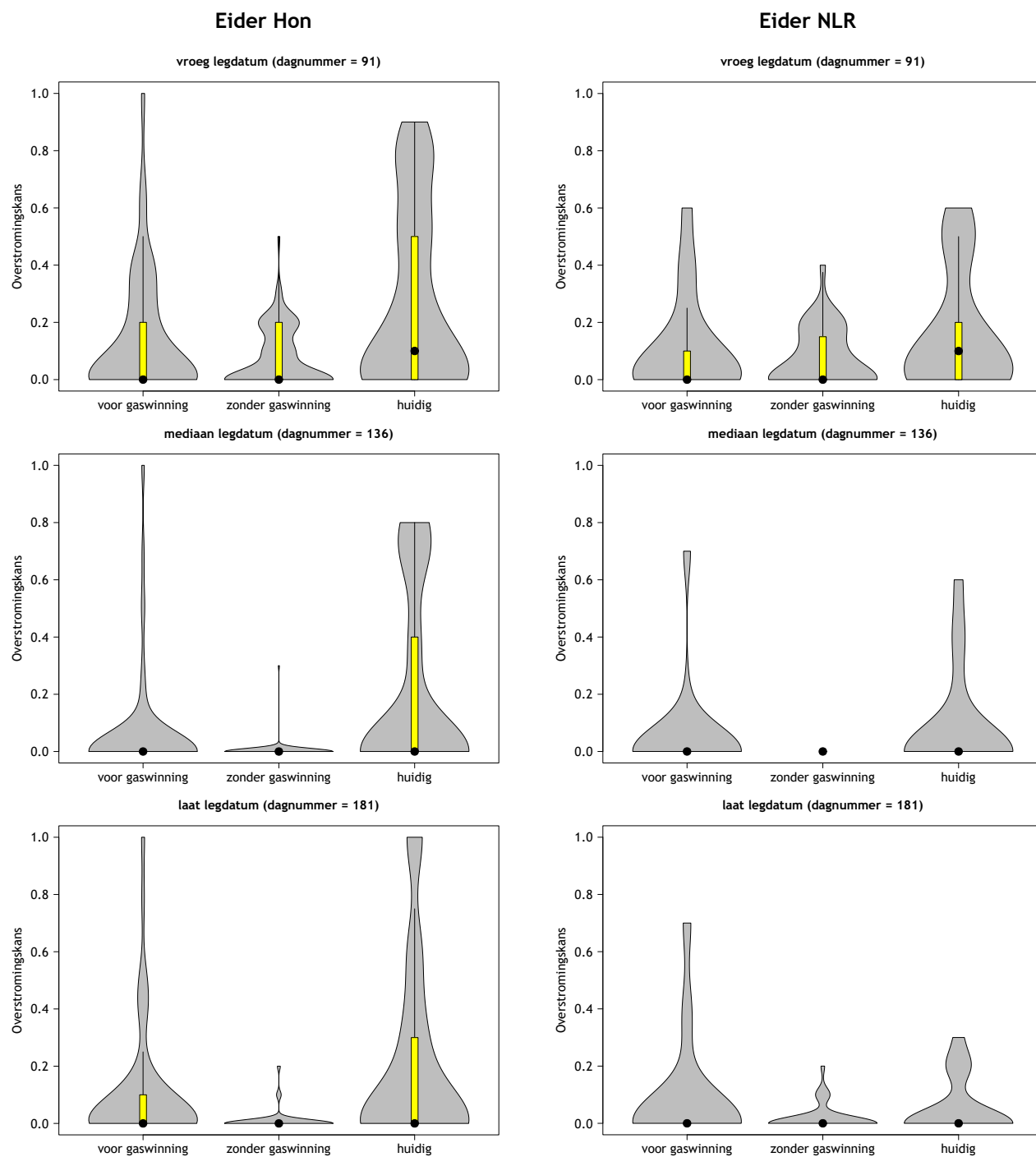
Visdief NLR 2013-2022



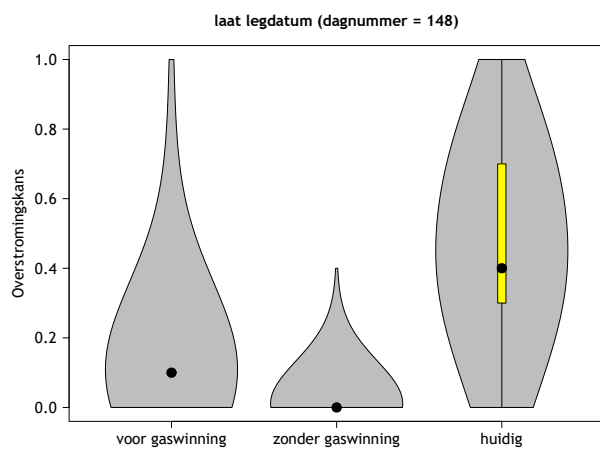
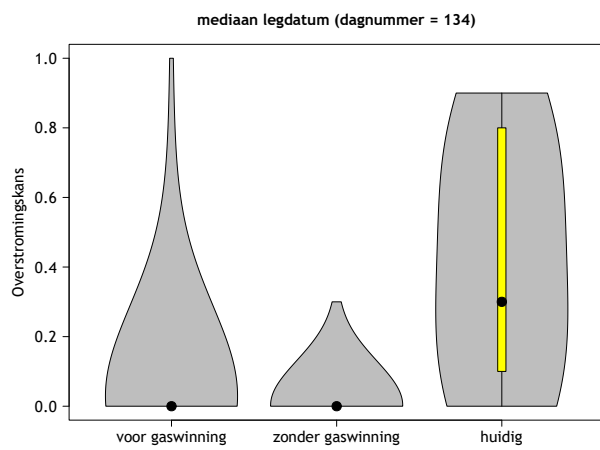
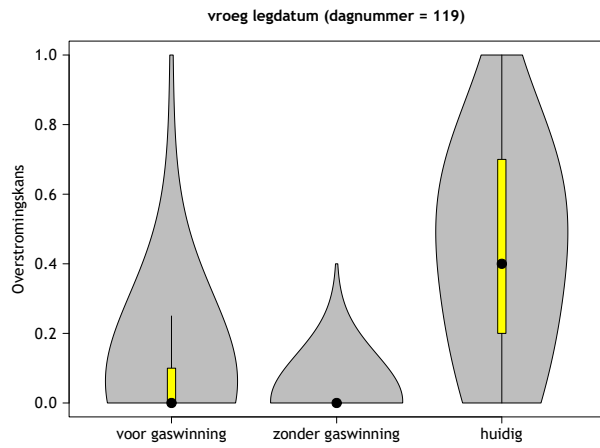
Visdief NLR 2013-2022



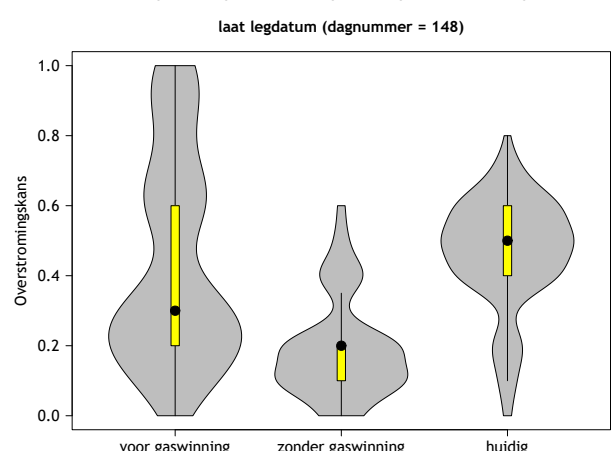
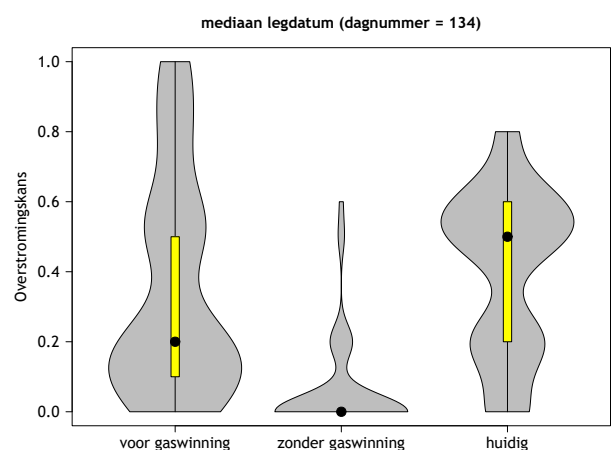
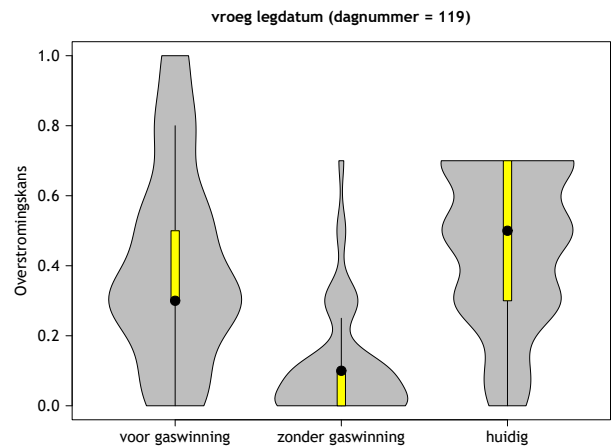
Bijlage III Overstromingskans berekend met van Dobben model voor alle kolonies

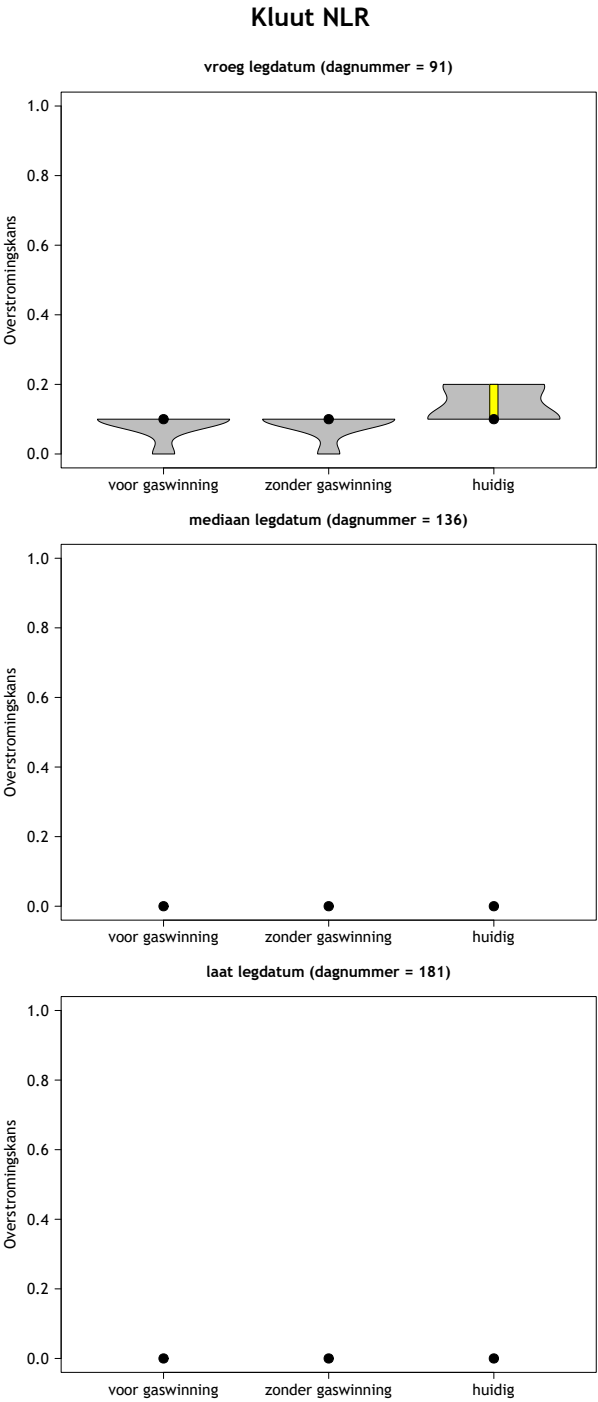


Kleine Mantelmeeuw Hon



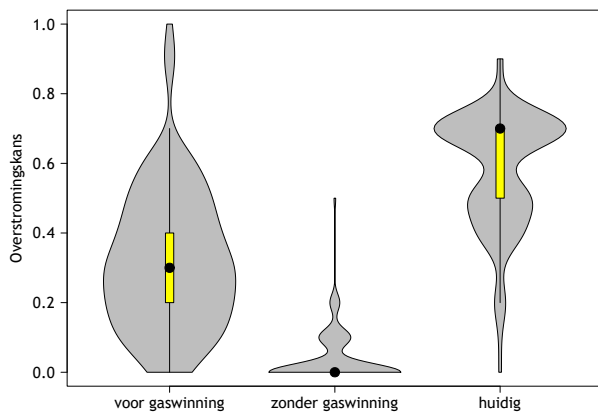
Kleine Mantelmeeuw NLR



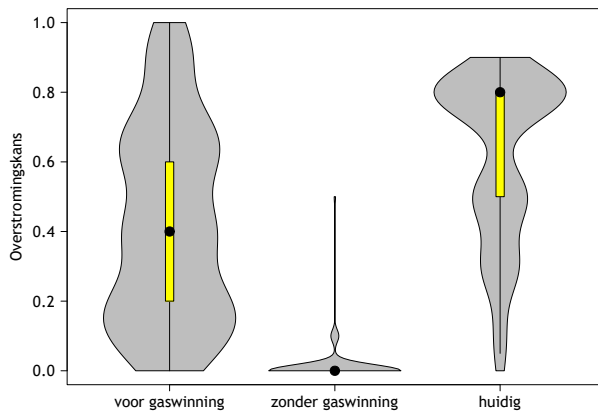


Kokmeeuw Hon

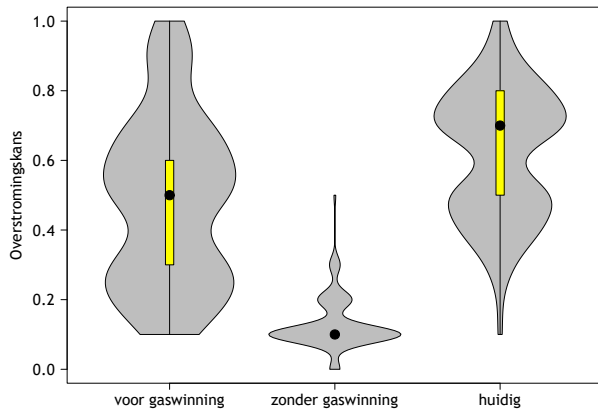
vroeg legdatum (dagnummer = 125)



mediaan legdatum (dagnummer = 140)

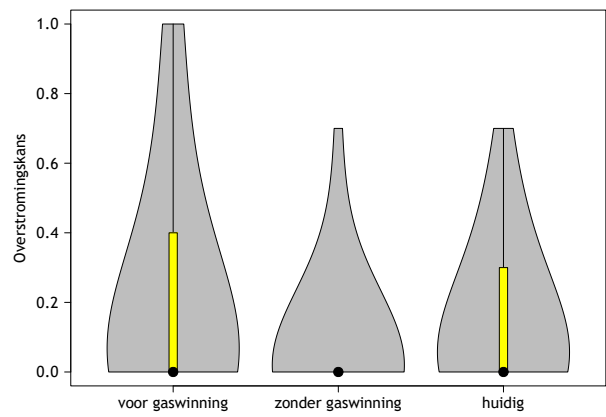


laat legdatum (dagnummer = 154)

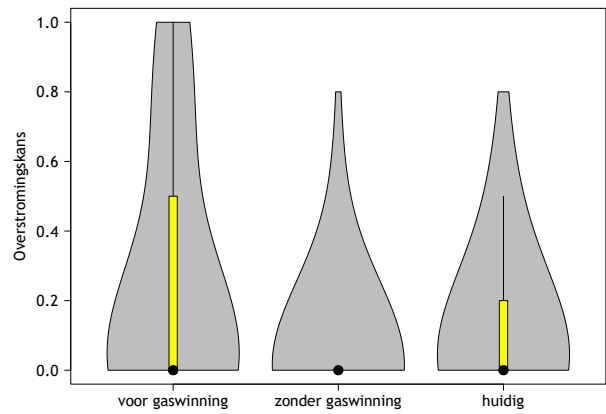


Kokmeeuw NLR

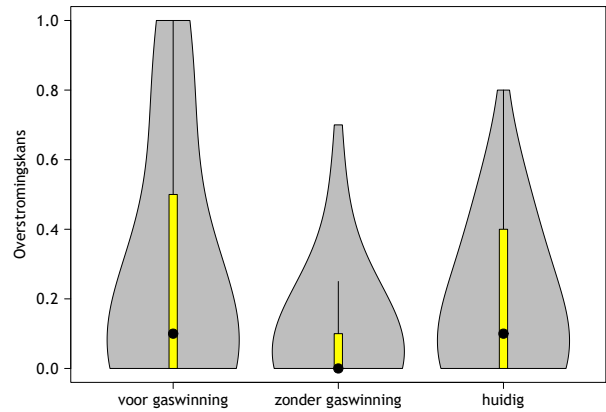
vroeg legdatum (dagnummer = 125)



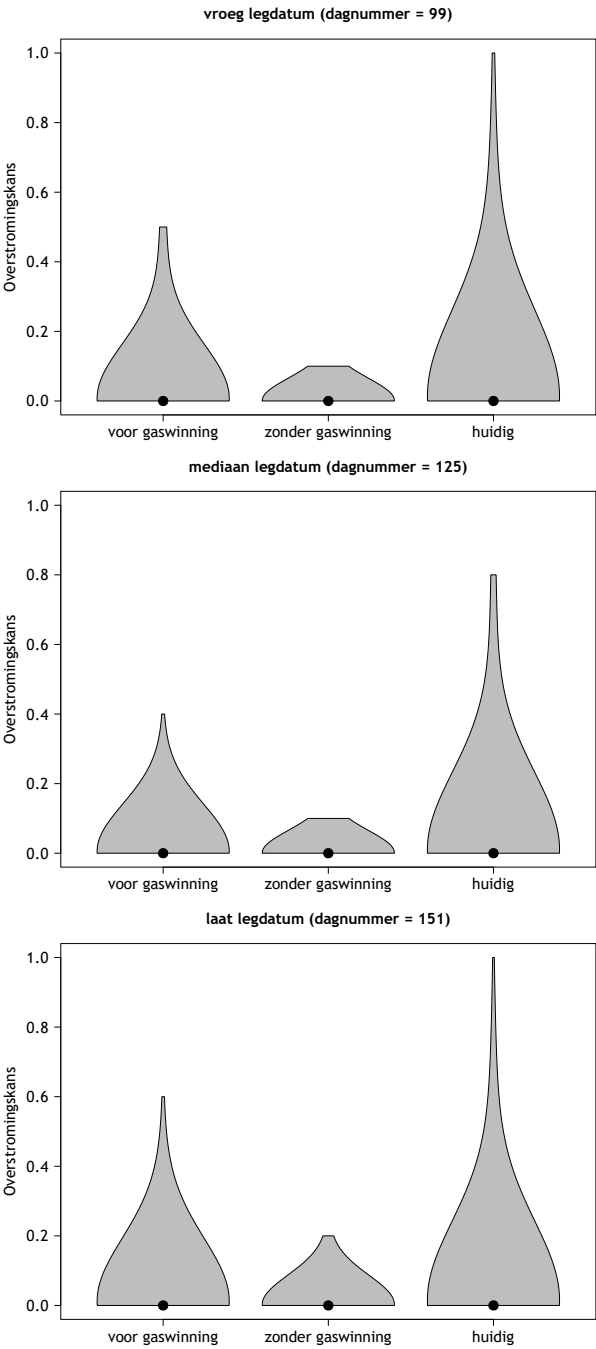
mediaan legdatum (dagnummer = 140)



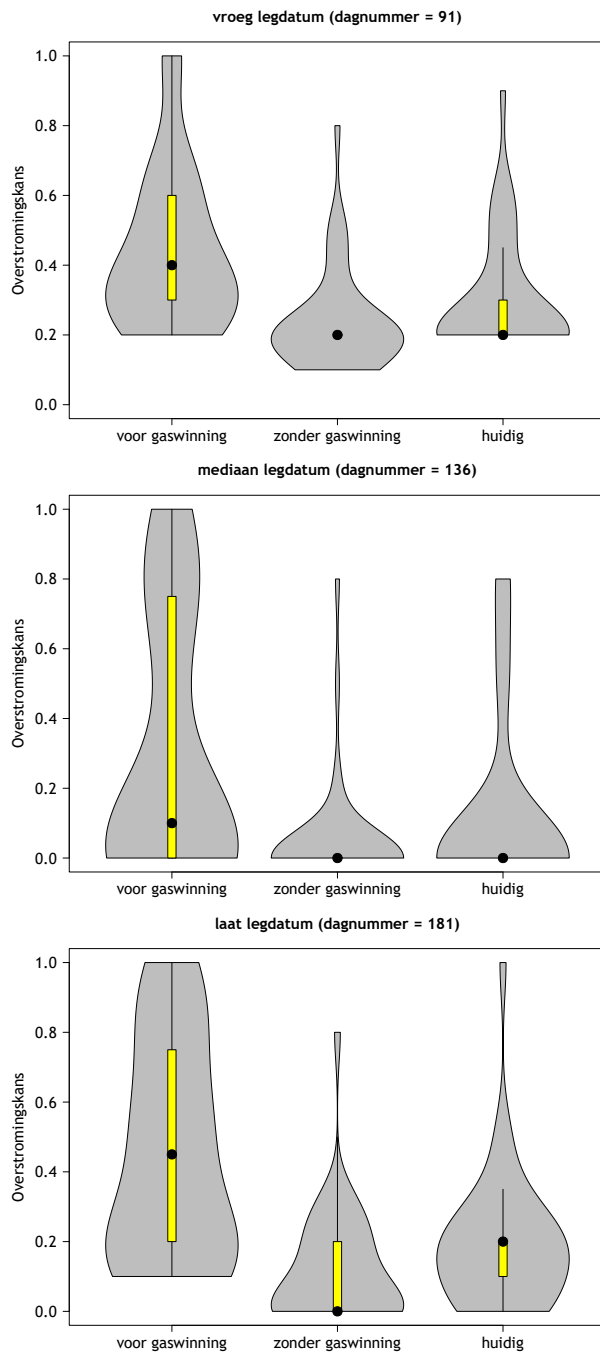
laat legdatum (dagnummer = 154)



Lepelaar Hon

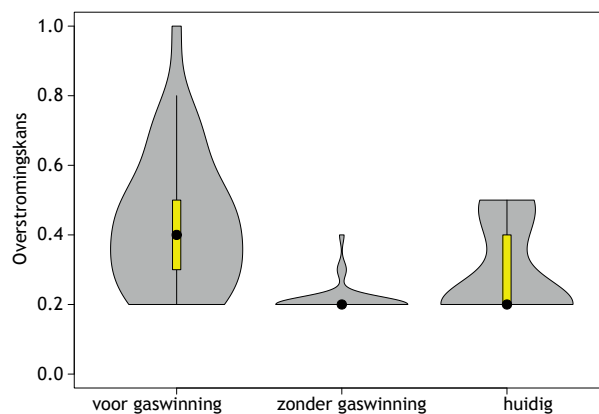


Noordse Stern NLR

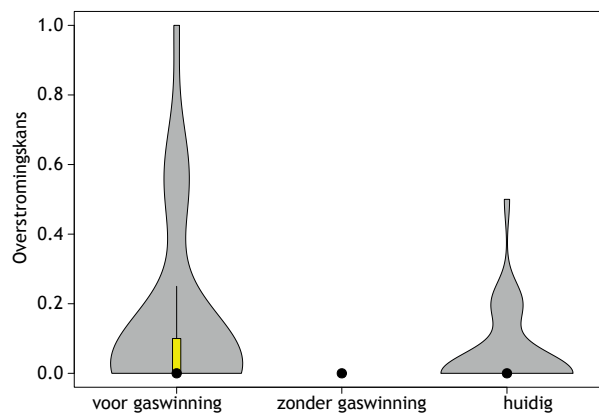


Scholekster NLR

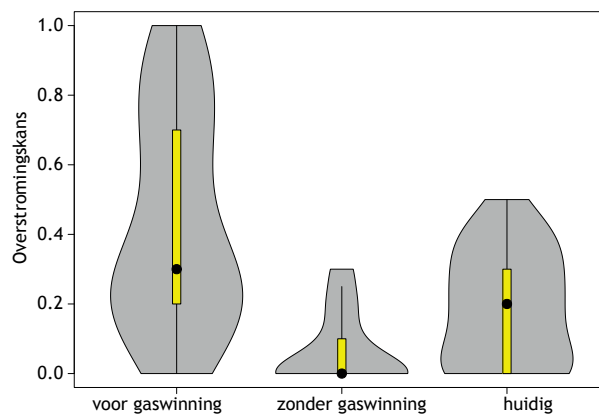
vroeg legdatum (dagnummer = 85)



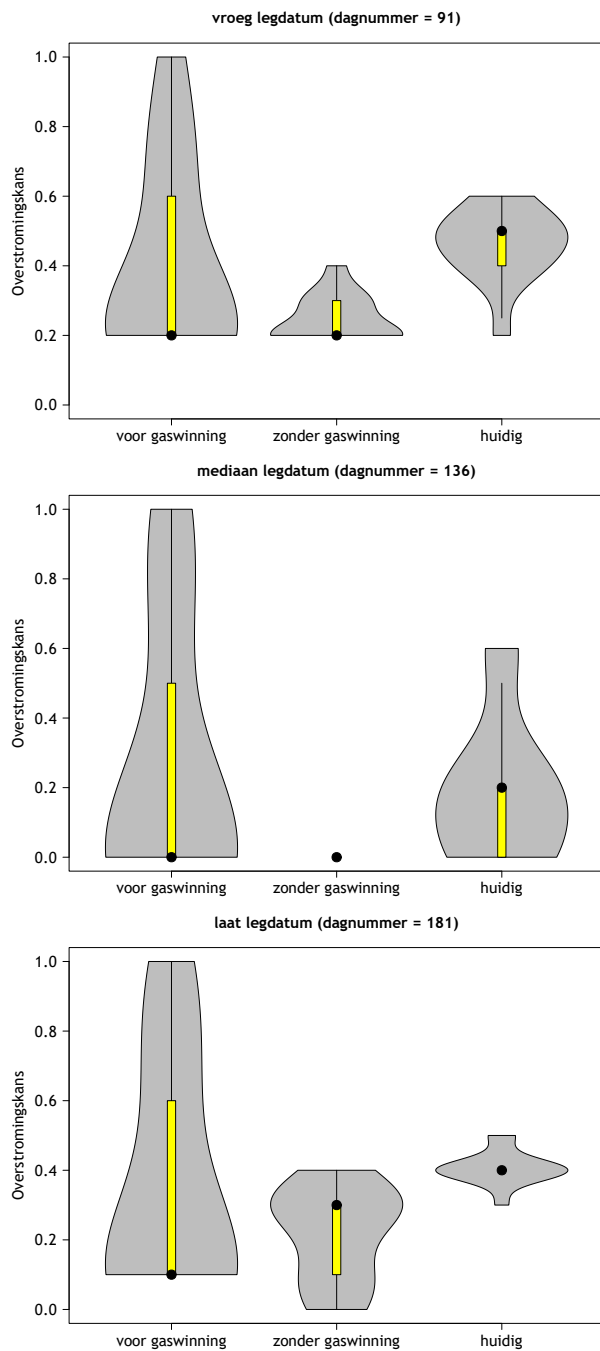
mediaan legdatum (dagnummer = 139)



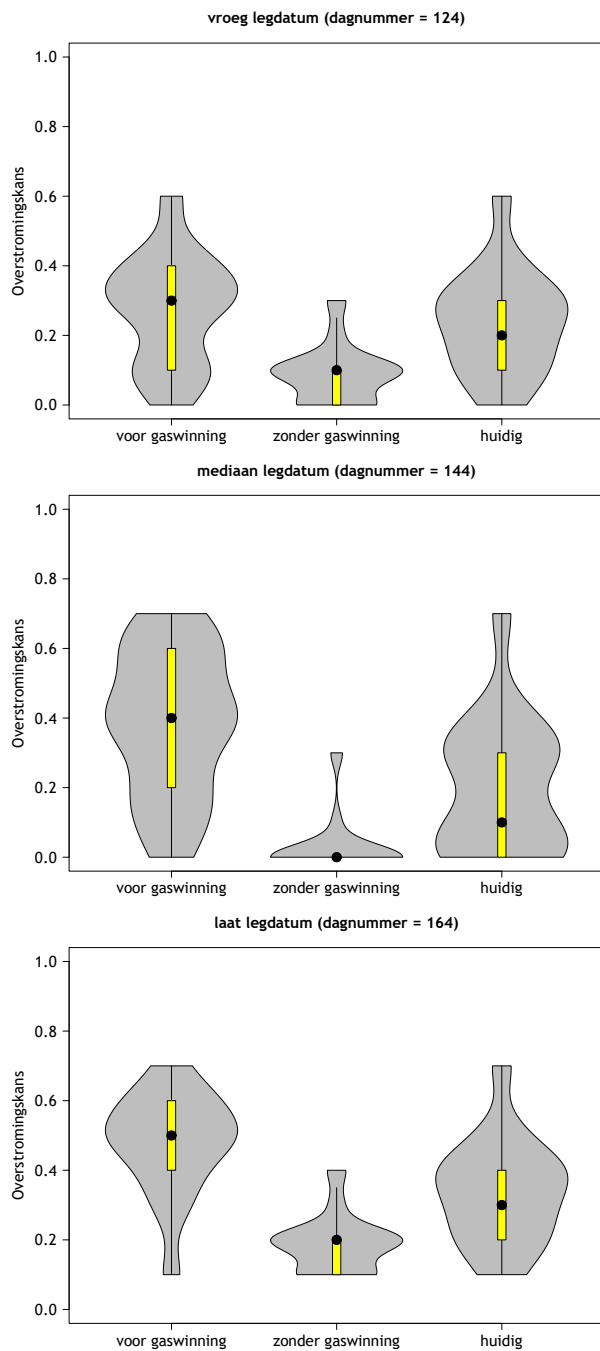
laat legdatum (dagnummer = 193)



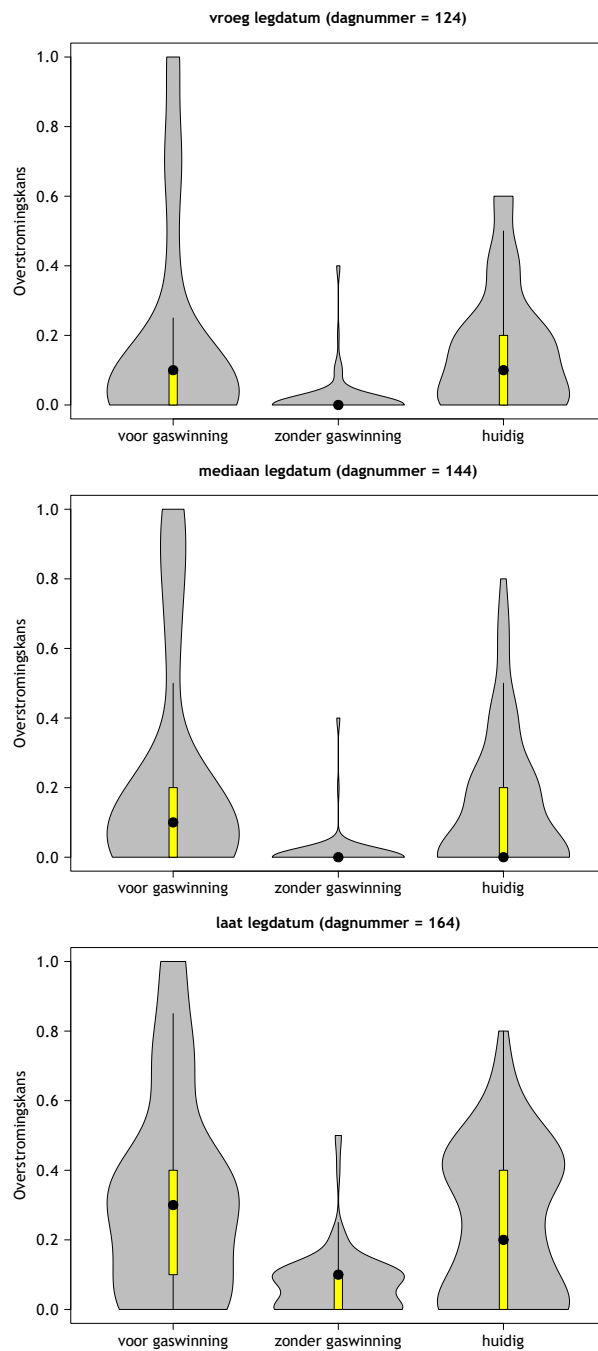
Stormmeeuw NLR



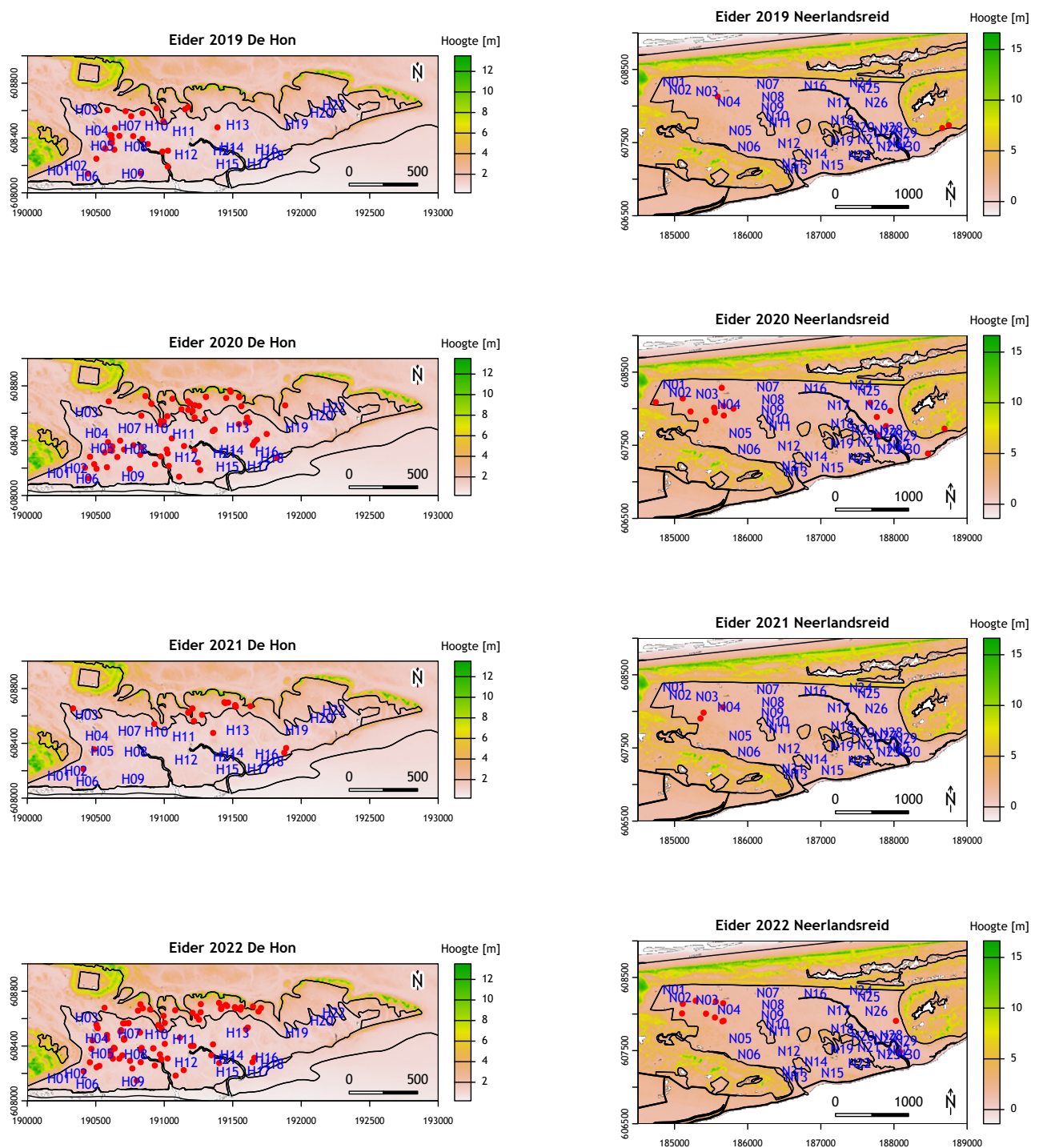
Visdief Hon

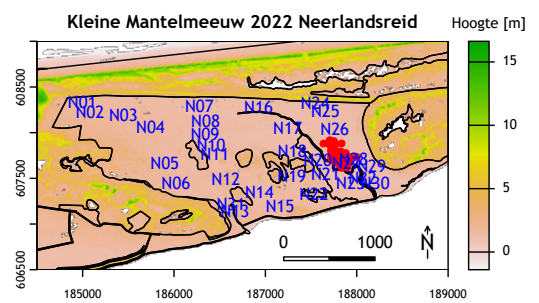
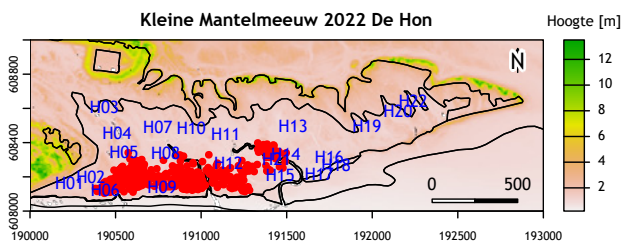
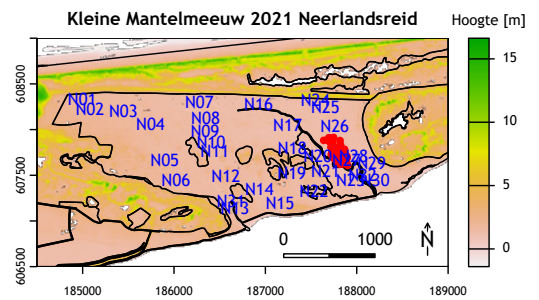
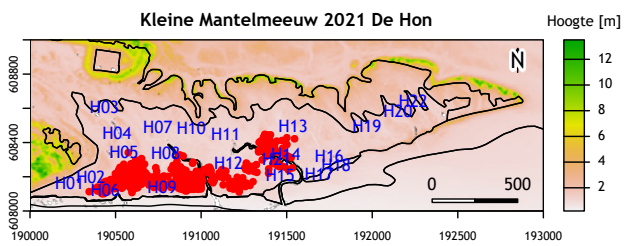
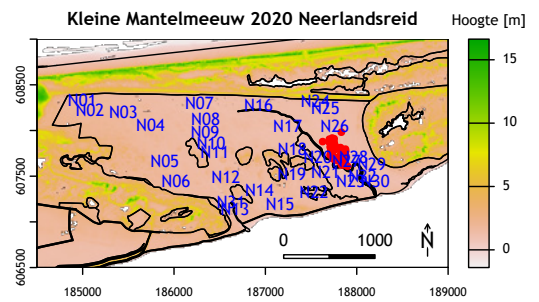
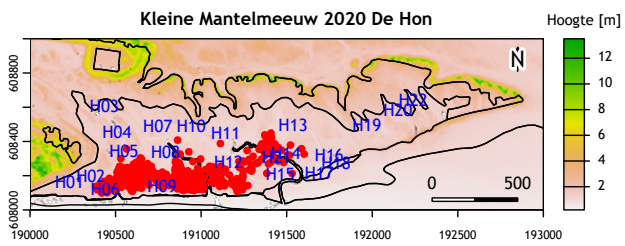
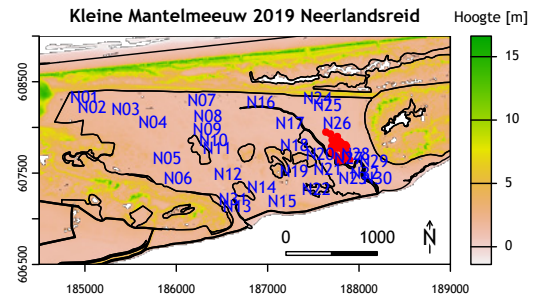
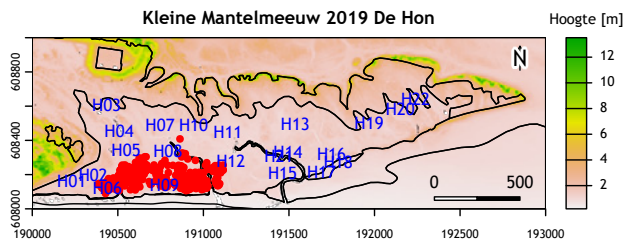


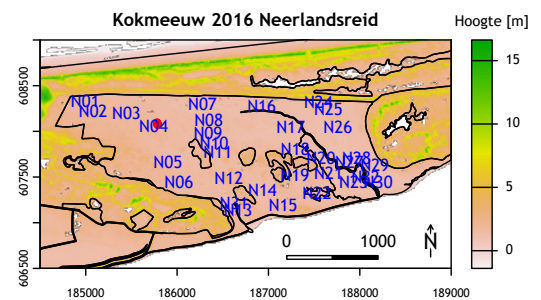
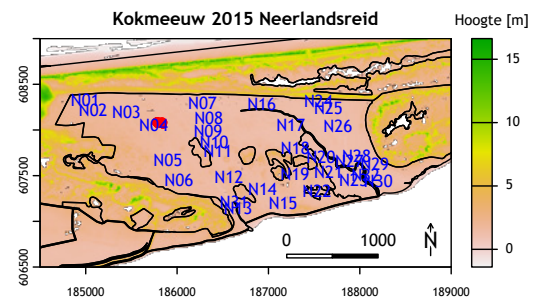
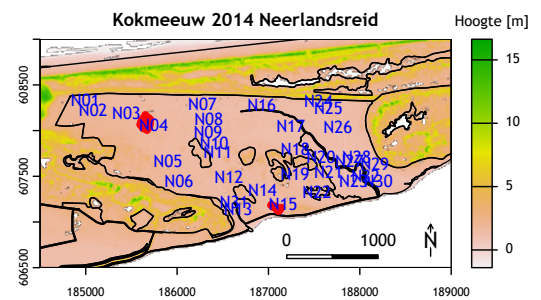
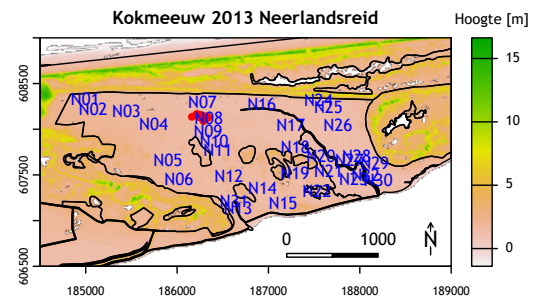
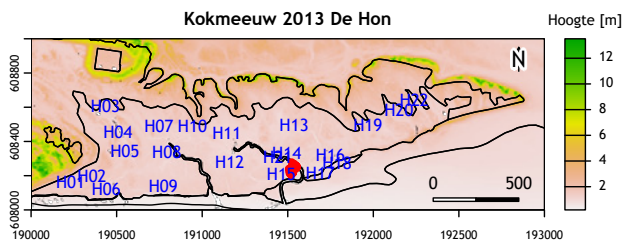
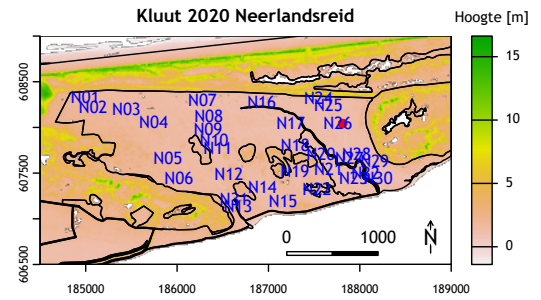
Visdief NLR

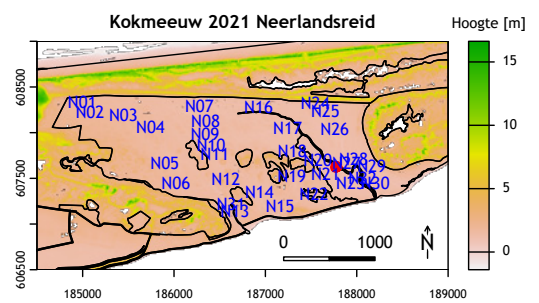
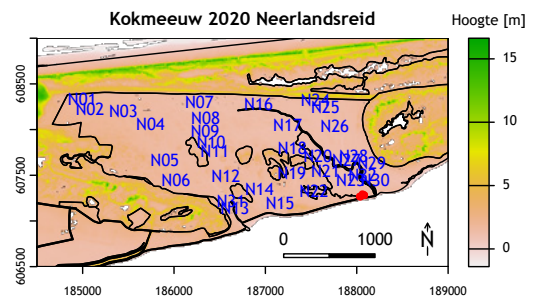
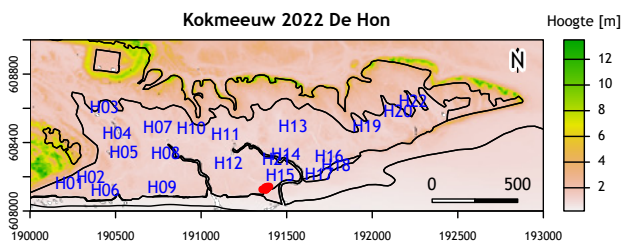
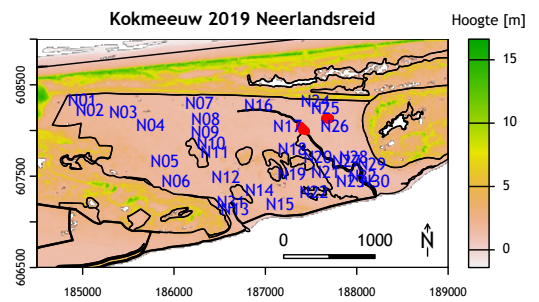
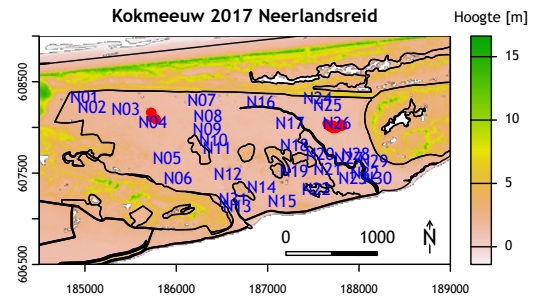
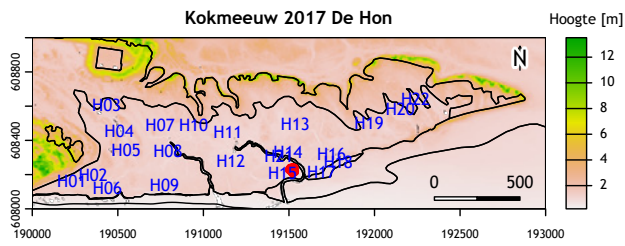


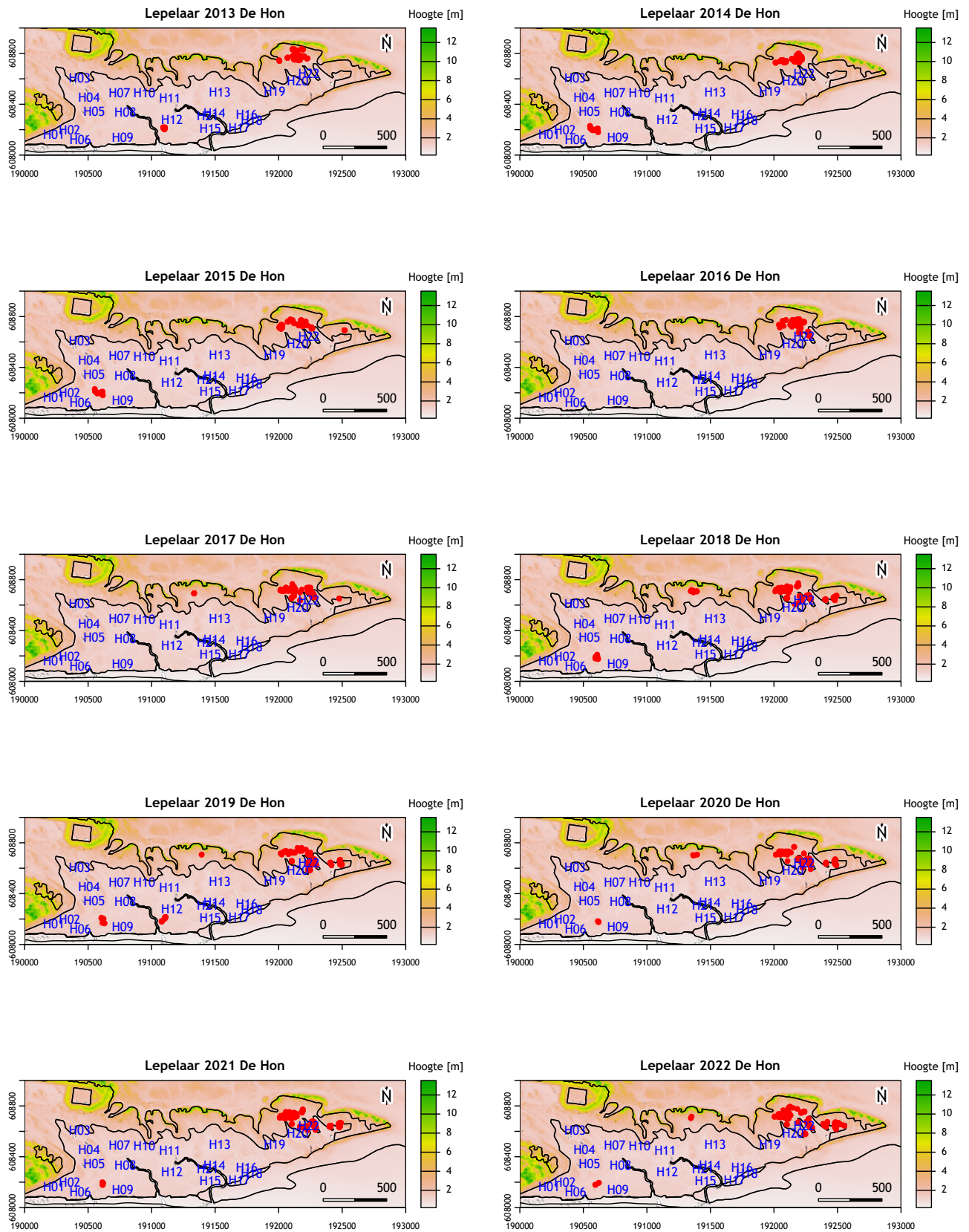
Bijlage IV Overzicht van nestlocaties

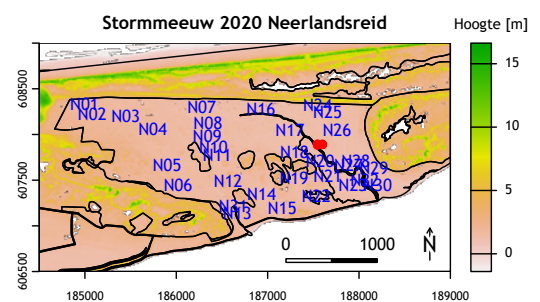
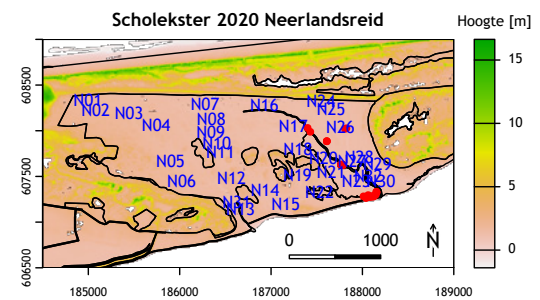
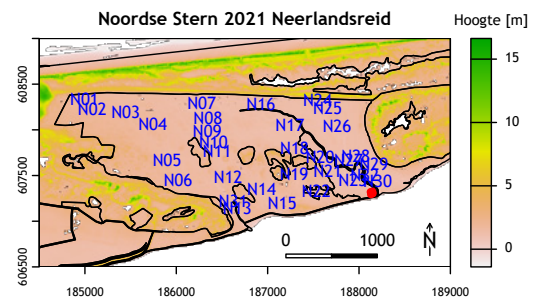
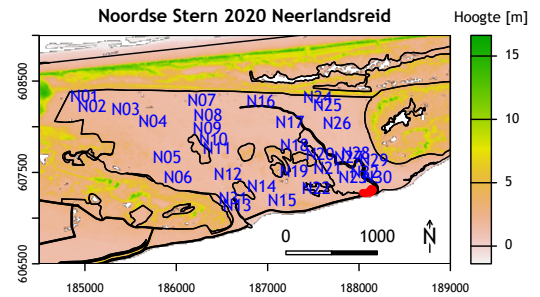
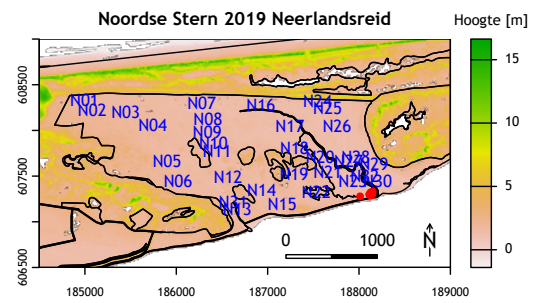


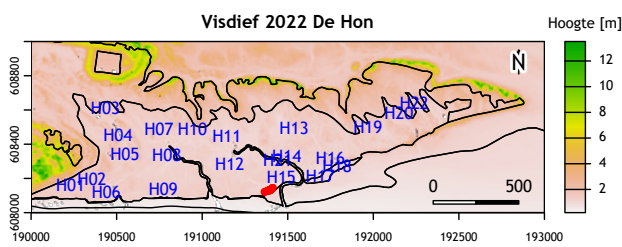
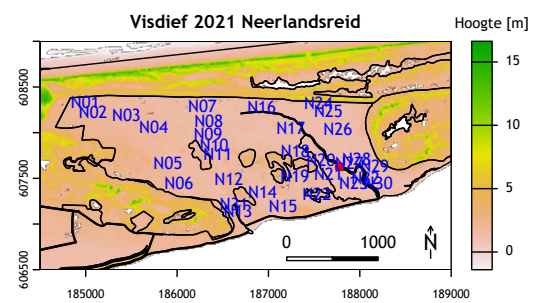
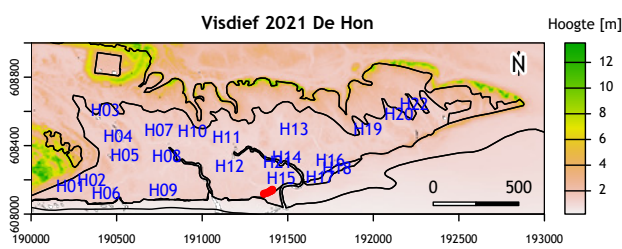
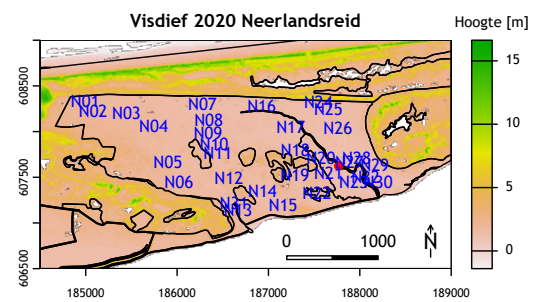
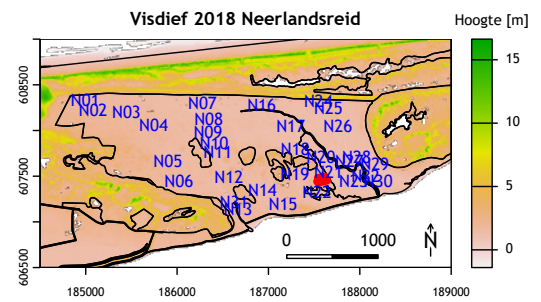
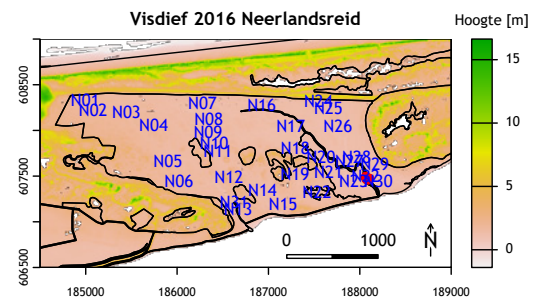














In opdracht van:



NAM

Sovon Vogelonderzoek Nederland

Postbus 6521
6503 GA Nijmegen
Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen
T (024) 7 410 410

E info@sovon.nl
I www.sovon.nl

