



**Onderzoek naar de relatie  
tussen bodemdaling en  
overstromingsrisico van  
kwelderbroedvogels op  
Ameland**

Bruno J. Ens, Chris-  
tian Kampichler, Kees  
Koffijberg, Johan Krol  
& Kees Oosterbeek

Sovon-rapport 2014/42







# Onderzoek naar de relatie tussen bodemdaling en overstromingsrisico van kwelderbroedvogels op Ameland

Bruno J. Ens<sup>1</sup>, Christian Kampichler<sup>1</sup>, Kees Koffijberg<sup>1</sup>, Johan Krol<sup>2</sup>  
(Natuurcentrum Ameland) & Kees Oosterbeek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sovon Vogelonderzoek Nederland

<sup>2</sup> Natuurcentrum Ameland



Sovon-rapport 2014.042

Dit rapport is samengesteld in opdracht van de NAM



NAM Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

## Colofon

© Sovon 2014

Dit rapport is samengesteld in opdracht van Nederlandse Aardolie Maatschappij

*Illustratie omslag:* Johan Krol, Albert de Jong & Bruno Ens

*Wijze van citeren:* Ens B.J., Kampichler C., Koffijberg K., Krol J. & Oosterbeek K. 2014. Onderzoek naar de relatie tussen bodemdaling en overstromingsrisico van kwelderbroedvogels op Ameland. Sovon-rapport 2014/42. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

*ISSN-nummer:* 2212 5027

Sovon Vogelonderzoek Nederland

Toernooiveld 1

6525 ED Nijmegen

*e-mail:* [info@sovon.nl](mailto:info@sovon.nl)

*website:* [www.sovon.nl](http://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 van de Nederlandse Aardolie Maatschappij.

# Inhoud

Dankwoord	2
1. Samenvatting	3
2. Inleiding	4
3. Methode	5
3.1. Berekening overstromingsrisico	5
3.1.1. Overstromingsrisico	5
3.1.2. Beschikbare gegevens	6
3.1.3. Vergelijking tussen gemeten bodemhoogtes en digitale hoogtekarten	10
3.1.4. Opslibbing	11
3.1.5. Projectie van overstromingskans naar verleden en toekomst	11
4. Resultaten	13
4.1. Analyse overstromingsrisico van verspreid broedende broedvogels	13
4.2. Analyse overstromingsrisico van kolonievogels	14
4.3. Analyse overstromingsrisico Scholekster	16
5. Discussie	17
6. Conclusies	18
7. Aanbevelingen	19
Literatuur	20
Appendices	21
Appendix A. Territoriumkaarten voor Neerlands Reid en Hon in 2012	21
Appendix B. Onderzoek naar correctie van hoogtekarten	27
Appendix C. Koloniebroeders Neerlands Reid	31

---

## Dankwoord

Fred Hustings redigeerde de tekst. John van Betteray verzorgde de layout. Wij danken de Maatschappij tot exploitatie van onroerende goederen op het oostende, Oerd en Neerlands Reid B.V. voor toestemming voor onderzoek op het Neerlands Reid.

# 1. Samenvatting

Sinds 1986 wordt door de NAM gas gewonnen uit het gasveld onder de oostpunt van Ameland. Deze gaswinning leidt tot bodemdaling, die op de kwelder niet overal wordt gecompenseerd door opslibbing. Voor vogels die op de kwelder broeden, kan dit tot een verhoogd risico op overstroming van de nesten leiden tijdens het broedseizoen.

Het onderzoek, waarvan in deze rapportage verslag wordt gedaan, beoogde drie vragen te beantwoorden:

1. Hoe is het voorkomen van verspreid broedende kwelderbroedvogels ten opzichte van het overstromingsrisico?
2. Lopen kolonies van Lepelaar, Visdief en Kokmeeuw op de kwelder van Ameland (Nieuwlands Reid en Hon) onder invloed van bodemdaling meer risico op overstroming dan kolonies op vergelijkbare kwelders elders in de Waddenzee?
3. Neemt het broedsucces van de Scholekster af als gevolg van de toename van het overstromingsrisico door bodemdaling? Zo ja, hoe sterk is het effect?

Bij het beantwoorden van deze vragen kan op twee verschillende manieren een vergelijking gemaakt worden:

1. Door een vergelijking te maken met referentiegebieden zonder bodemdaling elders in de Waddenzee. Dit was mogelijk voor de kolonievogels Lepelaar en Kokmeeuw.
2. Door een vergelijking te maken tussen het huidige (berekende) overstromingsrisico en (a) het berekende overstromingsrisico voordat de gaswinning begon, (b) het (hypothetische) huidige overstromingsrisico als er geen gaswinning had plaatsgevonden. Door gebruik te maken van een opslibbingsmodel was dit mogelijk voor de eerder genoemde kolonievogels Lepelaar en Kokmeeuw, en de Scholekster.

Op basis van de metingen en berekeningen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Het overstromingsrisico voor op de kwelder van Ameland nestelende broedvogels is de afgelopen jaren toegenomen. Dit wordt veroorzaakt door een toename van de zomerstormen (waar ook elders in het waddengebied broedende vogels last van hebben) en bodemdaling.
2. Voor de meeste verspreid broedende vogelsoorten lijkt het op basis van stippenkaarten berekende overstromingsrisico op de Hon lager dan op het Neerlands Reid, maar voor de

Scholeksters is dat risico juist veel hoger. Door het ontbreken van referenties (gebieden elders in de Waddenzee) kunnen voor de meeste soorten geen conclusies getrokken worden over het effect van bodemdaling op dit risico. Er zijn geen scenarioberekeningen uitgevoerd voor deze soorten (met uitzondering van de Scholekster, waar niet alleen territoriumstippen zijn bepaald, maar ook nesthoogtes zijn gemeten).

3. Bij de in kolonies broedende Lepelaar was het mediane overstromingsrisico op de kwelder van Ameland van 38% gemiddeld hoger dan de gemiddelde waarde van het mediane overstromingsrisico op kwelders elders in de Waddenzee van 16%. Ook bij de Kokmeeuw is dit risico op de kwelders van Ameland met 29% gemiddeld hoger dan elders in de Waddenzee waar dit risico 22% bedraagt. Zowel binnen Ameland als elders in de Waddenzee is de variatie in overstromingsrisico tussen kolonies erg groot, variërend van 0% tot 75%. De scenarioberekeningen laten zien dat het overstromingsrisico voor risicovolle kolonies van de Kokmeeuw en Lepelaar respectievelijk ongeveer 20% en 40% lager zou zijn geweest zonder bodemdaling.
4. Ook voor de Scholekster laten de scenarioberekeningen zien dat zonder bodemdaling het overstromingsrisico 15% lager zou zijn geweest dan de huidige waarde van 20%. Een conclusie van het effect daarvan op broedsucces kan niet getrokken worden.

Het overstromingsrisico is niet direct gemeten, maar berekend op basis van metingen aan de hoogte van nest, broedkolonie of territorium. Deze aanpak brengt onzekerheden met zich mee, omdat voor de berekening ook gegevens nodig zijn over legdatum, broedduur, waterstanden en opslibbing. Die gegevens zijn deels geschat uit de literatuur en in sommige gevallen, zoals bij opslibbing bijvoorbeeld, op basis van rekenmodellen. Om tot een betere schatting te komen van het effect van bodemdaling op kwelderbroedvogels zijn verschillende aanbevelingen geformuleerd.

Met de nu verzamelde gegevens bleek het niet mogelijk om de oorspronkelijke onderzoeksvraag te beantwoorden of het broedsucces van de Scholekster afneemt door bodemdaling. Dit vereist een programma waarbij het broedsucces daadwerkelijk gemeten wordt, inclusief de verschillende factoren die het broedsucces bepalen.

## 2. Inleiding

Sinds 1986 wordt door de NAM gas gewonnen uit het gasveld onder de oostpunt van Ameland. Deze gaswinning leidt tot bodemdaling. Op basis van een jarenlang monitoringprogramma is komen vast te staan dat op de kwelders de bodemdaling niet overal wordt gecompenseerd door opslibbing (Dijkema *et al.* 2011). Lokaal is er dus sprake van een verlaging van het maaiveld. Voor vogels die op de kwelder broeden, kan dit leiden tot een verhoogd risico op overstroming van de nesten tijdens het broedseizoen, of een afname in de oppervlakte geschikt broedhabitat. Dat overstromingsrisico is de laatste jaren groter geworden door een toename in de kans op hoge vloed tijdens het broedseizoen, en dit zou nog verder kunnen toenemen (van de Pol *et al.* 2010). In eerdere rapportages is een schatting gemaakt van de toename van het risico van overstroming door bodemdaling voor de Scholekster (Hallmann & Ens 2011) en de Lepelaar (Krol & Hallmann 2011). Deze rapportage is een uitbreiding van dat eerdere onderzoek en beoogt drie vragen te beantwoorden:

1. Hoe is het voorkomen van verspreid broedende kwelderbroedvogels ten opzichte van het overstromingsrisico?
2. Lopen kolonies van Lepelaar, Vissdief en Kokmeeuw op de kwelder van Ameland

(Nieuwlands Reid en Hon) onder invloed van bodemdaling meer risico op overstroming dan kolonies op vergelijkbare kwelders elders in de Waddenzee?

3. Neemt het broedsucces van de Scholekster af als gevolg van de toename van het overstromingsrisico door bodemdaling? Zo ja, hoe sterk is het effect?

Om het overstromingsrisico te berekenen, is het nodig de nesthoogte te kennen. Voor Scholekster en een aantal kolonievogels kon deze nesthoogte ingemeten worden met een DGPS. Voor soorten waarvan de exacte nestplaats niet bekend is, maar wel de ligging van het territorium, is met de hoogte van deze locatie (de territoriumstip) gerekend. De territoriumstip heeft een geografische locatie die gekoppeld kan worden aan een hoogtekartaar: cyclus5 voor de periode 2006-2012 (Elias & Wang 2013) en AHN2 – het Actuele Hoogtebestand Nederland dat sinds 6 maart 2014 vrij beschikbaar is ([www.ahn.nl](http://www.ahn.nl)). Beide hoogtekarten zijn gebaseerd op metingen met LIDAR, die niet precies het maaiveld aangeven indien de bodem bedekt is met vegetatie. Er is daarom onderzocht of een correctie van de LIDAR-metingen mogelijk was door de verschillen tussen de LIDAR-metingen en de DGPS-metingen te relateren aan gegevens over de vegetatie.



## 3. Methode

### 3.1. Berekening overstromingsrisico

Voor de schatting van het overstromingsrisico maakten wij gebruik van het door Van de Pol *et al.* (2010) ontwikkelde model. Het overstromingsrisico van een nest wordt in dit model berekend aan de hand van getijgegevens, nesthoogte en het moment in het seizoen (datum van eileg). Bij het bepalen van het overstromingsrisico op de kwelders in het verleden en in de toekomst, is rekening gehouden met hoogwaterniveaustijging en opslibbing en inklinking van de kleilaag. Hiervoor gebruikten wij het model van Van Wijnen & Bakker (2001). Dit model werd verder uitgebreid met de gerealiseerde en voorspelde bodemdaling.

#### 3.1.1. Overstromingsrisico

Een overstromd nest is een nest dat gedurende zijn broedduur (bepaald aan de hand van eilegdatum, broedduur en de kwetsbare fase van de kuikens) minstens één keer overspoeld geraakt is. Wij gaan ervan uit 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 het broedseizoen overspoeld raakt, 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  $j \in (s, s + 1, \dots, s + d - 1, s + d)$ . Bijvoorbeeld, als een nest wordt begonnen op 15 april (= dagnummer 105 waarbij dagnummer 1 is op 1 januari) en de kritieke fase 45 dagen duurt (= t/m dagnummer 105 + 45 = 150 = 30 mei), wordt voor elke dag tussen dag 105 en 150 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 ook het product van alle  $1 - p_{ej} = 0$  en het volgt dat  $q = 1$  ("nest mislukt"). Alleen als tussen de dagen 105 en 150 het nest geen enkele dag wordt overstromd, hebben alle  $1 - p_{ej}$  de waarde 1 en hun product is 1 en  $q = 0$  ("nest gelukt").

Voor de kritieke fase  $d$  zijn soort-specifieke perioden aangenomen, samengevoegd uit de dagen voor het uitkomen van de eieren en de kwetsbare fase van de kuikens. Sommige soorten hebben echter enkele dagen nodig voor een volledig legsel; de eerste eieren in een legsel hebben dus een langere kritieke fase dan de laatste, als met broeden pas wordt begonnen als het legsel volledig is. Wij voegen dus de periode tussen eerste en laatste ei in een legsel aan de kritieke fase van deze soorten toe. Voor de Scholeksters op Ameland/Neerlands Reid zijn eilegdatums beschikbaar, gebaseerd op eieren die op meerdere dagen

Tabel 1. Overzicht van voor de berekening van overstromingsrisico gebruikte waardes voor datum legbegin, datum einde broedseizoen, broedduur (aantal dagen), duur dat kuikens risico lopen en totale duur van de kritieke periode voor de onderzochte vogelsoorten. Ook de bron is aangegeven.

Soort	Gemiddeld Eerste ei legbegin	Eind van legfase	Broedfase	Kritieke kuikense fase (incl. legfase)	Opmerking
Bergeend	a)	a)	29-31 b)	0	39
Bruine kiekendief	a)	a)	31-38 c)	35-40 c)	82
Eider	a)	a)	25-28 b)	0	31
Graspieper	a)	a)	13 d)	12,5 d)	30
Grutto	a)	a)	22-24 e)	14 ?	41
Kievit	a)	a)	26-28 e)	14 ?	45
Kleine mantelmeeuw	a)	a)	28 f)	14 ?	45
Kluut	a)	a)	23-24 e)	14 g)	42
Kokmeeuw	5-may g)	3-jun g)	23,9 e)	14 g)	41
Lepelaar	9-apr h)	31-may g)	24-25 b)	21 g)	53
Noordse stern	a)	a)	20-24 i)	14 g)	40
Scholekster	26-maart j)	12-juli j)	27 ?	14 g)	44
Stormmeeuw	a)	a)	24-26 e)	14 ?	42
Tureluur	a)	a)	24 e)	14 ?	42
Veldleuwerik	a)	a)	11 d)	19 d)	34
Visdief	4-mei g)	13-juni g)	21-22 i)	14 g)	40
Wilde eend	a)	a)	27-28 b)	0	39
Wulp	a)	a)	28,8 e)	14 ?	47
Zilvermeeuw	a)	a)	28 f)	14 ?	45

a) onvoldoende gegevens beschikbaar, overstromingsrisico berekend voor de periode van 1 april t/m 30 juni

b) Cramp S. & Simmons K.E.L. (1977) Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa; the birds of the Western Palearctic, Vol. 1: Ostrich to ducks, Oxford University Press, Oxford.

c) Cramp S. & Simmons K.E.L. (1980) Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa; the birds of the Western Palearctic, Vol. 2: Hawks to bustards, Oxford University Press, Oxford.

d) Cramp S. & Simmons K.E.L. (1988) Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa; the birds of the Western Palearctic, Vol. 5: Tyrant flycatchers to thrushes, Oxford University Press, Oxford.

e) Cramp S. & Simmons K.E.L. (1988) Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa; the birds of the Western Palearctic, Vol. 3: Waders to gulls, Oxford University Press, Oxford.

f) Camphuysen C.J., 2013, A historical ecology of two closely related gull species (Laridae): multiple adaptations to a manmade environment, Proefschrift, Universiteit Groningen

g) van den Pol M. *et al.* (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.

h) Lok T., (2013) Spoonbills as a model system: a demographic cost-benefit analysis of differential migration, Proefschrift, Universiteit Groningen.

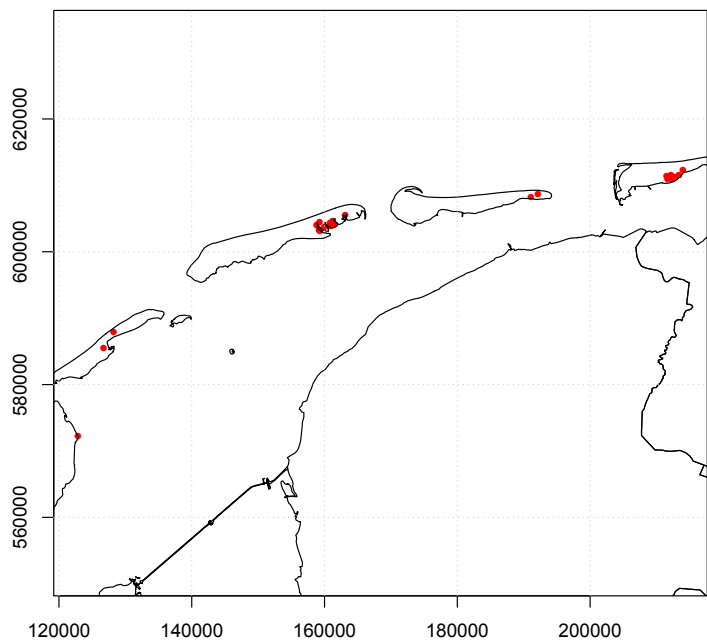
i) Cramp S. & Simmons K.E.L. (1985) Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa; the birds of the Western Palearctic, Vol. 4: Terns to woodpeckers, Oxford University Press, Oxford.

j) in het kader van dit project gemeten

gemeten zijn (gewicht, lengte en breedte) en op een ijkcurve tussen gewicht en legdatum. De legdatum van elk nest kon met deze methode met een nauwkeurigheid van enkele dagen worden bepaald. Voor alle andere soorten is de periode van eileg en broeden uit de literatuur genomen. De kwetsbare fase van de kuikens varieert nogal tussen de soorten. Voor typische nestvlinders, waarbij de kuikens het nest vrijwel meteen verlaten na het uitkomen van de kuikens, is deze fase feitelijk nul (bijv. Bergeend en Eider). Voor een typische nestblijver als de Bruine Kiekendief duurt deze periode heel lang; maar liefst 40 dagen. In Tabel 1 staat een overzicht van de waarden van legdatum en broedduur die voor de overstromingsanalyse gebruikt zijn.

Van verspreid broedende vogels waren alleen de coördinaten van territoriumstippen beschikbaar.

Om de empirische verdelingen van nesthoogtes voor de schatting van het overstromingsrisico glad te maken werden ze door *kernel-density* berekeningen (Silverman 1986, Shaether 2004) benaderd. Vervolgens trokken wij uit de gesimuleerde verdelingen voor elke soort in elk gebied 10.000 willekeurige waarden. Hierbij is, in navolging van Van de Pol *et al.* (2010) en Hallmann & Ens (2011), verondersteld dat er geen relatie is tussen de hoogteligging van een nest en de legdatum. Dezelfde aanpak werd gebruikt voor de verdeling van eilegdatum van de Scholeksters. Omdat voor de andere soorten alleen begin en eind van de eilegperiode bekend waren, maar niet de verdeling van eilegdatums, werd voor deze soorten een homogene verdeling van eilegdatums aangenomen. Voor soorten zonder informatie over begin en eind van de eilegperiode werd een periode van 1 april t/m 30 juni en een homogene verdeling over deze periode aangenomen. Overstromingsrisico's werden voor alle combinaties uit hoogteligging en eilegdatum berekend. Voor de visualisatie van de afhankelijkheid van de risico's van nesthoogte en datum gebruikten wij in de grafieken de uitersten en kwartielen van de verdelingen van nesthoogte en eilegdatum. Voor de vergelijking tussen soorten of kolonies, dan wel binnen de soort (historisch, huidig en toekomstig overstromingsrisico; zie paragraaf Projectie van overstromingskans naar verleden en toekomst) worden boxplots gebruikt. Hierin wordt steeds het volgende getoond: het mediane risico, de kwartielen en de extreme waarden. Waarden die verder dan de interkwartielafstand van de mediaan liggen, zijn in de figuur als uitbijter aangegeven.



Figuur 1. Locaties van buitendijkse kolonies van de Lepelaar in 2013 waar hoogtemetingen zijn verricht.

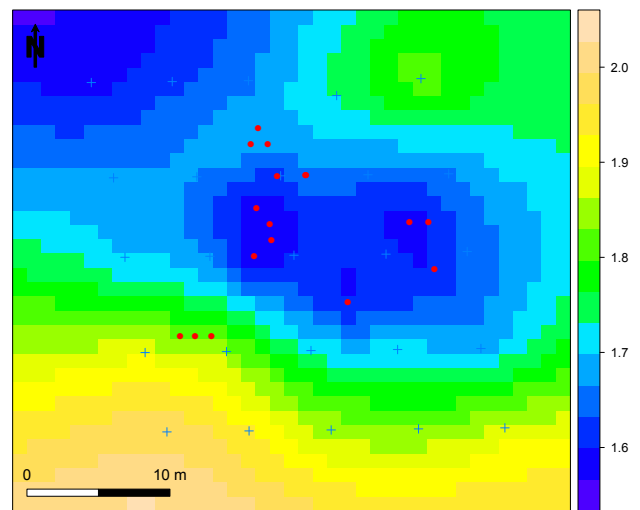
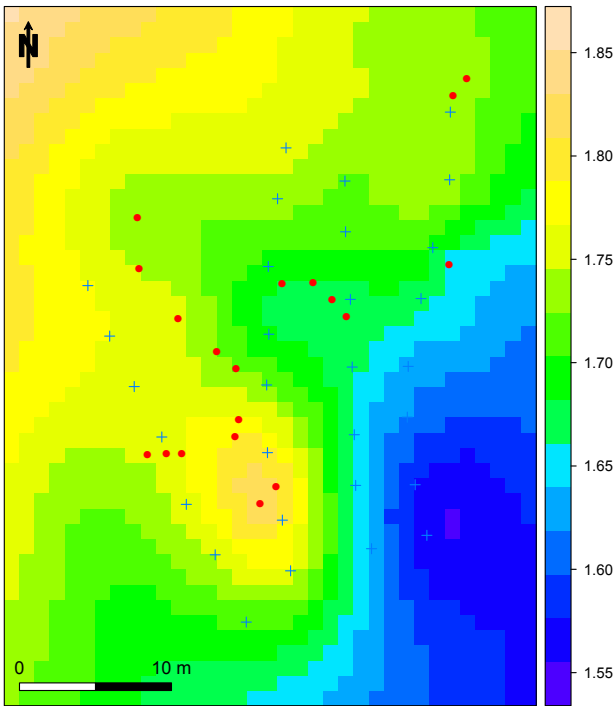
### 3.1.2. Beschikbare gegevens

Het overstromingsrisico voor de Scholekster werd berekend voor het onderzoeksgebied op het Neerlands Reid ten oosten van de Oerdsloot, waar ook in de periode 2008-2012 nesten zijn gevolgd. Om te voorkomen dat er nesten over het hoofd werden gezien, is er aan het begin van het broedseizoen een territoriumkaart gemaakt en werd het onderzoeksgebied in de periode 15 april tot 15 juli 2 keer per week gecontroleerd op nesten. Alle gevonden nesten werden individueel gemarkeerd en in de loop van het broedseizoen werden de hoogtes van de nesten met DGPS ingemeten. Van alle nieuw gevonden nesten werden de eieren gemeten en gewogen. Op basis van een ijklijn tussen legdatum en soortelijk gewicht van de eieren kon aan de hand van gewicht en volume van de gevonden eieren de legdatum nauwkeurig bepaald worden.

Voor kolonievogels werd een andere meetprocedure gevolgd. Het overstromingsrisico werd berekend voor kolonies van de Lepelaar (op alle eilanden; zie Figuur 1), de Kokmeeuw (op Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog) en de Visdief (op Vlieland, Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog) (zie Tabel 2 met een overzicht over beschikbare soorten en kolonies). In deze kolonies werd in 2013 na afloop van het broedseizoen de positie en de hoogteligging van de nesten gemeten (voor Lepelaars de hoogte van de basis van de nesten en de hoogte van de nestkom). Daarnaast werd een raster van meetpunten genomen om de hoogte van het maaiveld te bepalen. Door *kriging* kon de hoogte van het maaiveld in het gebied van de kolonie bepaald worden. Een voorbeeld is te vinden in Figuur 2.

Tabel 2. Overzicht van de beschikbare gegevens uit het broedseizoen 2013 die gebruikt zijn voor het berekenen van overstromingsrisico.

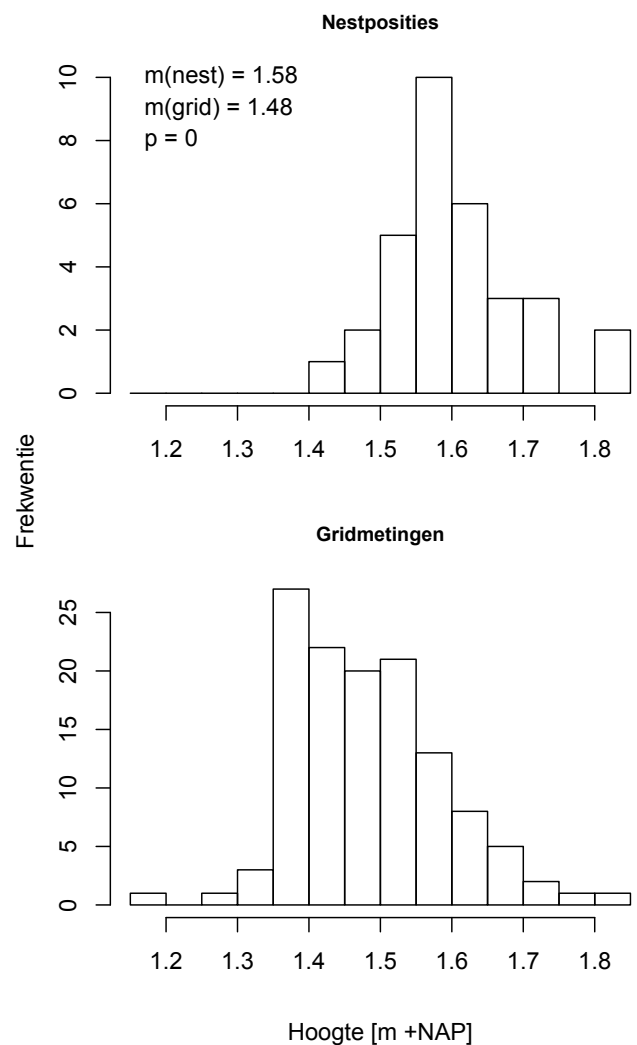
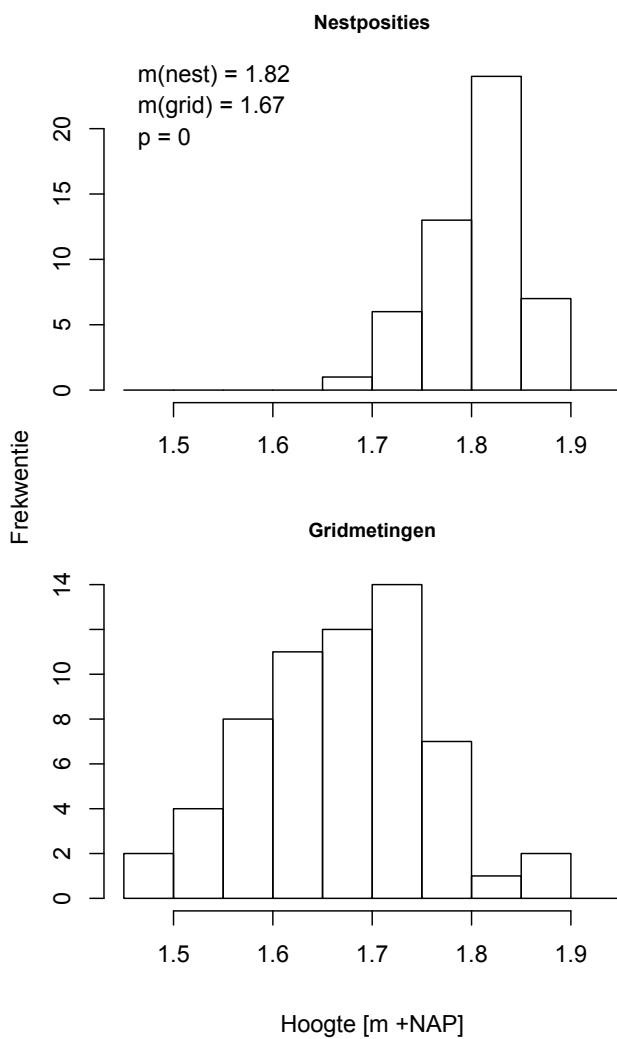
Eiland	Kolonie of gebied	Soortgroep	Soort	Opmerkingen	
Texel	Schorren	Kolonievogels	Lepelaar	Lage kwelder	
Vlieland	Bomenland	Kolonievogels	Lepelaar	Duinvallei	
	Kroonspolders		Lepelaar	Lage kwelder	
Terschelling	Schelpenbank		Visdief	alleen rastermeetpunten beschikbaar (68)	
	BP1-BP6	Kolonievogels	Lepelaar	Duinvallei	
	BP7-BP8		Lepelaar	Lage kwelder; niet voldoende nesten	
	BP13		Lepelaar	Lage kwelder	
	BP14-BP18		Lepelaar	Lage kwelder	
	BP19		Lepelaar	Duinvallei; niet voldoende nesten	
	2e slenk		Kokmeeuw	alleen rastermeetpunten beschikbaar (24), geen overstromingsrisico berekend	
Ameland			Visdief	alleen rastermeetpunten beschikbaar (24), geen overstromingsrisico berekend	
	Oerd-Hon K1	Kolonievogels	Lepelaar	Lage kwelder	
	Oerd-Hon K3		Lepelaar	Duinvallei	
	Neerlandsreid K1		Kokmeeuw		
	Neerlandsreid K2		Kokmeeuw		
	Neerlandsreid K3		Kokmeeuw		
	Hon K1		Kokmeeuw		
	Feugelpolle Schelpenrug		Kokmeeuw	alleen rastermeetpunten beschikbaar (28), geen overstromingsrisico berekend	
	Feugelpolle Schelpenrug		Visdief	alleen rastermeetpunten beschikbaar (30), geen overstromingsrisico berekend	
	Feugelpolle West		Visdief	alleen rastermeetpunten beschikbaar (30), geen overstromingsrisico berekend	
	Neerlandsreid	Scholekster	Scholekster		
	Neerlandsreid	Verspreid broedende soorten	Bergeend Graspieper Grutto Kievit Kleine mantelmeeuw Kluut Noordse stern Scholekster Stormmeeuw Tureluur Veldleeuwerijk Visdief Wilde eend Wulp Zilvermeeuw		
		Oerd-Hon	Verspreid broedende soorten	Bergeend Bruine kiekendief Eider Graspieper Scholekster Wilde eend	
	Schiermonnikoog	13_01, 13_02, 13_03, 13_03W, 13_07, 13_09, 13_11, 13_12	Kolonievogels	Lepelaar	Lage kwelder
		13_04/05		Lepelaar	Lage kwelder
13_13			Lepelaar	Lage kwelder	
3e slenk			Kokmeeuw Visdief		
Willemsduinen			Kokmeeuw Visdief	alleen rastermeetpunten beschikbaar (53)	



Figuur 2. Hoogteverdeling van het maaiveld op basis van kriging van hoogtemetingen op een raster (blauwe kruisjes) en ligging van de nesten van Lepelaars (rode stippen) in twee kolonies in 2013 (links Schiermonnikoog 13-12, rechts Schiermonnikoog 13-09).

**Ameland – KM2 / Kokmeeuw**

**Ameland – KM3 / Kokmeeuw**

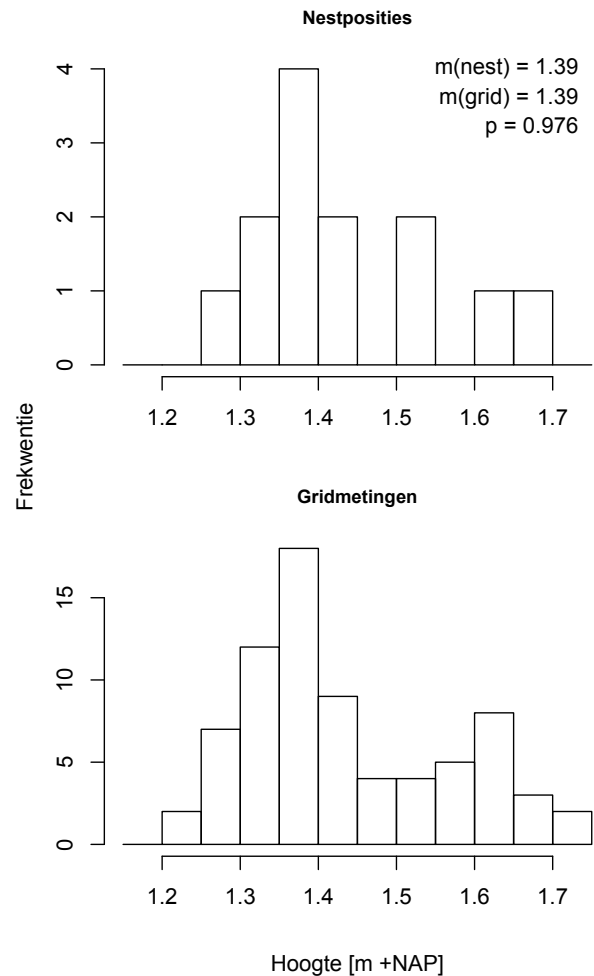


Figuur 3. Vergelijking tussen de nesthoogtes (bovenste panelen) en hoogte van het maaiveld (onderste panelen) voor twee Kokmeeuw-kolonies op Ameland in 2013: KM2 (links) en KM3 (rechts).

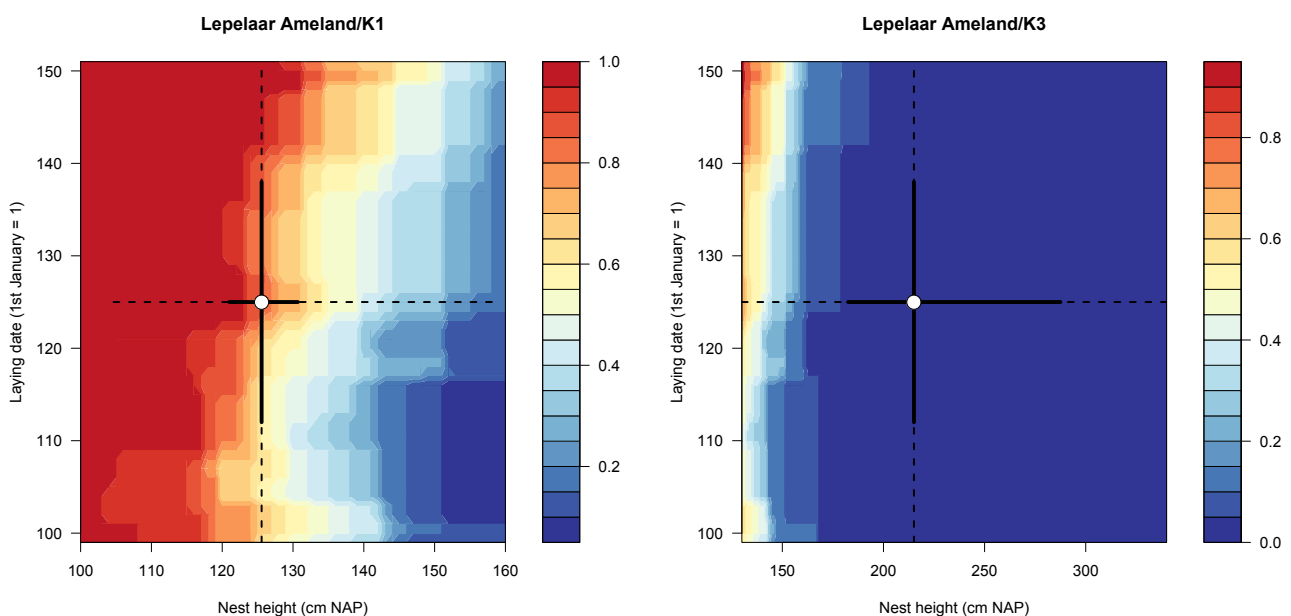
In sommige gevallen was de locatie van een kolonie bekend uit 2012, maar werd deze plek niet bezet in 2013 (Kokmeeuw op Terschelling/2e slenk, Ameland/Feugelpolle-Schelpenrug en Schiermonnikoog/Willemsduinen; Visdief op Vlieland/Schelpenbank, Ameland/Feugelpolle-Schelpenrug en Ameland/Feugelpolle-West). Het overstromingsrisico voor deze plekken werd berekend op basis van het verband tussen maaiveld en gemiddelde hoogteligging van de nesten op gebruikte vestigingsplekken. De Kokmeeuw-nesten liggen gemiddeld 12,5 cm hoger dan het maaiveld (zie Figuur 3). Vervolgens werden deze waarden (12,5 cm) aan de hoogtewaarden van rastermeetpunten op de niet-gebruikte plekken opgeteld en gebruikt om een hypothetisch overstromingsrisico te berekenen. Voldoende rastermeetpunten waren alleen beschikbaar voor Schiermonnikoog/Willemsduinen (53). Voor de andere in 2013 niet-gebruikte vestigingsplekken van Kokmeeuw-kolonies werd daarom geen overstromingsrisico berekend. Voor de Visdief is geen verschil tussen maaiveldhoogte en hoogteligging van de nesten te zien (zie Figuur 4). Op de vestigingsplek van Visdief-kolonies met voldoende rastermeetpunten (68 op Vlieland/Schelpenbank) werden daarom deze punten gebruikt om een hypothetisch overstromingsrisico te bepalen.

Voor elke combinatie van nesthoogte, legdatum en broedduur kan voor een gegeven periode de kans op overstroming tijdens het broeden berekend worden. Er is gekozen om de berekeningen uit te voeren op basis van de gemeten waterstanden in de periode 1993 t/m 2012, omdat de waterstanden van 2013 niet volledig beschikbaar waren. Een voorbeeld

### Schiermonnikoog – Willemsduin / Visdief



Figuur 4. Vergelijking tussen de nesthoogtes (boven) en hoogte van het maaiveld (onder) voor een kolonie Visdieven op het Willemsduin in 2013.



Figuur 5. Het berekende overstromingsrisico voor twee Lepelaar-kolonies (K1 links en K3 rechts) op Ameland als functie van legdatum en nesthoogte. Ook weergegeven (middels een boxplot van mediaan en kwartiel) de gecombineerde verdeling van legdatum en nesthoogte voor beide kolonies.



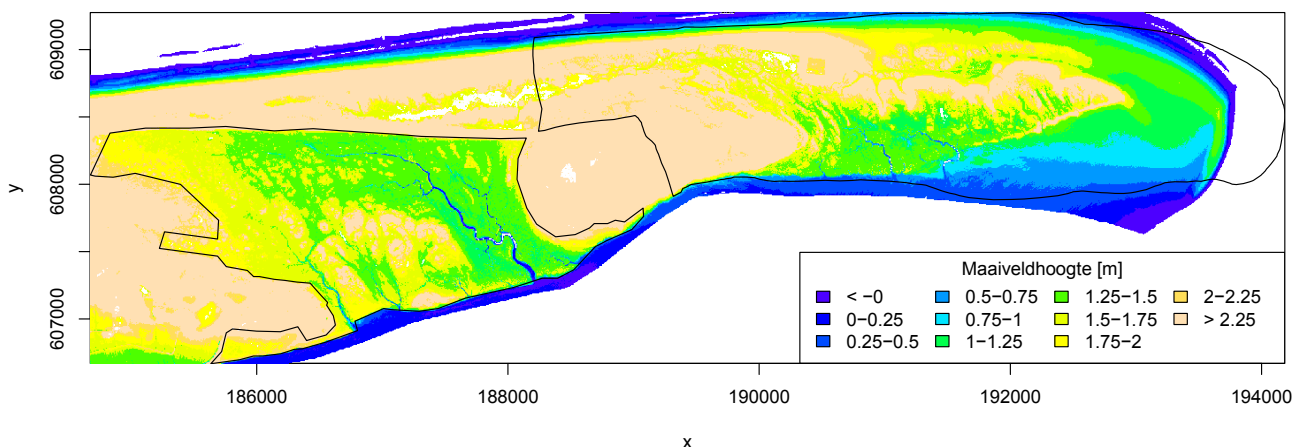
is weergegeven in Figuur 5 voor twee Lepelaar-kolonies op Ameland in 2013. De Lepelaars in kolonie K1 broeden op een zeer riskante plek, terwijl de kolonie K3 zeer veilig is. De boxplot kruisen in de figuren representeren de verdeling van legdatum en nesthoogte (mediaan en kwartielen) voor elk kolonie. Voor een lepelaarnest in kolonie 1, bijvoorbeeld, met een mediane nesthoogte van 126 cm en het mediane broedbegin op 4 mei, bedroeg de kans om tijdens de broedtijd en de kritieke kuikenperiode ten minste één keer in een gegeven jaar (1993 t/m 2012) te worden overstroomd 0.8 (of 80%).

Op Ameland werden verder nog de gegevens uit de telgebieden Neerlands Reid (uit de jaren 2008 t/m 2012) en Oerd-Hon (uit 2012) van het broedvogelmonitoringprogramma (BMP) van Sovon (van Dijk & Boele 2011) gebruikt. Bij de broedvogelmonitoring zijn geen nestposities en -hoogtes beschikbaar maar alleen territoriumstippen (zie Appendix A. Territoriumkaarten voor Neerlands Reid en Hon in 2012). Door een *overlay* met digitale hoogtekarten werd de hoogteligging van de stippen bepaald en vervolgens gebruikt voor de berekening van het overstromingsrisico. Op Oerd-Hon werd deze *overlay* gedaan met de cyclus 5 (combinatie van lodingen en in geval van kwelders laseraltimetrie LIDAR), op Neerlands Reid met de Algemene Hoogtekaart Nederland versie 2, ook wel AHN2 (<http://www.ahn.nl/>). Toen met de uitvoering van de analyses begonnen werd, was de AHN2 nog niet "open data" en daarom werd de vrij beschikbare cyclus 5 gebruikt. Echter, belangrijke delen van het Neerlands Reid bleken niet gedekt door cyclus 5 en daarom moest voor dit telgebied de AHN2 worden gekocht. Het overstromingsrisico werd alleen voor die soorten berekend waar minimaal 12 territoriumstippen beschikbaar waren (zie overzicht in Tabel 2).

### 3.1.3. Vergelijking tussen gemeten bodemhoogtes en digitale hoogtekarten

Hoogtemetingen werden uitgevoerd met een Trimble R4 GPS (met Trimble R4 GLONASS upgrade, Trimble Nomad 900GXC en Geomeet Software Adv – Type M3). Vervolgens werd op de verschillende plekken met beschikbare hoogtemetingen van nesten en rasterpunten een vergelijking gemaakt met de waarden van cyclus 5 en de DGPS-metingen. Dit werd bereikt door een overlay te maken tussen de geografische coördinaten van de nesten en meetpunten en de cyclus 5. Toen de AHN2 openbaar beschikbaar werd, maakten wij ook van deze gelegenheid gebruik en berekenden de verschillen tussen DGPS, cyclus 5 en AHN2 op deze punten. Deze werden vervolgens getoetst met een ANOVA met gebruik van vegetatiezonering, vegetatiestructuur en eiland en hun interacties als verklarende factoren. Op basis van de bij Rijkswaterstaat beschikbare vegetatiekaarten van de eilanden (Terschelling Boschplaat 2006, Ameland Oost 2008, Vlieland Kroonspolders en Westerveld 2009, Schiermonnikoog 2010, Texel Slufter en andere kwelders 2011) werden voor de vegetatiezonering de volgende klassen gehanteerd: kaal (bestaande uit kaal water, kaal slik, kaal zand, kaal met schelpen en kaal met stenen), embryoduintjes en stranden, pionierzone kwelder, lage kwelder, middelhoge kwelder, brakke kwelder, hoge kwelder, nitrofiële kwelder, mozaïek van kwelder en duinvegetaties en duinen. Vegetatiestructuur werd als volgt geclassificeerd: kaal, lage kruid/graslaag (0 – 30 cm), hoge kruid/graslaag (30 – 100 cm), ruige kruid/graslaag (> 1 m), dwergstruweellaag (0 – 100 cm), struweel (1 – 5 m).

De resultaten van dit onderzoek naar de mogelijkheden om de hoogtekarten te corrigeren is te vinden in Appendix B. Onderzoek naar correctie van hoogtekarten. Op basis van die analyse is afgezien van het toepassen van een correctie.



Figuur 6. Hoogtekaart van Oost-Ameland volgens AHN2. Minimum hoogte is ingesteld op NAP en maximum hoogte op 2,25 m boven NAP. In de periode 1993-2012 bedroeg de maximale hoogwaterstand tijdens de broedtijd 2,08 m boven NAP.

### 3.1.4. Opslibbing

Van Wijnen & Bakker (2001) hebben een model ontwikkeld waarmee het verloop in de tijd van kwelderhoogte wordt berekend als een functie van opslibbing en inklinking (in cm) volgens vergelijking (3):

$$E_{t+1} = E_t + A + S \quad (3)$$

hierbij is  $E_t$  de kwelderhoogte in jaar  $t$ ,  $A$  de opslibbing,  $S$  de inklinking en  $E_{t+1}$  de kwelderhoogte in het opvolgende jaar. Opslibbing kan worden bepaald aan de hand van de overstromingsfrequentie  $I_t$  het hoogteverschil tussen maaiveldhoogte van kwelder en gemiddeld hoogwater volgens vergelijkingen (4) en (5):

$$A = I_t * c + h \quad (4)$$

hierbij zijn  $c$  en  $h$  constanten met de waarden  $c = 0,026$  en  $h = 0,4$ .

De overstromingsfrequentie  $I_t$  wordt berekend volgens:

$$I_t = 706((1 + \exp(g(E_t - (Mt=0 + ZSS)))))) \quad (5)$$

hierbij is  $g$  een constante met de waarde  $g = 0,056$ ,  $M_{t=0}$  is het gemiddelde hoogwater in jaar  $t = 0$ , en  $ZSS$  is de zeespiegelstijging sinds  $t = 0$  (in mm). Om rekening te houden met effecten van de bodemdaling wordt vergelijking (5) uitgebreid naar

$$I_t = 706((1 + \exp(g(E_t - (M_{t=0} + ZSS + BD)))))) \quad (5a)$$

hierbij is  $BD$  de jaarlijkse bodemdaling (in mm).  $ZSS$ , dus het tijdsverloop van het gemiddelde hoogwater op de kwelders van Ameland/Neerlands Reid en Ameland/Oerd-Hon, is gebaseerd op schattingen van een lineaire relatie tussen de geïnterpoleerde hoogwaterstanden voor deze plekken tussen februari 1985 en juli 2013. Een uitgebreide beschrijving van deze interpolatie methode wordt gegeven in Rappoldt & Ens (2013).  $BD$  werd berekend met een door de NAM beschikbaar gemaakte MS Excel tabel die door een macro de mogelijkheid geeft voor elke gewenste coördinaat op Ameland in de periode tussen 1986 en 2011 de gerealiseerde bodemdaling te interpoleren.

Inklinking  $S$  van de kleilaag wordt benaderd door de empirische lineaire relatie tussen jaarlijkse inklinking en kleidikte volgens:

$$S = C * a + b \quad (6)$$

hierbij zijn  $a$  en  $b$  constanten met de waarden  $a = -0,18$  en  $b = 1,0$ .

Met dit model van Van Wijnen & Bakker (2001) kan dynamisch gesimuleerd worden om het maaiveldhoogteverloop over tijd te benaderen.

### 3.1.5. Projectie van overstromingskans naar verleden en toekomst

Wij gebruikten het opslibbingsmodel om de verdeling van nesthoogtes naar het verleden en in de toekomst te projecteren en berekenden drie scenario's:

(1) *Actuele overstromingsrisico* gebaseerd op hoogte- en coördinatenmetingen uit de broedperiode van 2013. Hoogwaterstanden variëren periodiek afhankelijk van de saros-cyclus van de maand. In navolging van Hallmann & Ens (2011) werd daarom een model gefit met een lineaire jaartrend component (de langetermijn hoogwater-niveaustijging), een sinusfunctie met constante golfperiode van 18,6 jaar (saros-cyclus effect op gemiddelde zeespiegel, en een *cyclic cubic regression spline* functie van dagnummer (1-365) om seizoen (winter-zomer) variatie te ondervangen. Om een gehele saros-cyclus mee te nemen naar de berekening van het overstromingsrisico werd het actuele risico berekend gebaseerd op de geïnterpoleerde hoogwaterstanden van 1993 t/m 2012 (voor 2013 waren geen volledige gegevens beschikbaar).

(2) *Overstromingsrisico voor het begin van gaswinning en bodemdaling*. Wij projecteerden met behulp van het opslibbingsmodel het overstromingsrisico naar het jaar 1985. Daarbij is aangenomen dat de geografische locaties van de nesten constant blijven. De eerder beschreven kernel-density benadering werd voor de nieuwe verdeling van nesthoogtes herhaald omdat de kwelderhoogtes niet gelijkmatig veranderen. Het overstromingsrisico werd berekend op basis van de geïnterpoleerde hoogwaterstanden van 1986 t/m 2005. Dit leidt wel tot overlap met de voor het huidige risico gebruikte periode, maar alleen op die manier kon gewaarborgd worden dat een volledige saros-cyclus werd meegenomen.

(3) *Hypothetisch huidig overstromingsrisico zonder bodemdaling door gaswinning*. Het opslibbingsmodel werd gebruikt om de huidige kwelderhoogte te schatten als er geen bodemdaling zou zijn opgetreden. Weer werden de identieke nestplekken gebruikt als in scenario (1) en weer werd de *kernel-density* methode toegepast. Wij berekenden het overstromingsrisico op dezelfde manier als voor scenario (1) met geïnterpoleerde hoogwaterstanden van 1993 t/m 2012.



## 4. Resultaten

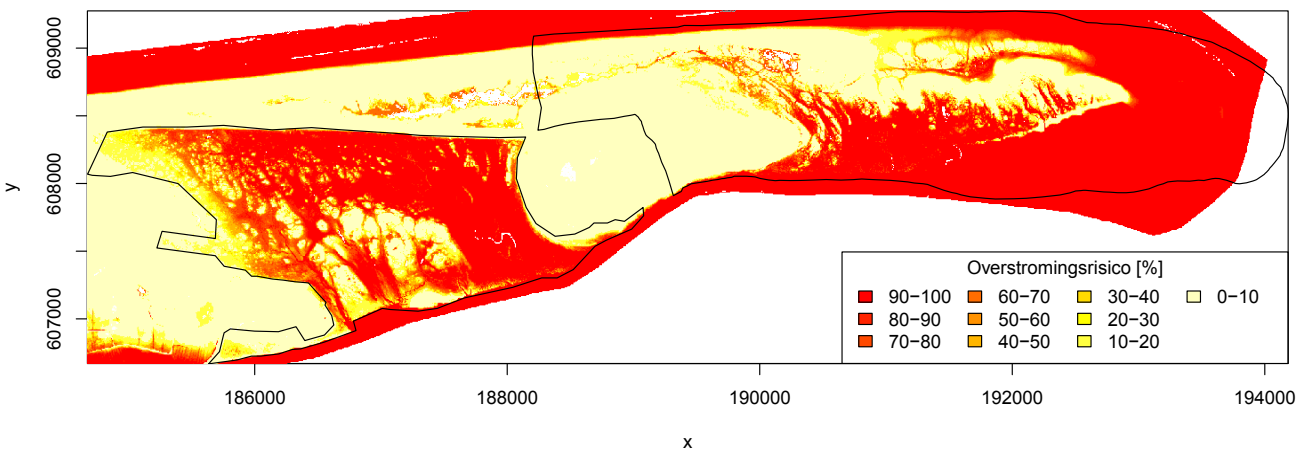
### 4.1. Analyse overstromingsrisico van verspreid broedende vogels

Het overstromingsrisico hangt mede af van de datum van eileg. Voor veel soorten hebben wij daar geen goede gegevens over en is uitgegaan van de periode 1 april t/m 30 juni (Tabel 1). Het overstromingsrisico, berekend voor die periode, is weergegeven in Figuur 7. Het overstromingsrisico per soort hangt af van hoe de territoriumstippen verdeeld zijn over dit “risico-landschap”.

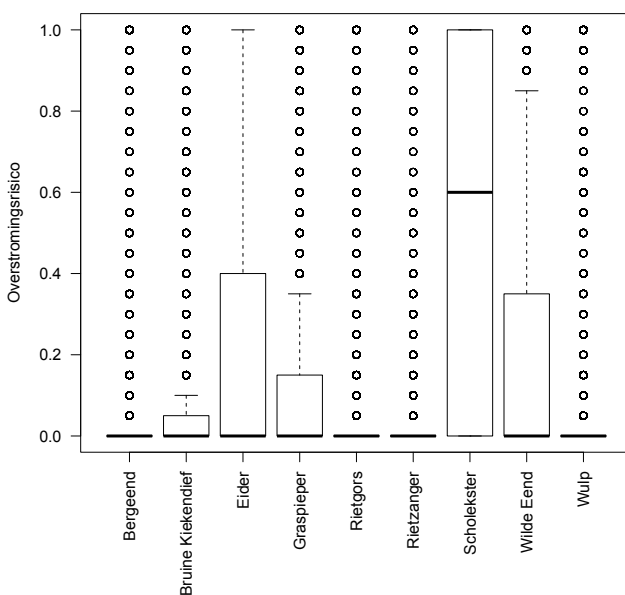
Voor de Hon waren alleen territoriumstippen be-

schikbaar voor het seizoen 2012. Van 9 soorten verspreid broedende grondbroeders waren in dat seizoen 10 of meer territoria aanwezig en werd het overstromingsrisico berekend (Figuur 8). Vooral voor de Scholekster (109 territoria) werd een hoog risico berekend.

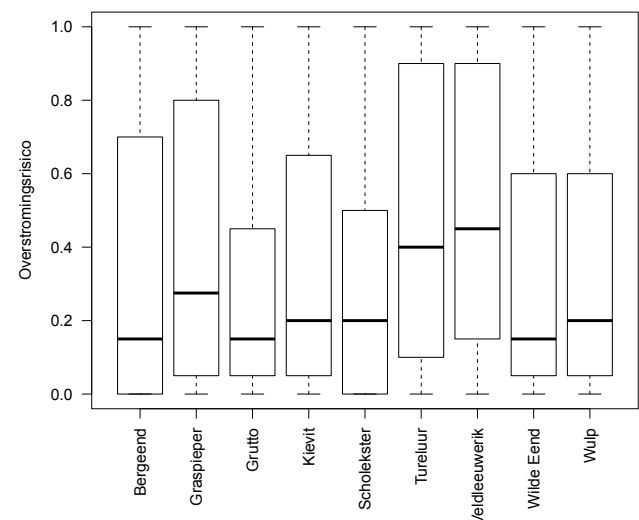
Voor Neerlands Reid waren stippenkaarten beschikbaar voor de jaren 2008 t/m 2012. Voor Bergeend, Graspieper, Wilde Eend en Wulp is het berekende overstromingsrisico hoger dan op de Hon, maar voor de Scholekster is het opvallend genoeg juist lager (Figuur 9).



Figuur 7. Overstromingsrisico voor de oostpunt van Ameland in de periode 1 april t/m 30 juni voor de jaren 1993 t/m 2012. De grenzen van de broedvogelmonitoringplots Neerlands Reid en Hon zijn met een doorgetrokken zwarte lijn aangegeven.



Figuur 8. Overstromingsrisico verspreid broedende vogels op kwelder van de Hon in 2012.

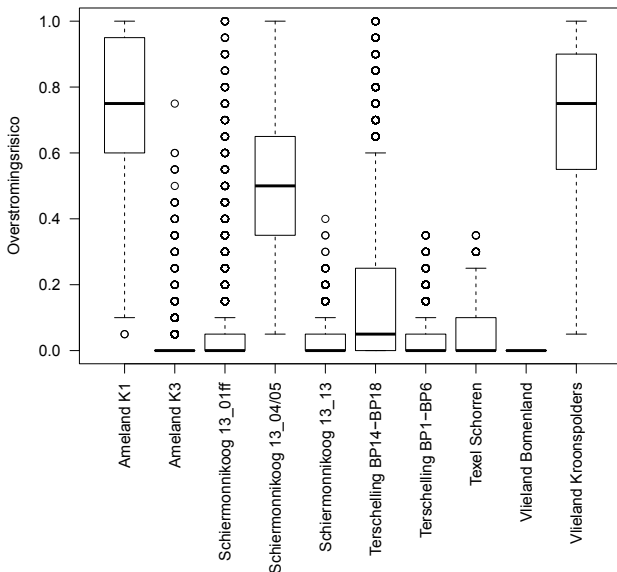


Figuur 9. Overstromingsrisico van verspreid broedende vogels op kwelder van Nieuwlands Reid voor de jaren 2008 t/m 2012.

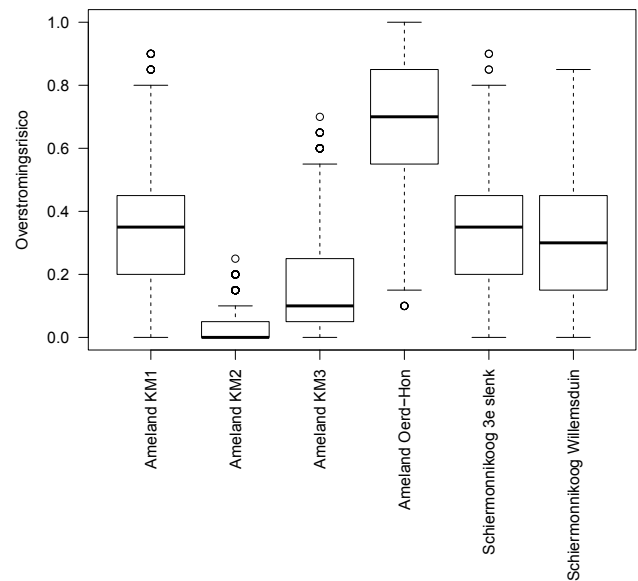
## 4.2. Analyse overstromingsrisico van kolonievogels

Voor Lepelaar (Figuur 10), Kokmeeuw (Figuur 11) en Visdief (Figuur 12) kon het overstromingsrisico worden berekend voor buitendijkse kolonies op Ameland en elders in de Waddenzee. Binnen een soort bestaat er veel variatie tussen kolonies, en soms is het risico zeer hoog.

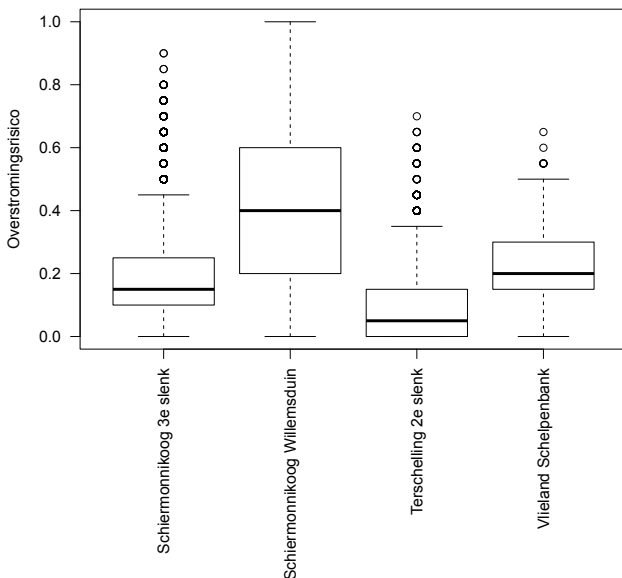
Voor de kolonies op Ameland zijn scenario-berekeningen uitgevoerd van het overstromingsrisico. Er is teruggerekend naar 1985, toen de gaswinning begon, en er is berekend wat het huidige risico zou zijn geweest zonder bodemdaling. Voor de Lepelaar-kolonie K1, die nu gekenmerkt wordt door een zeer hoog overstromingsrisico, zou dat risico zonder bodemdaling volgens de berekeningen aanzienlijk lager zijn geweest (Figuur 13).



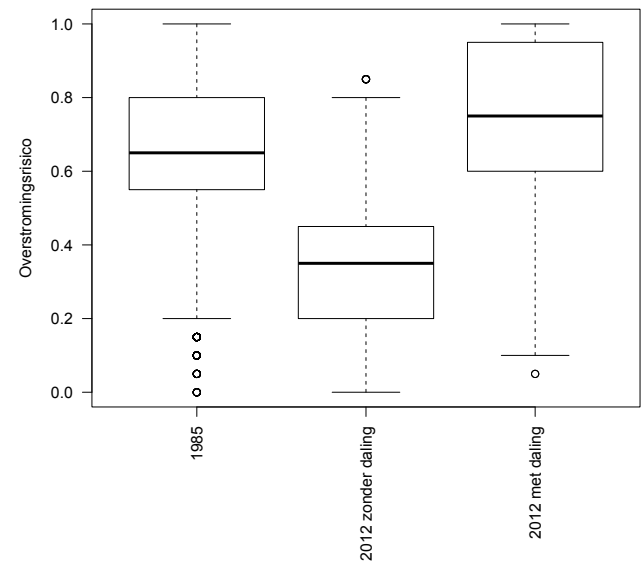
Figuur 10. Berekende overstromingsrisico's van buitendijkse Lepelaar-kolonies in de Waddenzee in 2013.



Figuur 11. Berekende overstromingsrisico's van buitendijkse Kokmeeuw-kolonies in de Waddenzee in 2013.



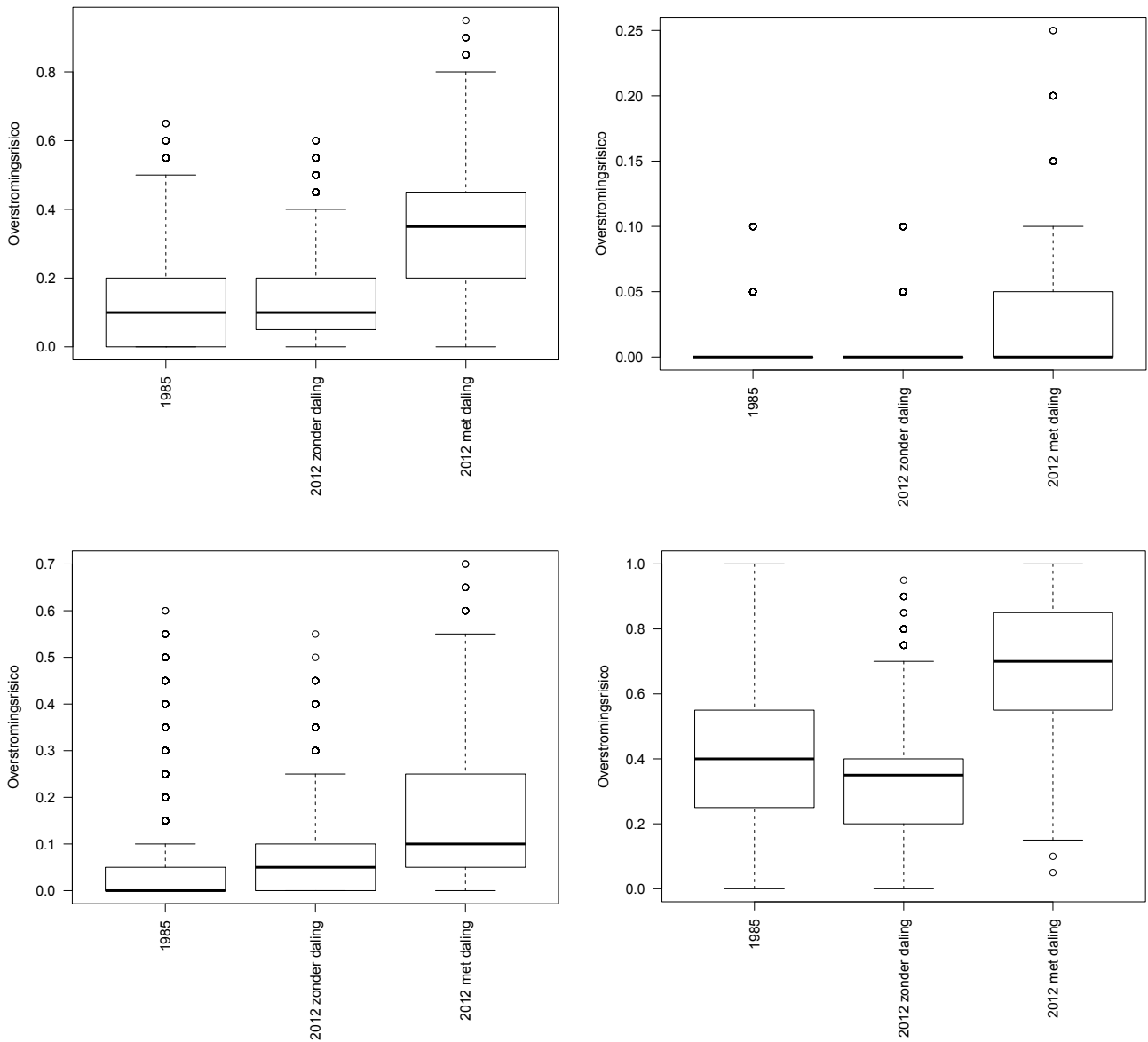
Figuur 12. Berekende overstromingsrisico's van buitendijkse Visdief-kolonies in de Waddenzee in 2013.



Figuur 13. Overstromingsrisico van nesten in de Lepelaar kolonie K1 op de Hon onder verschillende scenario's.



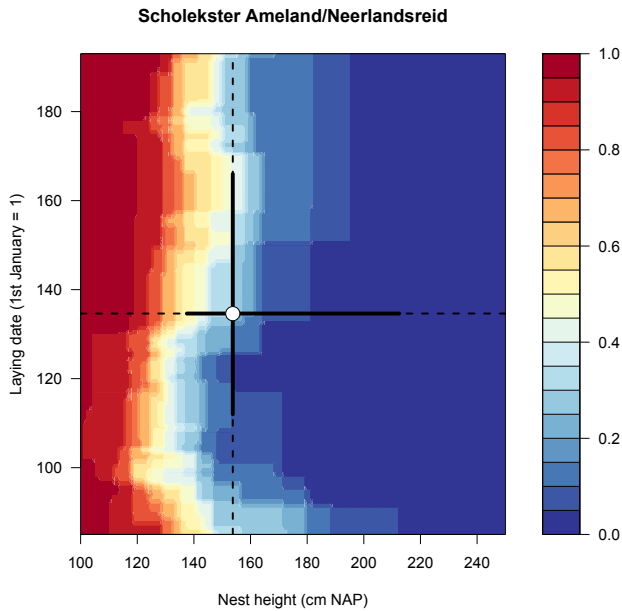
Ook voor de Kokmeeuw geldt dat het overstromingsrisico van kolonies lager zou zijn geweest zonder bodemdaling. Dit is vooral duidelijk bij de kolonies KM1 en Oerd-Hon (Figuur 14).



Figuur 14. Overstromingsrisico van nesten in de Kokmeeuw kolonies KM1 (linksboven), KM2 (rechtsboven), KM3 (links-onder) op het Neerlands Reid en de kolonie Oerd-Hon (rechtsonder) onder verschillende scenario's.

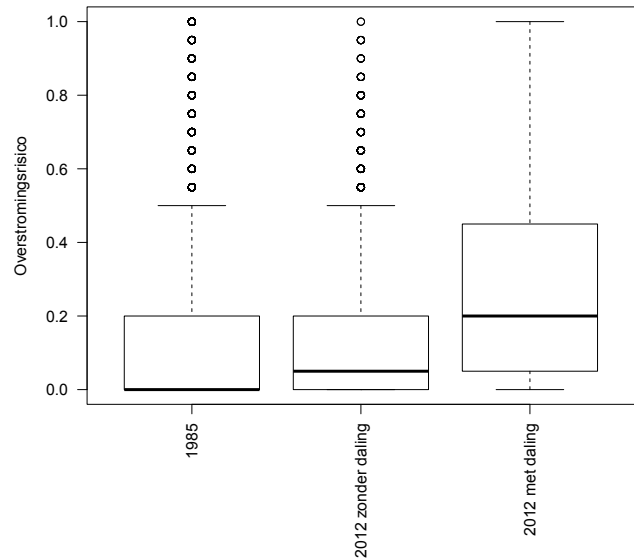
### 4.3. Analyse overstromingsrisico Scholekster

Er is veel variatie in nesthoogte en legdatum onder de Scholeksters die in het onderzoeksgebied op Neerlands Reid broeden (Figuur 15). Bijgevolg is er ook veel variatie in het risico op overstroming tussen de nesten.



Figuur 15. Overstromingsrisico voor de Scholekster als functie van legdatum en nesthoogte, berekend op basis van waterstanden in de jaren 1993 t/m 2012. Ook weergegeven is de verdeling van de legdatum en de hoogte van nesten van de Scholekster in het onderzoeksgebied op Neerlands Reid in 2013.

Het op basis van Figuur 15 berekende gemiddelde overstromingsrisico in het onderzoeksgebied (Figuur 16), komt goed overeen met het voor het hele Nieuwlands Reid berekende overstromingsrisico (Figuur 8). Dit is opvallend omdat uit eerder onderzoek is gebleken dat de Scholeksters binnen hun territorium de wat hogere delen kiezen om te nestelen (Hallmann & Ens 2011).



Figuur 16. Overstromingsrisico van Scholekster-nesten in het onderzoeksgebied op Neerlands Reid onder verschillende scenario's.

## 5. Discussie

Het hoofddoel van de in dit rapport gepresenteerde metingen en berekeningen was het bepalen van het overstromingsrisico van nesten van kwelderbroedvogels en het effect van bodemdaling op dat overstromingsrisico.

Het overstromingsrisico is niet direct gemeten, maar berekend op basis van metingen aan de hoogte van nest, broedkolonie of territorium. Deze aanpak brengt onzekerheden met zich mee, omdat voor de berekening ook gegevens nodig zijn over legdatum, broedduur, waterstanden en opslibbing. Die gegevens zijn deels geschat uit de literatuur en in sommige gevallen, zoals bij opslibbing bijvoorbeeld, op basis van rekenmodellen. De volgende onzekerheden kunnen worden benoemd:

1. Alleen voor de Scholekster is de legdatum op Ameland daadwerkelijk vastgesteld. Voor andere soorten zijn aannames gedaan over de legdatum.
2. Voor stippenkaarten geldt dat de positie van de stip niet precies zal overeenkomen met de positie van het nest. Waarschijnlijk selecteren de vogels nestposities die gemiddeld hoger liggen in vergelijking met de directe omgeving (Hallmann & Ens 2011, Koffijberg *et al.* 2013). Dat betekent dat het overstromingsrisico overschat kan zijn.
3. Er is sprake van onnauwkeurigheden in de hoogtekarten gebaseerd op LIDAR-metingen. Dit geldt zowel voor cyclus5 als AHN2, maar vormt alleen een probleem voor stippenkaarten. Pogingen om te corrigeren op basis van vegetatiekaarten bleken niet succesvol. Mogelijk is de territoriumhoogte te hoog ingeschat vanwege de omringende vegetatie. Dat betekent dat het overstromingsrisico juist onderschat kan zijn.
4. De waterstanden zijn berekend op basis van interpolatie van de gegevens van omliggende getij-

stations (Rappoldt & Ens 2013). Ze hoeven dus niet exact overeen te komen met die in het onderzoeksgebied.

5. De geïnterpoleerde waterstanden zijn geëxtrapoleerd over de achterliggende kwelder om het overstromingsrisico te berekenen. Daarbij is geen rekening gehouden met de hydrodynamica. In het geval van de Lepelaar-kolonie in de Kroonspolders op Vlieland leidt dit vrijwel zeker tot een aanzienlijke overschatting van het overstromingsrisico; er zijn wel openingen in de dijk die de betreffende Kroonspolder scheidt van het wad, maar het water heeft geen onbelemmerde toegang, zoals bij de overige delen van de kwelder het geval is.
6. Voor de terug rekening naar het begin van de gaswinning is het opslibbingsmodel gebruikt van Van Wijnen & Bakker (2001). In dit model hangt opslibbing alleen af van de hoogteligging en bestaat er geen relatie met de afstand tot de wadrand en kreken, terwijl er wel aanwijzingen zijn voor een dergelijke relatie. Dit model is derhalve onvoldoende gedifferentieerd om de overstromingsrisico's in het verleden tot in detail te kunnen berekenen. Vooralsnog is het echter het enige beschikbare model om een dergelijke berekening uit te voeren.

Sommige van de mogelijke fouten werken in tegen-gestelde richting en kunnen elkaar deels opheffen. Zo zal het gebrek aan kennis over de nestlocatie bij de territoriumstippen leiden tot een overschatting van het overstromingsrisico, terwijl de onnauwkeurigheid in de LIDAR-metingen bij vegetatie juist tot een onderschatting van het overstromingsrisico zal leiden.

## 6. Conclusies

Het is zeker dat in de afgelopen jaren de opslibbing op de kwelder van Ameland niet overal voldoende was om de bodemdaling te compenseren. Er zijn delen van de kwelder waar het maaiveld is gedaald en hier zal het overstromingsrisico voor kwelderbroedvogels zijn toegenomen *all else being equal*. Dat laatste is niet het geval, want juist tijdens de broedperiode zijn de zomerstormen toegenomen. Dit betekent een extra verhoging van het overstromingsrisico. Wat kunnen we nu concluderen over de bijdrage van bodemdaling aan het overstromingsrisico? Voor de meeste verspreid broedende vogelsoorten lijkt het (op basis van stippenkaarten berekende) overstromingsrisico op de Hon lager dan op het Neerlands Reid, maar voor de Scholeksters is dat risico juist veel hoger. Dit hangt samen met de geografische verspreiding van de nesten. Voor sommige soorten is het berekende overstromingsrisico aanzienlijk. Er zijn geen scenarioberekeningen uitgevoerd voor deze soorten (met uitzondering van de Scholekster, waar niet alleen territoriumstippen zijn bepaald, maar ook nesthoogtes zijn gemeten – zie later), dus het huidige overstromingsrisico kan niet vergeleken worden met vroeger, of met het hypothetische risico zonder bodemdaling. Omdat er ook geen metingen gedaan zijn in referentiegebieden elders in de Waddenzee zonder bodemdaling kunnen voor deze soorten geen conclusies getrokken worden over het effect van bodemdaling op het overstromingsrisico.

Voor de geselecteerde kolonievogels zijn juist wel ook elders in de Waddenzee hoogtemetingen. Bij de onderzochte kolonievogels (Lepelaar, Visdief, Kokmeeuw) bestaat er een grote variatie tussen kolonies wat betreft het berekende overstromingsrisico. Voor de Visdief konden in 2013 geen hoogtemetingen verricht worden in een kwelderkolonie binnen het bodemdalingsgebied op Ameland. Bij de in kolonies broedende Lepelaar was het mediane overstromingsrisico op de kwelder van Ameland van 38% gemiddeld hoger dan de gemiddelde waarde van het mediane overstromingsrisico op kwelders elders in de Waddenzee van 16%. Ook bij de Kokmeeuw is dit risico op de kwelders van Ameland met 29% gemiddeld hoger dan elders in de Waddenzee waar dit risico 22% bedraagt. Zowel binnen Ameland als elders in de Waddenzee is de variatie in overstromingsrisico tussen kolonies erg groot, variërend van 0% tot 75%. De scenarioberekeningen laten zien dat het overstromingsrisico voor risicovolle kolonies van de Kokmeeuw en Lepelaar respectievelijk 20% en 40% lager zou zijn geweest zonder bodemdaling. De meest betrouwbare gegevens zijn verzameld voor de Scholeksters in het studiegebied op het Nieuwlands Reid. De scenarioberekeningen laten zien dat bodemdaling heeft geleid tot een toename van het overstromingsrisico met ongeveer 20%. Wat dit betekent voor het broedsucces van de Scholeksters is zonder nader onderzoek aan dat broedsucces niet vast te stellen.

## 7. Aanbevelingen

Op basis van de eerder besproken kanttekeningen bij de berekende overstromingsrisico's kunnen de volgende aanbevelingen worden geformuleerd:

1. Maak een betere hoogtekaart van Neerlands Reid en Hon door aanvullende metingen met DGPS.
2. Maak een hydrodynamisch model van het overstromen van de kwelder.
3. Meet het overstromingsrisico op verschillende locaties op de kwelder middels diepteloggers, om daarmee de interpolatie van waterstanden en het hydrodynamisch model te ijken.
4. Verbeter het opslibbingsmodel, zodat betere terugrekeningen en scenarioberekeningen kunnen worden uitgevoerd wat het overstromingsrisico betreft.
5. Maak voor verspreid broedende vogels niet alleen jaarlijks stippenkaarten voor Neerlands Reid, maar ook voor de Hon, en zoek naar geschikte referentiegebieden elders in de Waddenzee.
6. Continueer de monitoring van kolonievogels op Ameland en in de referentiegebieden. Het gaat om Lepelaar, Kokmeeuw en Visdief. Het verdient aanbeveling om deze monitoring uit te breiden met Kluut, Noordse Stern, Stormmeeuw, Zilvermeeuw en Kleine Mantelmeeuw. Sommige van deze soorten broeden in zeer grote uitgestrekte kolonies. De locatie van die kolonies zou niet met een enkele stip moeten worden weergegeven, maar de contouren zouden bepaald moeten worden en binnen die contouren steekproefsgewijs de hoogteligging van de nesten en het omliggende gebied.
7. Meet voor de Scholekster de bijdrage van het toegenomen overstromingsrisico door bodemdaling aan de afname van het broedsucces, en daarmee aan de afname van de populatie. De intensief bestudeerde populatie op Schiermonnikoog kan hierbij als referentie dienen. De aantallen niet-broedende Scholeksters (waaronder de lokaal overwinterende populatie nestelend op Ameland) liggen ver onder het instandhoudingsdoel voor deze soort in de Waddenzee. Het is daarom belangrijk om de eventuele bijdrage van bodemdaling aan deze discrepantie te kwantificeren, in relatie tot de vele andere factoren die de omvang van de populatie Scholeksters bepalen.

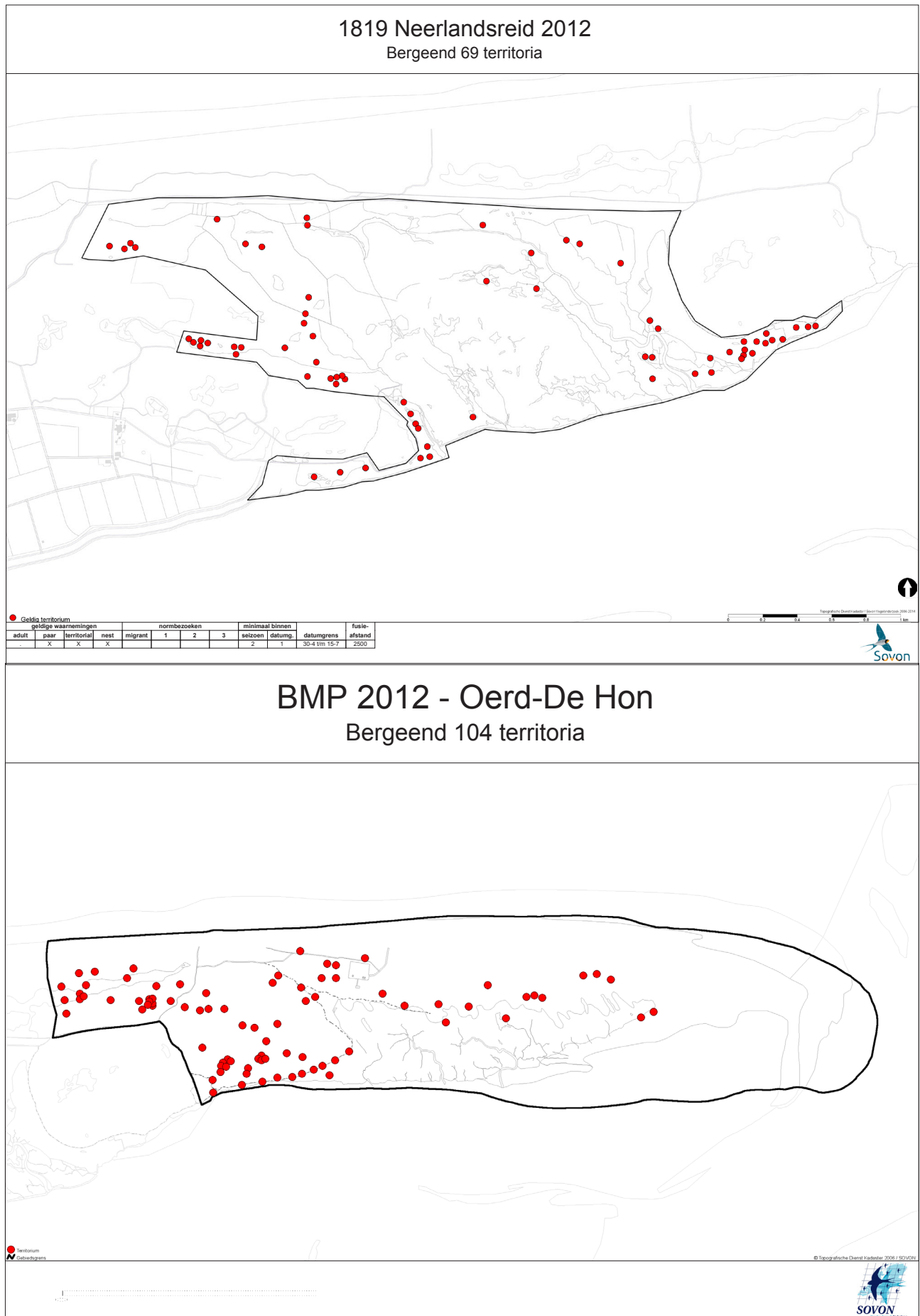


## Literatuur

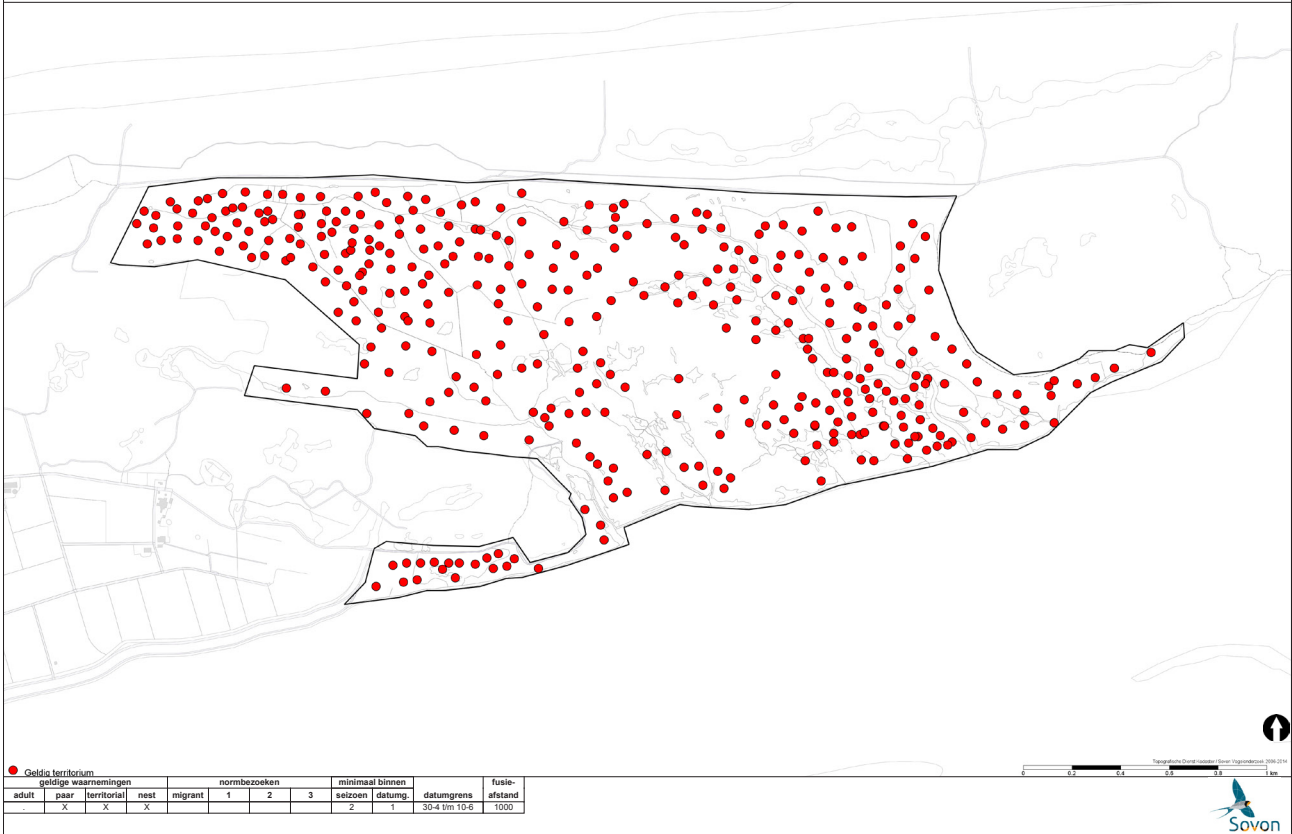
- DIJKEMA K.S., VAN DOLAH R.F., KOPPENAAAL E.C., DIJKMAN E.M. & VAN DUIN W.E. 2011. Kweldervegetatie Ameland 1986-2010: effecten van bodemdaling en opslibbing op Neerlands Reid en De Hon. Rapport Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost. Wageningen IMARES, Texel.
- ELIAS E. & WANG Z.B. 2013. Abiotische gegevens voor monitoring effect bodemdaling. Rapport. Deltares, Delft.
- HALLMANN C. & ENS B.J. 2011. Overstromingsrisico en broedsucces van Scholeksters op de kwelder van Ameland en Schiermonnikoog. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost 2005-2010, p. 67-92. NAM, Assen.
- KOFFIJBERG K., KAMPICHLER C. & ENS B.J. 2013. Overstromingsrisico's van kwelderbroedvogels in de Nederlandse Waddenzee in relatie tot de nieuwe gaswinnings. Sovon-rapport 2013/26. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- KROL J. & HALLMANN C. 2011. Effect van bodemdaling op situering, hoogteligging en overstromingsrisico van broedkolonies op De Hon. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost 2005 - 2010, p. 93-124. NAM, Assen.
- RAPPOLDT C. & ENS B.J. 2013. Het effect van bodemdaling op overwinterende scholeksters in de Waddenzee. Een modelstudie met WEBTICS. EcoCurves rapport 17/ Sovon-rapport 2013/19. EcoCurves / Sovon Vogelonderzoek Nederland, Haren / Nijmegen.
- SHAETHER S.J. 2004. Density Estimation. *Statistical Science* 19: 588-597.
- SILVERMAN B.W. 1986. Density estimation for statistics and data analysis. London.
- VAN DE POL M., ENS B.J., HEG D., BROUWER L., KROL J., MAIER M., EXO K.M., OOSTERBEEK K., LOK T., EISING C.M. & KOFFIJBERG K. 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 DIJK A.J. & BOELE A. 2011. Handleiding Sovon broedvogelonderzoek. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- VAN WIJNEN H.J. & BAKKER J.P. 2001. Long-term surface elevation change in salt marshes: a prediction of marsh response to future sea-level rise. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 52: 381-390.
-

# Appendices

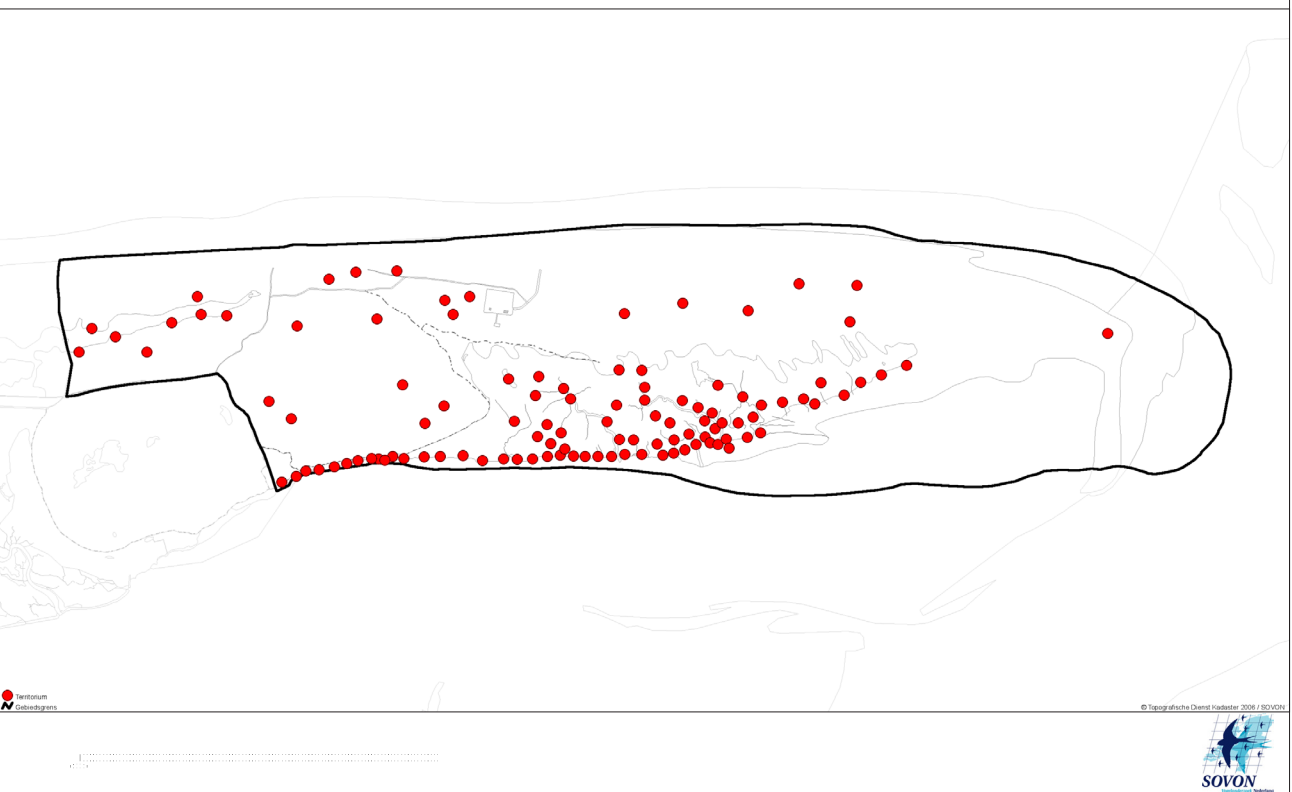
## Appendix A. Territoriumkaarten voor Neerlands Reid en Hon in 2012



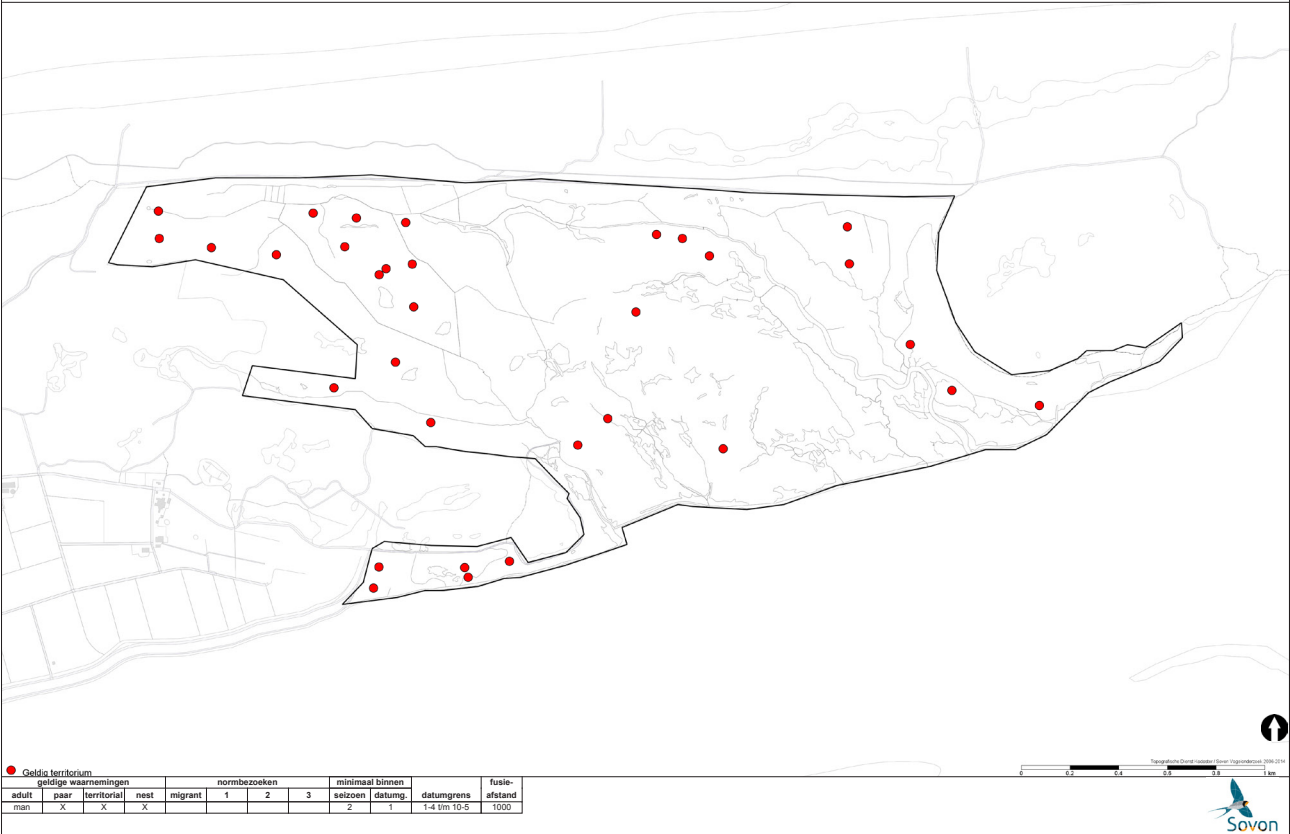
### 1819 Neerlandsreid 2012 Scholekster 375 territoria



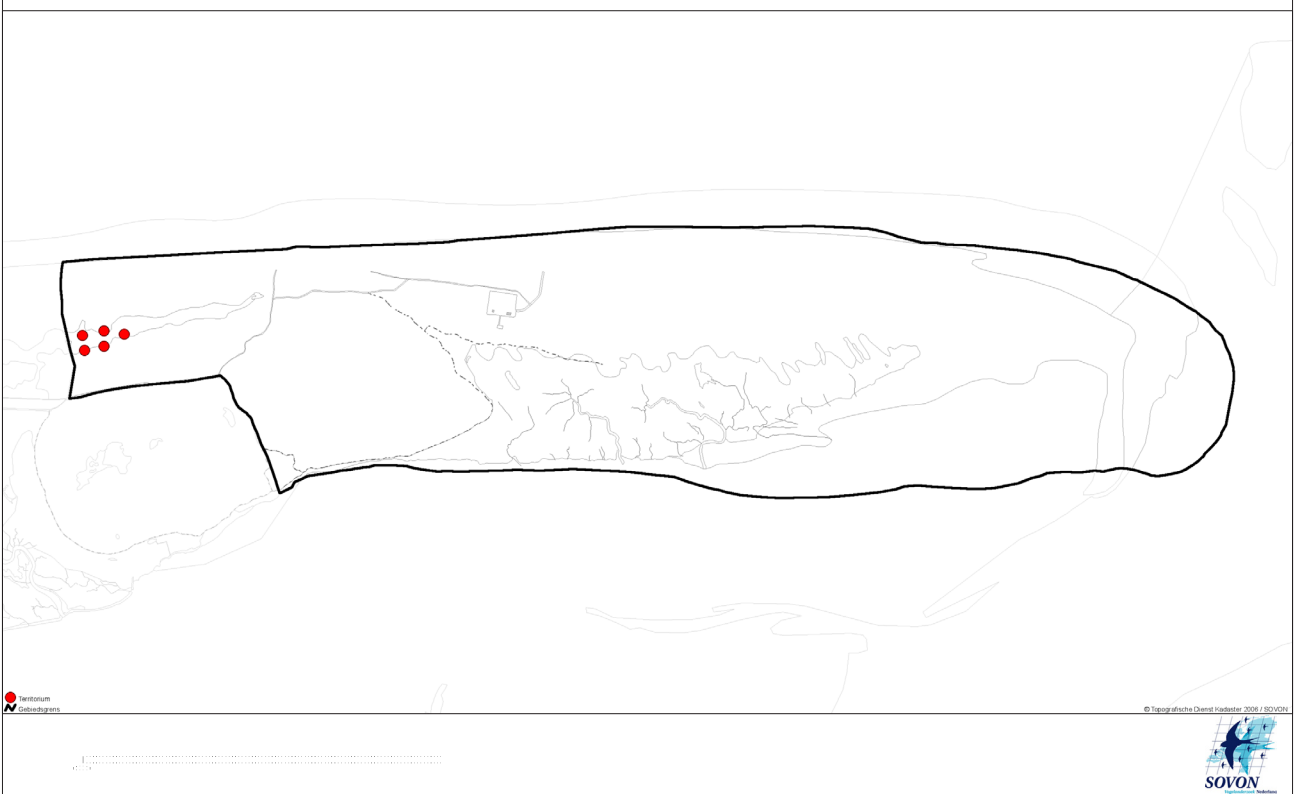
### BMP 2012 - Oerd-De Hon Scholekster 109 territoria



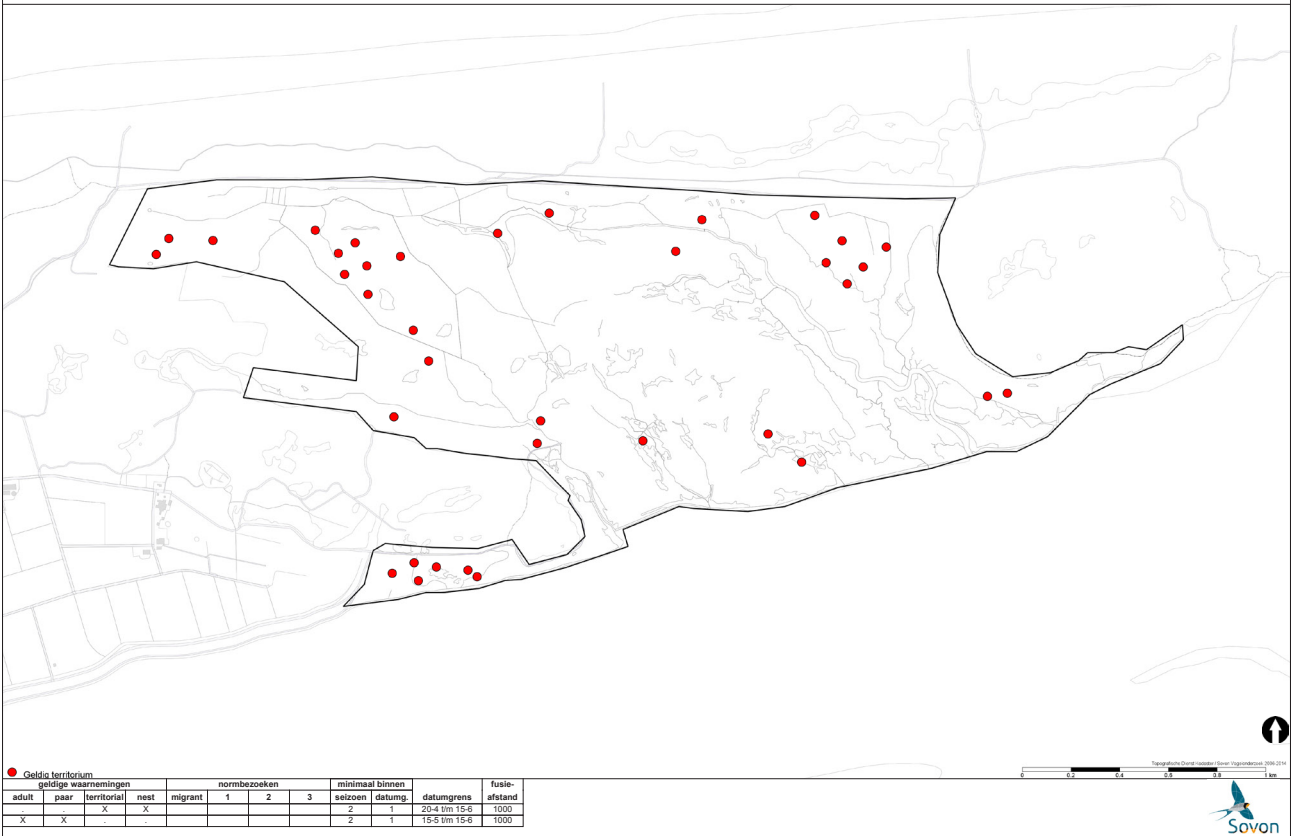
### 1819 Neerlandsreid 2012 Kievit 32 territoria



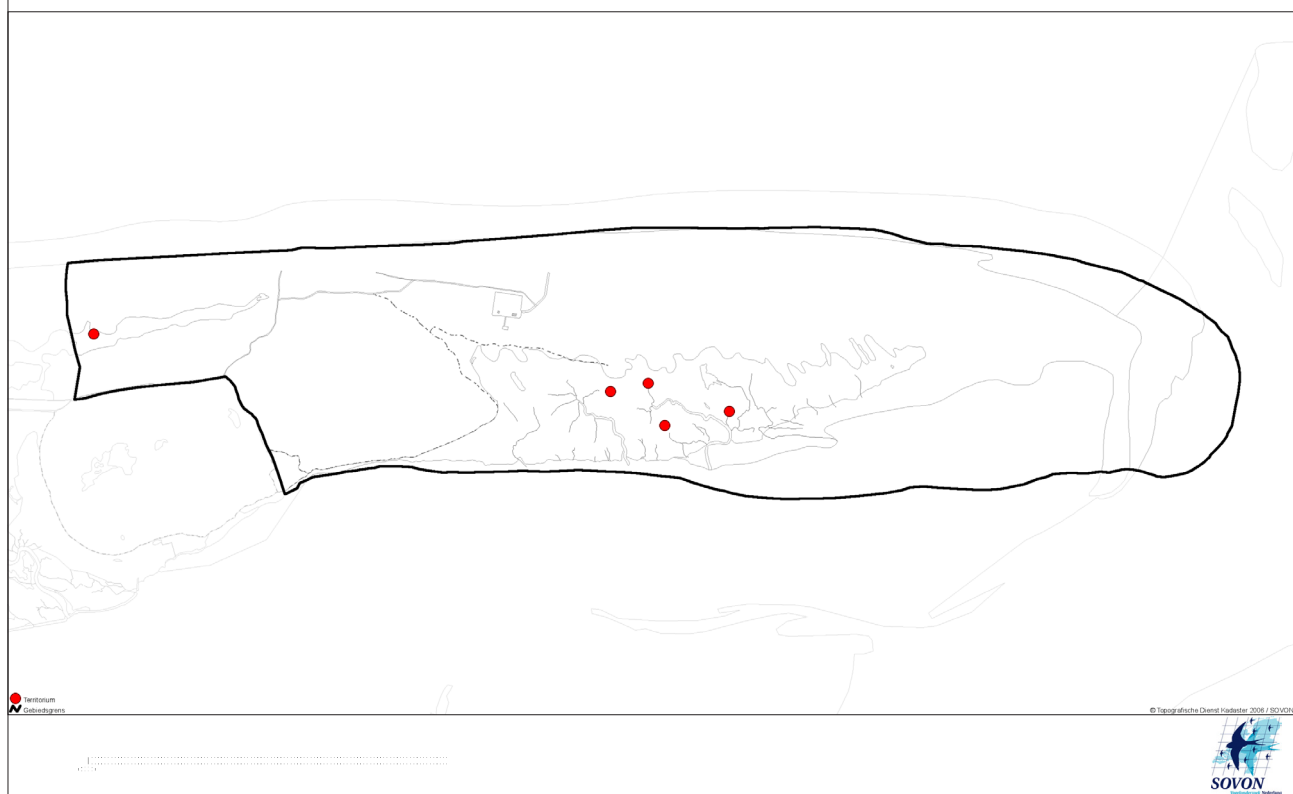
### BMP 2012 - Oerd-De Hon Kievit 5 territoria



### 1819 Neerlandsreid 2012 Tureluur 36 territoria



### BMP 2012 - Oerd-De Hon Tureluur 5 territoria



### 1819 Neerlandsreid 2012 Veldleeuwerik 34 territoria

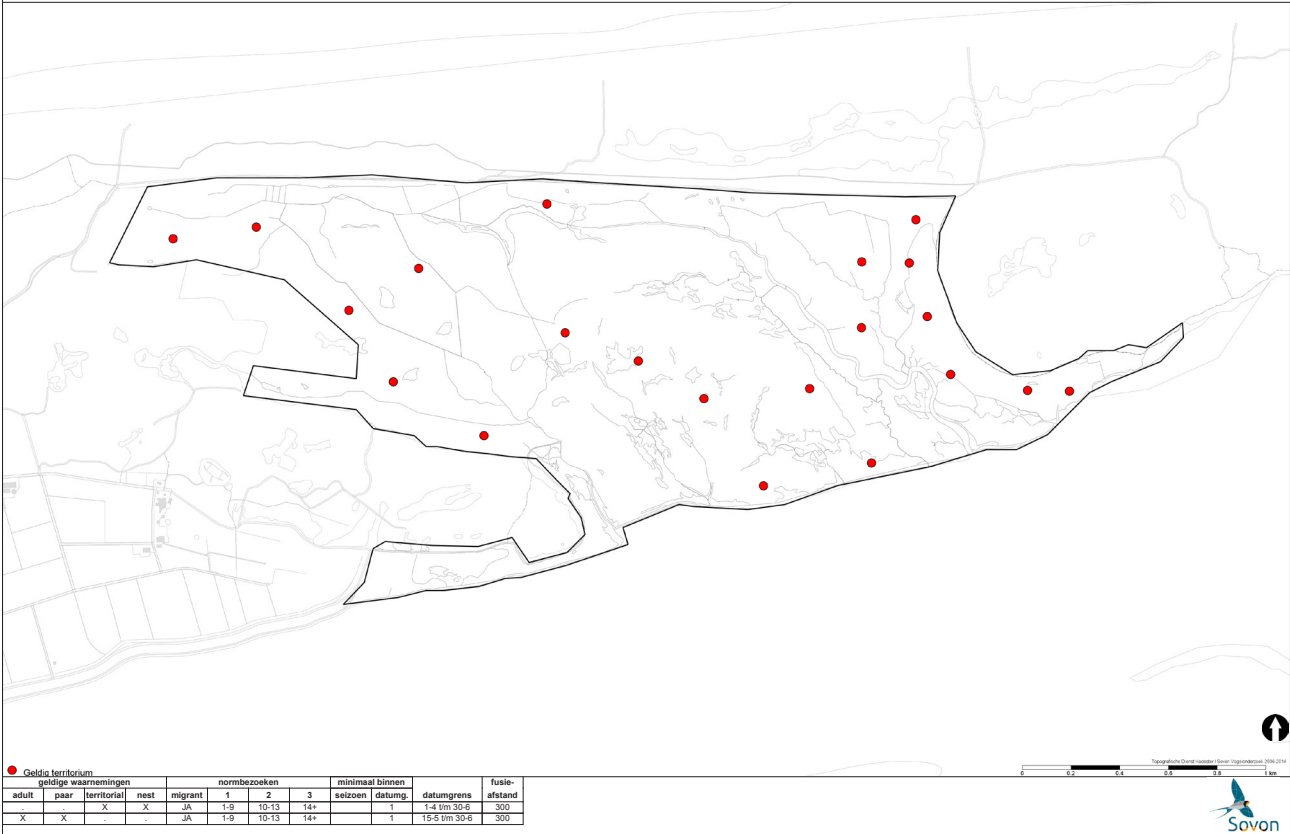


### BMP 2012 - Oerd-De Hon Veldleeuwerik 6 territoria

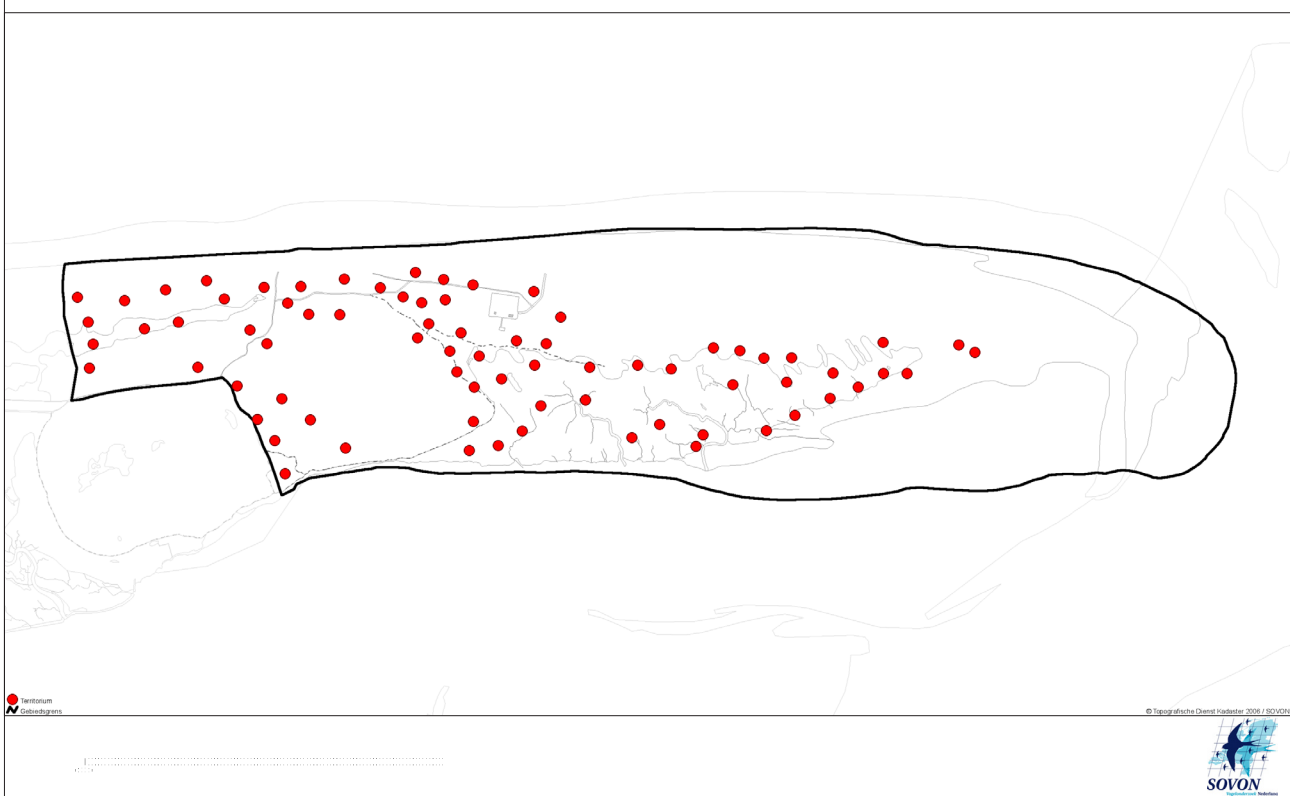




### 1819 Neerlandsreid 2012 Graspieper 21 territoria



### BMP 2012 - Oerd-De Hon Graspieper 75 territoria

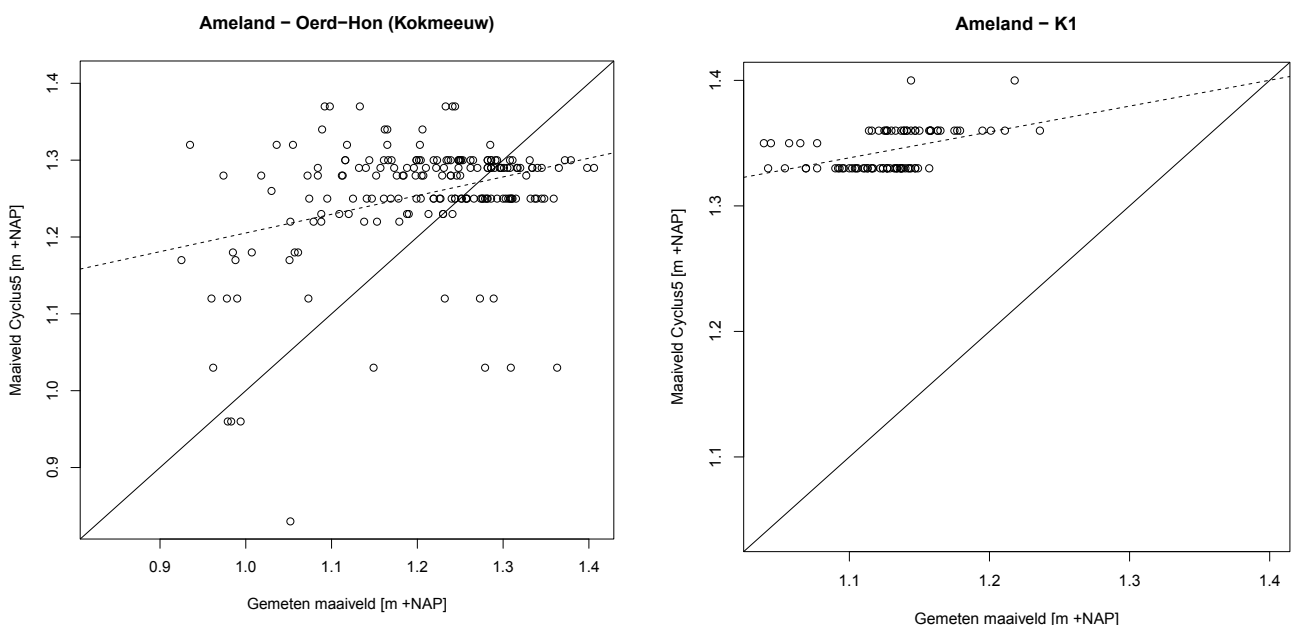


## Appendix B. Onderzoek naar correctie van hoogtekaarten

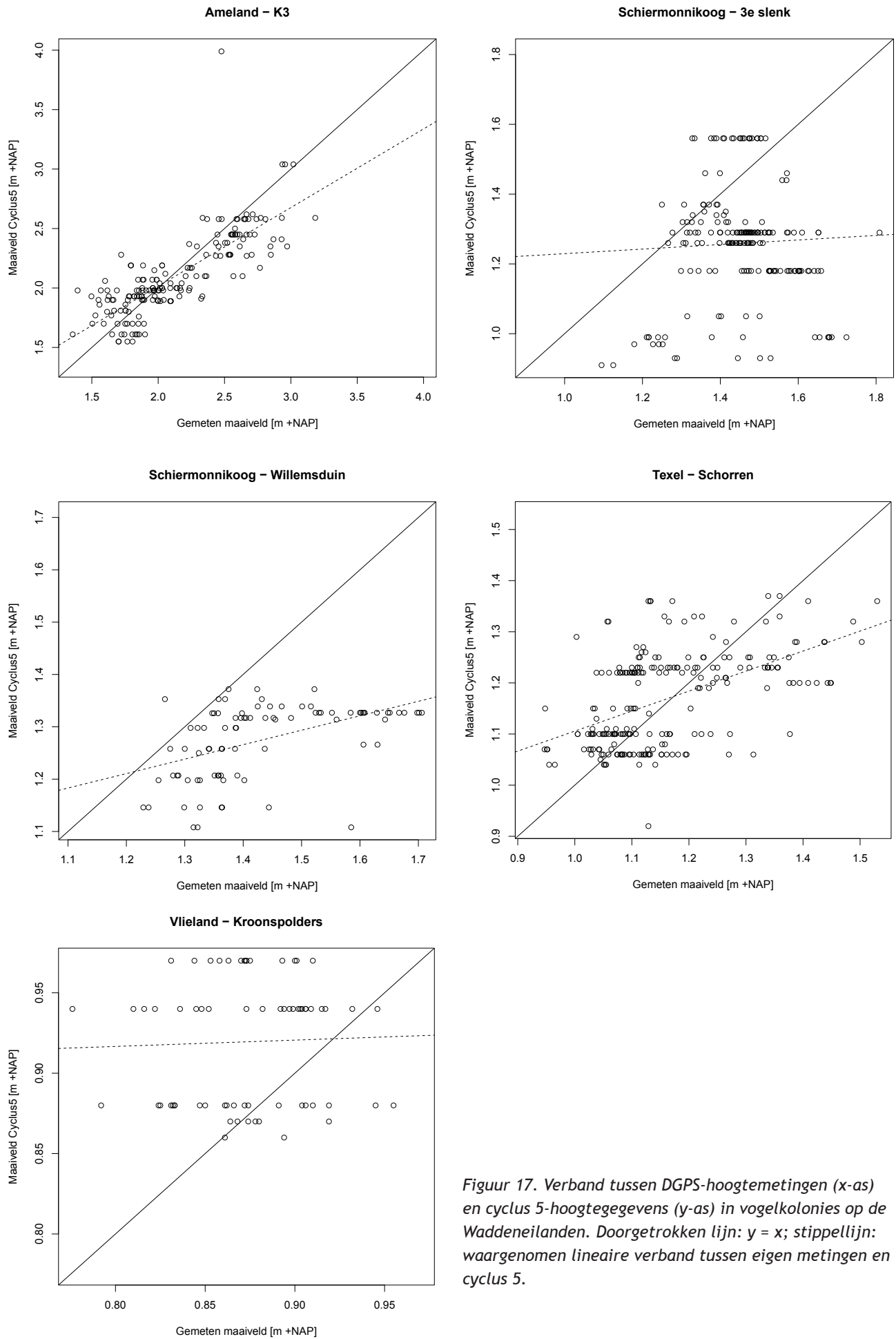
Als onderdeel van dit project is onderzocht of het mogelijk was de cyclus 5-bodemhoogtekaart te corrigeren op basis van de eigen DGPS-metingen in combinatie met gegevens over de vegetatie.

De hoogtegegevens van cyclus 5 zijn een combinatie van lodingen en in geval van kwelders laseraltimetrie LIDAR met een oplossing van 20 x 20 m als rasterkaart. LIDAR-metingen kunnen afhankelijk van de vegetatie tot een overschatting van hoogtewaarde leiden omdat de uit de lucht uitgezonden lasersignalen niet alleen van het maaiveld maar ook door plantendelen worden gereflecteerd. In het algemeen is dat geen groot probleem, omdat door de korte golflengte van de signalen altijd een gedeelte van het laserlicht toch de grond zal bereiken. Voor het berekenen van overstromingsrisico's is het echter wenselijk de bodemhoogte heel nauwkeurig te bepalen en een verschil van enige decimeters— dat in hoge zandgronden of heuvelland irrelevant zou zijn —kan een risicoberekening aanzienlijk vertekenen. In een eerste stap werden voor elke kolonie de met DGPS op de rasterpunten gemeten hoogtegegevens

door een overlay met de corresponderende gegevens uit de cyclus 5-kaart vergeleken. Meetpunten van nesten gebruikten wij niet voor deze vergelijking, omdat voor sommige soorten aanwijzingen bestaan dat ze voor hun nesten hoger gelegen plekken kiezen; daarmee zijn deze dus niet representatief voor het gemiddelde maaiveld. Figuur 17 laat zien dat er geen duidelijk verband bestaat tussen DGPS-metingen en cyclus 5-hoogtegegevens. Op sommige plekken liggen (bijna) alle cyclus 5-hoogtegegevens hoger dan de eigen metingen (Ameland – Hon/Kokmeeuw, Ameland – K1), op andere plekken is het precies andersom (Schiermonnikoog – 3e slenk, Schiermonnikoog – Willemsduin). Het is bovendien duidelijk dat voor elke bodemhoogte uit cyclus 5 een brede variatie aan corresponderend gemeten bodemhoogtegegevens bestaat (op Texel – Schorren bijvoorbeeld varieert voor een gekarteerde hoogte van 1,3 m de gemeten bodemhoogte tussen 1,0 en 1,5 m). Daarom kan geen simpele “correctie” van cyclus 5-hoogtegegevens worden toegepast.



Figuur 17. Vervolg, zie ommezijde.

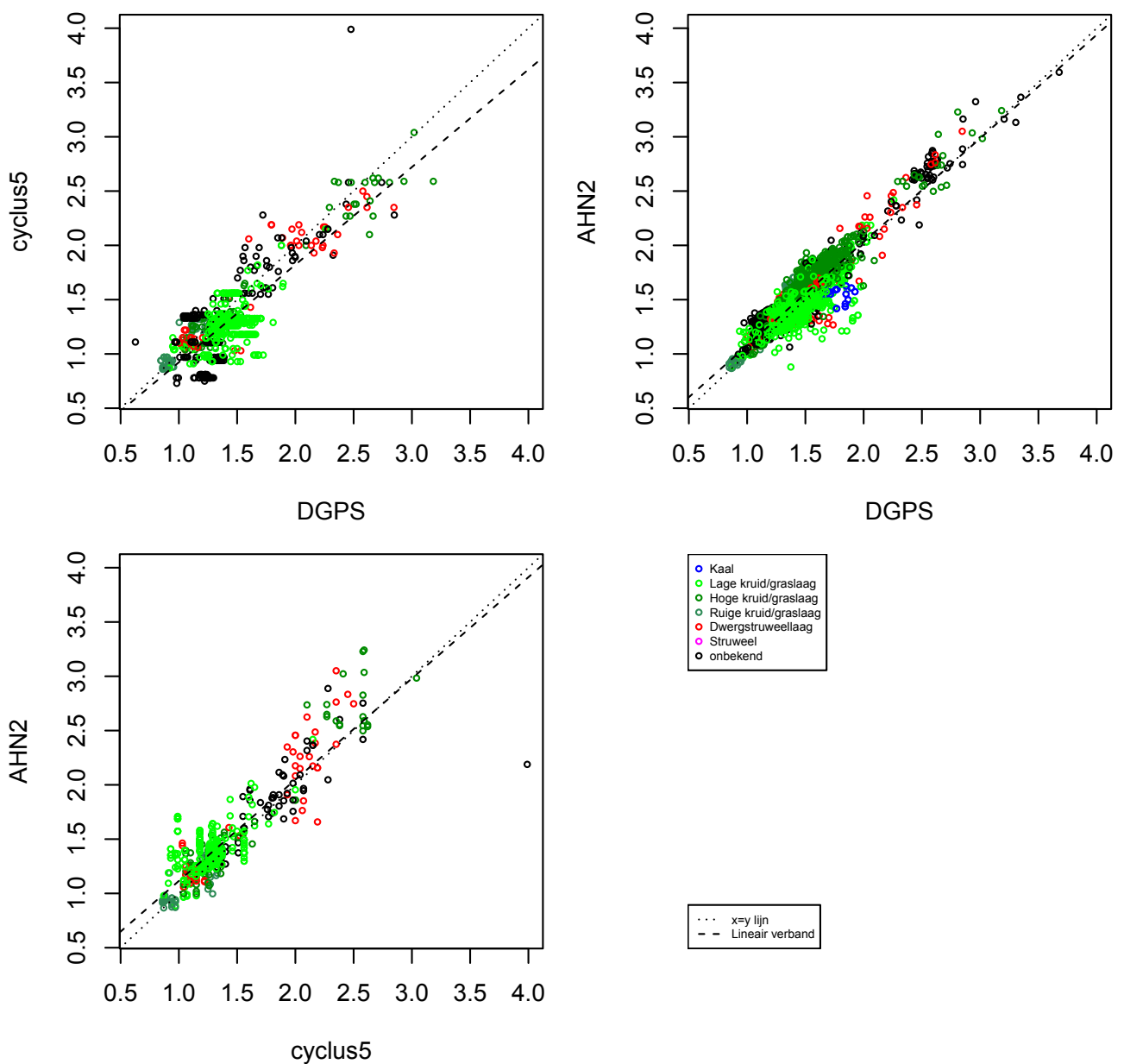


Figuur 17. Verband tussen DGPS-hoogtemetingen (x-as) en cyclus 5-hoogtegegevens (y-as) in vogelkolonies op de Waddeneilanden. Doorgetrokken lijn:  $y = x$ ; stippellijn: waargenomen lineaire verband tussen eigen metingen en cyclus 5.

Vervolgens werd geprobeerd te toetsen of de afwijkingen tussen cyclus 5-hoogtegegevens en eigen DGPS-metingen afhankelijk zijn van de eigenschappen van de vegetatie, m.n. van de vegetatiezonering en de vegetatiestructuur. Gebaseerd op de bij Rijkswaterstaat beschikbare vegetatiekaarten van de eilanden (Terschelling Boschplaat 2006, Ameland-Oost 2008, Vlieland Kroonspolders en Westerveld 2009, Schiermonnikoog 2010, Texel Slufter en andere kwelders 2011) werden voor de vegetatiezonering de volgende klassen gebruikt: kaal (kaal water, kaal slik, kaal zand, kaal met schelpen en kaal

met stenen), embryoduintjes en stranden, pionierzone kwelder, lage kwelde, middelhoge kwelder, brakke kwelder, hoge kwelder, nitrofiële kwelder, mozaïek van kwelder en duinvegetaties en duinen. Vegetatiestructuur werd als volgt geclassificeerd: kaal, lage kruid/graslaag (0 – 30 cm), hoge kruid/graslaag (30 – 100 cm), ruige kruid/graslaag (> 1 m), dwergstruweellaag (0 – 100 cm), struweel (1 – 5 m). In Figuur 18 zijn de metingen tegen elkaar uitgezet waarbij een onderscheid is gemaakt naar vegetatiestructuur.

### Alle eilanden



Figuur 18. Verband tussen verschillende hoogtemetingen, waarbij een onderscheid is gemaakt tussen verschillende vegetatiestructuren. Er zijn alleen punten gebruikt waar de DGPS meting een rasterpunt betrof.

Een design met drie verklarende factoren (vegetatie-zonering, vegetatiestructuur, eiland) en hun interacties kon echter niet worden gedraaid, omdat het extreem onevenwichtig was: verschillende vegetatie-zones en -structuren of hun combinaties waren op sommige eilanden helemaal niet vertegenwoordigd waardoor het grootste deel van de cellen niet gevuld was. Bovendien waren de varianties niet homogeen en konden ook door een transformatie niet homogeen worden gemaakt. Er werd daarom voor gekozen alleen het effect van de vegetatiestructuur op de verschillen tussen DGPS en cyclus 5 middels een one-way ANOVA te bepalen, met als argument dat deze variabele als de invloedrijkste kan worden beschouwd voor de kwaliteit van de LIDAR-metingen. Met dezelfde aanpak werden ook de verschillen tussen DGPS en cyclus 5 en de intussen gratis beschikbare AHN2 getoetst. De verschillen tussen de methoden moesten voor de analyse worden log-transformeerd om homogeniteit van de varianties te bereiken, maar voor de vergelijking tussen DGPS en AHN2 was ook dat ontoereikend.

De verschillen tussen DGPS en cyclus 5 en tussen AHN2 en cyclus 5 waren statistisch significant afhankelijk van de vegetatiestructuur (alle ANOVA met  $p < 0,001$ ) (Tabel 3). Op lage en hoge kruid/graslagen en op dwergstruweellagen leverden de eigen DGPS-metingen hogere waarden op dan cyclus 5, terwijl op ruige kruid/graslagen de waarden van cyclus 5 hoger waren. Ondanks het feit dat de verschillen tussen DGPS en AHN2 niet konden worden getoetst zijn er duidelijke verschillen herkenbaar: op lage kruid/graslagen waren er nauwelijks verschillen tussen de methoden, maar op kale grond leverde DGPS duidelijk hogere, voor alle andere vegetatiestructuurklassen duidelijk lagere waarden op. Zeer opvallend zijn ook de significante verschillen tussen AHN2 en cyclus 5. Met uitzondering van de ruige kruid/graslagen, waar geen verschil tussen AHN2 en cyclus 5 werd gevonden, hoogtes van de AHN2 altijd hoger dan die van de cyclus 5.

Opmerkelijk zijn de hoge standaardafwijkingen voor bijna alle verschillen (Tabel 3). De significante verschillen tussen de methoden worden veroorzaakt door de grote steekproefomvang, maar niet door een lage variantie van de verschillen. Verder valt op dat sommige verschillen tussen DGPS en de hoogtekarten niet logisch te verklaren zijn. Het verschil tussen DGPS en AHN2 op kale grond bijvoorbeeld zou volgens de redenering, dat de vegetatie de grootste versturende factor voor een juiste hoogtemeting met LIDAR was, het kleinst moeten zijn, maar die was bijzonder hoog en bedroeg gemiddeld 18 cm. Voor lage en ruige kruid/graslagen en dwergstruweellagen zou de cyclus 5 door de versturende vegetatie hogere waarden moeten opleveren dan de DGPS, maar het was precies andersom. Sommige verschillen kloppen daarentegen wel weer goed met de verwachtingen. De hoogtegegevens van AHN2 op hoge en ruige kruid/graslagen en dwergstruweellagen bijvoorbeeld waren consistent hoger dan diegene van de DGPS-metingen.

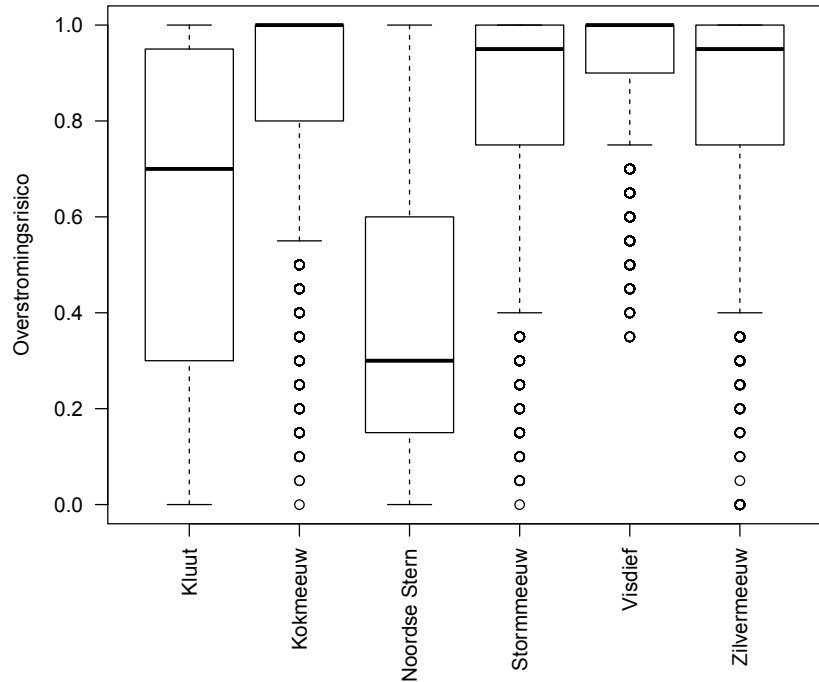
Op grond van de voorgaande analyse is ervoor gekozen om geen correctie toe te passen op de hoogtetellingen van cyclus5 en AHN2 op basis van de vegetatiekaart. Om uit te zoeken of het niet toch mogelijk is tot een betere correctie van cyclus5 en AHN2 te komen verdient het aanbeveling om een rigoreus toetsprogramma voor de DGPS-metingen te ondernemen, los van de hoogtemetingen van nesten en nestomgeving. Meetreeksen voor punten met een bepaalde vegetatiestructuur moeten op ijkpunten worden begonnen en weer eindigen. De afstanden tussen de meetpunten moeten voldoende groot zijn om hun ruimtelijke autocorrelatie zo klein mogelijk te houden en onafhankelijke meetwaarden te genereren – iets wat met het meten van nesten en nestomgeving niet kon worden gewaarborgd. Dat wil overigens niet zeggen dat ruimtelijke autocorrelatie de oorzaak was van het niet kunnen corrigeren van cyclus5 en AHN2.

Tabel 3. Verschilwaarden met standaardafwijking (in m) tussen DGPS, cyclus 5 en AHN2 hoogtegegevens voor verschillende vegetatiestructuur. De kolom "Vergeleken methoden" beschrijft welke variabelen van elkaar zijn afgetrokken, en dus de betekenis van de verschilwaardes (positieve waarden: hoogteligging volgens de eerste methode is hoger dan de hoogteligging volgens de methode die ervan wordt afgetrokken, negatieve waarden: andersom). Verschilwaarden in een regel met dezelfde superscripts zijn niet significant verschillend van elkaar ( $p > 0.05$ ).

Vergeleken methoden	Differentie (standaardafwijking) [m]				
	kaal	lage kruid/graslaag	Hoge kruid/graslaag	Ruige kruid/graslaag	Dwergstruweellaag
DGPS - cyclus5	NA	0,16 (0,18) <sup>a</sup>	0,07 (0,16) <sup>a</sup>	0,04 (0,09) <sup>b</sup>	0,03 (0,17) <sup>a</sup>
DGPS - AHN2	(0,18 (0,13)	0,02 (0,14)	-0,14 (0,10)	-0,14 (0,11)	-0,10 (0,14)
AHN2 - cyclus5	NA	0,11 (0,17) <sup>a</sup>	0,13 (0,19) <sup>a</sup>	0,00 (0,08) <sup>b</sup>	0,14 (0,22) <sup>a</sup>

## Appendix C. Koloniebroeders Neerlands Reid

In de broedvogelkarteringen van het Neerlands Reid zijn de koloniebroedende soorten soms met een stip per paar weergegeven en soms met een stip per kolonie met de vermelding van het aantal paren bij de stip. De interpretatie van het op basis van stippen berekende overstromingsrisico is daardoor lastig, omdat geen rekening kan worden gehouden met de variatie in risico binnen een kolonie als de hele kolonie met een enkele stip wordt weergegeven. Het is alleen mogelijk om de stip te wegen naar het aantal nesten. Het aldus berekende risico is wel opvallend hoog voor alle soorten (Figuur 19).



Figuur 19. Op basis van territoriumstippen berekende overstromingsrisico's van in kolonies broedende vogels op het Neerlands Reid voor de jaren 2008 t/m 2012.





In opdracht van de NAM



NAM Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

Sovon Vogelonderzoek Nederland

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

E [info@sovon.nl](mailto:info@sovon.nl)  
I [www.sovon.nl](http://www.sovon.nl)

