Laten groeien of mee bemoeien?

Een onderzoek naar de invloed van diverse vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel op de doorstroming in de Noordwaard

A.E. Kerkhoven
M. van Naamen

Land- en watermanagement
Hogeschool Van Hall Larenstein
1 juni 2017, Velp

Laten groeien of mee bemoeien?

Een onderzoek naar de invloed van diverse vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel op de doorstroming in de Noordwaard

Auteurs:

A.E. (Anne) Kerkhoven
a.e.kerkhoven@gmail.com
+31614200727

M. (Marloes) van Naamen
marloesvannaamen@hotmail.nl
+31622006368

Opdrachtgever: Gebr. van Kessel

Externe begeleider: J.L. Reijnierse
jreijnierse@kessel.nl

Interne begeleider: A.M.J. Berendsen-Sloot
anouk.berendsen@hvhl.nl

Land- en watermanagement
Toegepaste Hydrologie
Hogeschool Van Hall Larenstein
1 juni 2017, Velp

Afbeeldingen voorpagina: (Crone, 2015), (de Booij, 2016)

Voorwoord

Voor u ligt de vaktechnische scriptie over de invloed van diverse vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel op de doorstroming in de Noordwaard. Als vierdejaars studenten Land- en watermanagement, in de richting Toegepaste Hydrologie, van Hogeschool Van Hall Larenstein hebben wij de afgelopen vier maanden gewerkt aan deze scriptie. Dit afstudeeronderzoek hebben wij in opdracht van Gebr. van Kessel uitgevoerd.

In de eerste plaats willen wij Jan Louis Reijnierse, van Gebr. van Kessel, bedanken voor de prettige samenwerking. Van begin af aan heeft hij met ons meegedacht en nuttige feedback gegeven. Bovendien heeft hij ons met de juiste personen in contact gebracht, waardoor we vaart in ons onderzoek konden houden.

Daarnaast willen wij Bram Evers, van Royal HaskoningDHV, bedanken voor zijn hulp bij het realiseren van ons SOBEK model. Dankzij zijn inspanningen hebben wij met een goed functionerend SOBEK model kunnen werken. Hierdoor konden wij op tijd starten met het doorrekenen van verschillende scenario's.

Verder willen wij Theo Boudewijn, van Bureau Waardenburg, bedanken voor zijn snelle reacties op vragen die wij hadden over verschillende vegetatiestructuurtypen. Daarnaast heeft zijn inzet er voor gezorgd dat wij zo snel mogelijk de juiste vegetatie- en hoogtekaarten in bezit hadden.

Niet in de laatste plaats willen wij onze begeleider vanuit Hogeschool Van Hall Larenstein, Anouk Berendsen-Sloot, bedanken voor de tijd en inzet die zij aan ons afstudeeronderzoek heeft besteed. Naast haar hulp bij het SOBEK model, was ze ook altijd bereid om met ons mee te denken over bepaalde vraagstukken en beschikbaar voor het geven van feedback.

Ten slotte willen wij allen die geholpen hebben tijdens het schrijven van onze scriptie bedanken voor hun inzet, tijd en snelle reacties. Mede dankzij hen hebben wij ons afstudeeronderzoek tot een goed einde kunnen brengen.

Wij wensen u veel leesplezier.

Anne Kerkhoven & Marloes van Naamen Velp, mei 2017

Samenvatting

Eén van de Ruimte voor de Rivier projecten is de ontpoldering van de Noordwaard. Dit project is in oktober 2015 opgeleverd vanuit Rijkswaterstaat. Sindsdien is Gebr. van Kessel verantwoordelijk voor het onderhoud van een deel van de Noordwaard en zij moet hierbij de doorstroming van de Noordwaard waarborgen. Rijkswaterstaat heeft een doorstromingseis opgesteld van 30 centimeter waterstandsverlaging bij Gorinchem bij maatgevend hoogwater. Uit de doorstromingseis is een vegetatie-eis ontstaan. Vanuit Gebr. van Kessel bestaat de twijfel of deze vegetatie-eis niet te streng is. Hieruit volgt de onderzoeksvraag: "*Wat is de invloed van diverse vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel op de doorstroming in de Noordwaard?"*

Het verband tussen vegetatiestructuurtypen en opstuwing is als volgt: hoe ruwer de vegetatie, des te lager wordt de stroomsnelheid en des te hoger wordt de waterstand. Elk vegetatiestructuurtype heeft een bepaalde ruwheid, deze is uitgedrukt in een Nikuradse ruwheid.

Rijkswaterstaat heeft een oorspronkelijke situatie voor de Noorwaard bedacht. De aanwezige vegetatie in de Noordwaard is hierbij ingedeeld in vegetatiestructuurtypen. Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag is de oorspronkelijke situatie gemodelleerd in SOBEK; dit is de nulsituatie. De hoogte- en vegetatiekaart uit de oorspronkelijke situatie zijn gebruikt. Uit de nulsituatie, bij de afvoer-stormcombinatie die representatief is voor de maatgevende waterstand, volgt een maximale waterstand van 5.16 meter +NAP bij Gorinchem. Zonder Noordwaard is een waterstand van 5.59 meter +NAP gehaald. Deze situatie geeft, ten opzichte van de situatie zonder de Noordwaard, 0.43 meter verlaging. De nulsituatie wordt beschouwd als zijnde de oorspronkelijk bedachte situatie. Scenario's met een lagere waterstand dan de nulsituatie, hebben meer verlaging dan vereist. Deze scenario's voldoen aan de doorstromingseis.

De waterstand bij Gorinchem in de huidige situatie is bepaald aan de hand van de hoogteligging en de aanwezige vegetatie uit 2016. De huidige situatie, bij de afvoer-stormcombinatie die representatief is voor de maatgevende waterstand, geeft 0.05 meter waterstandsverlaging ten opzichte van de nulsituatie. Een maximale waterstand van 5.11 meter +NAP bij Gorinchem is hierbij gehaald.

Aan de hand van de gevoeligheidsanalyse is de invloed van verschillende vegetatiestructuurtypen in de Noordwaard bepaald. Deze gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd door het gehele beheergebied van Gebr. van Kessel één ruwheid te geven. Hieruit volgt dat hoe hoger de k_n waarde, hoe hoger de waterstand bij Gorinchem.

Geconcludeerd kan worden dat de doorstromingseis alleen wordt gehaald wanneer het gehele beheergebied van Gebr. van Kessel een k_n waarde van rond de 9 of lager heeft. Over de verhouding tussen het aantal vegetatiestructuurtypen met een hoge of lage k_n waarde die binnen het beheergebied aanwezig mogen zijn, kan geen uitspraak worden gedaan. Wel kan worden gezegd dat het deelgebied "Kooiwaard" het gevoeligst is voor een hoge k_n waarde en dat het deelgebied "laag bekade polders" het minst gevoelig is. Daarnaast volgt uit de resultaten dat de huidige situatie uit 2016 ruimschoots voldoet aan de doorstromingseis. Hieruit kan geconcludeerd worden dat Gebr. van Kessel kan toewerken naar een zo duurzaam mogelijke manier van beheer van de Noordwaard, waarbij minder machinaal gemaaid hoeft te worden.

Uit de conclusie volgen diverse aanbevelingen. De belangrijkste aanbeveling die wordt gedaan richting Gebr. van Kessel is het verder opdelen van het beheergebied en het variëren van de vegetatiestructuurtypen waarmee wordt gerekend. Daarnaast wordt aanbevolen om de scenario's die in SOBEK zijn doorgerekend ook met WAQUA door te rekenen. Verder wordt geadviseerd om met een fijner grid te rekenen. Tot slot wordt aanbevolen om ook rekening te houden met de vegetatie buiten het beheergebied van Gebr. van Kessel.

Inhoud

Voorwoord - 2 -
Samenvatting - 3 -
1. Inleiding - 6 -
1.1 Kader - 6 -
1.2 Aanleiding - 6 -
1.3 Projectgebied - 7 -
1.4 Probleemanalyse - 7 -
1.5 Onderzoeksvraag - 8 -
1.6 Doelstelling - 8 -
1.7 Doelgroep - 8 -
1.8 Leeswijzer - 8 -
2. Theoretisch kader - 9 -
2.1 Doorstroomde vegetatie - 10 -
2.2 Overstroomde vegetatie - 12 -
3. Methode - 13 -
3.1 Deelvraag 1 - 13 -
3.1.1 Ruwheid - 13 -
3.1.2 Resultaat - 13 -
3.2 Deelvraag 2 - 13 -
3.2.1 SOBEK model - 14 -
3.2.2 Hoogtekaart - 18 -
3.2.3 Vegetatiekaart - 18 -
3.2.4 Resultaat - 19 -
3.3 Deelvraag 3 - 19 -
3.3.1 Hoogtekaart 2016 - 19 -
3.3.2 Vegetatiekaart 2016 - 19 -
3.3.3 Resultaat - 19 -
3.4 Deelvraag 4 - 20 -
3.4.1 Gevoeligheidsanalyse - 20 -
3.4.2 Resultaat - 20 -
4. De Noordwaard - 21 -
4.1 Indeling Noordwaard - 21 -
4.2 Beheer Noordwaard - 22 -
5. Vegetatiestructuurtypen en ruwheid - 23 -
5.1 Vegetatiestructuurtypen - 23 -

5.2 Doorstroomde vegetatiestructuurtypen ..... - 24 -
5.3 Overstroomde vegetatiestructuurtypen ..... - 24 -
5.4 Ruwheid per vegetatietype ..... - 26 -
6. Nulsituatie ..... - 27 -
6.1 Hoogte en vegetatie ..... - 27 -
6.2 Waterstand Gorinchem (zonder Noordwaard) ..... - 29 -
6.3 Resultaten SOBEK model nulsituatie ..... - 29 -
6.4 Verhouding SOBEK - WAQUA ..... - 30 -
7. Huidige situatie ..... - 31 -
7.1 Hoogte en vegetatie ..... - 31 -
7.2 Resultaten SOBEK model huidige situatie ..... - 34 -
8. Gevoeligheidsanalyse ..... - 35 -
8.1 Gevoeligheid beheergebied ..... - 35 -
8.2 Resultaten gevoeligheid beheergebied ..... - 36 -
8.3 Invloed deelgebieden ..... - 38 -
8.4 Resultaten invloed deelgebieden ..... - 39 -
8.5 Overige scenario's ..... - 39 -
8.6 Resultaten overige scenario's ..... - 41 -
9. Conclusie en aanbevelingen ..... - 42 -
9.1 Conclusie ..... - 42 -
9.2 Aanbevelingen ..... - 43 -
10. Discussie ..... - 45 -
11. Reflectie ..... - 47 -
11.1 A.E. (Anne) Kerkhoven ..... - 47 -
11.2 M. (Marloes) van Naamen ..... - 47 -
Bibliografie ..... - 48 -
Bijlagen ..... - 50 -

1. Inleiding

1.1 Kader

In 2007 heeft het kabinet een commissie ingesteld onder voorzitterschap van oud-minister Cees Veerman. Deze Deltacommissie heeft in 2008 aanbevelingen gedaan over de manier waarop Nederland de komende eeuw de waterveiligheid moet verbeteren en de zoetwatervoorziening op orde moet houden, rekening houdend met klimatologische- en maatschappelijke ontwikkelingen (Deltacommissaris, 2016). De belangrijkste aanbeveling van de commissie was om een Deltawet te maken. In deze Deltawet staat onder andere dat ieder jaar een Deltaprogramma moet verschijnen. Het eerste Deltaprogramma is in 2010 aan de Tweede Kamer aangeboden. In het vijfde Deltaprogramma heeft de Deltacommissaris vijf deltabeslissingen voorgesteld om het waterveiligheidsbeleid te verbeteren en ervoor te zorgen dat Nederland over voldoende zoetwater blijft beschikken (Deltaprogramma 2015). Eén van die beslissingen is de Deltabeslissing Waterveiligheid. Binnen het Deltaprogramma worden acht gebieden onderscheiden. De gebieden hebben de voorgestelde deltabeslissingen per deelgebied vertaald in een voorkeursstrategie voor waterveiligheid en zoetwater. De deltacommissaris brengt ieder jaar als onderdeel van het jaarlijkse Deltaprogramma een voorstel voor de programmering van maatregelen uit, in het Deltaplan Waterveiligheid en het Deltaplan Zoetwater (Deltacomissaris, 2017).

Een onderdeel van het Deltaplan Waterveiligheid is het Ruimte voor de Rivier project. Dit project heeft als doel een veilig rivierengebied en een aantrekkelijke leefomgeving. Met dat doel geeft Ruimte voor de Rivier op ruim dertig plaatsen de rivier meer ruimte (Ruimte voor de Rivier, 2017). Het project is in 2001 gestart en liep officieel tot 2015. Aangezien nog niet alle projecten waren afgerond, is besloten dat de maatregelen uiterlijk in 2017 gerealiseerd moeten zijn (Algemene Rekenkamer, 2010).

Eén van de Ruimte voor de Rivier projecten is de ontpoldering van de Noordwaard. De voormalige Noordwaard polder is een gebied van zo'n 4450 hectare. Deze is gelegen tussen de Brabantse Biesbosch en de rivier de Nieuwe Merwede. Door ontpoldering is de veiligheid in het benedenrivierengebied vergroot. Het rivierwater kan hierdoor bij hoogwater de Noordwaard in- en uitstromen. Het project is in 2009 gestart en in vijf jaar tijd is een deel van de Noordwaard opnieuw ingedeeld en daarbij gewijzigd van een binnendijks- naar een buitendijks gebied. In het midden is een doorstroomgebied ontstaan om bij hoogwater de doorstroom van grote hoeveelheden rivierwater naar zee mogelijk te maken. De ontpoldering levert een aanzienlijke waterstandsverlaging op: 60 centimeter bij de instroomopening in Werkendam en 30 centimeter bij Gorinchem, dat ongeveer acht kilometer stroomopwaarts ligt. Door de open verbindingen komt de nu ontpolderde Noordwaard bovendien opnieuw onder invloed van eb en vloed (Ruimte voor de Rivier, 2017).

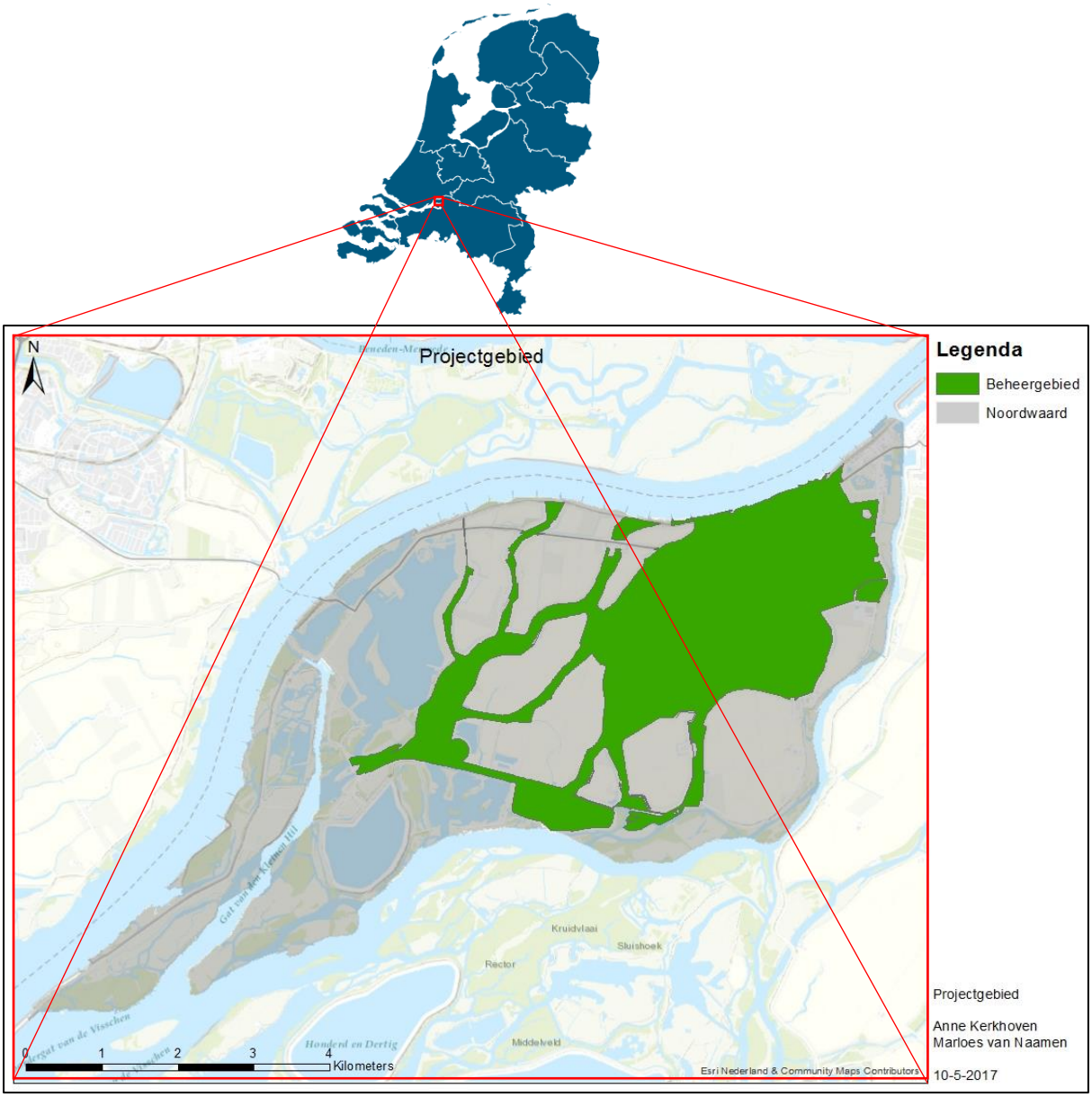
1.2 Aanleiding

In oktober 2015 is het Ruimte voor de Rivier project 'Ontpoldering van de Noordwaard' opgeleverd. Sindsdien is Gebr. van Kessel verantwoordelijk voor het onderhoud van de vegetatie van een deel van de Noordwaard. Zij moet de doorstroming van de Noordwaard waarborgen. De doorstromingseis die Rijkswaterstaat heeft opgesteld bij maatgevend hoogwater voor de Noordwaard is een waterstandsverlaging van 30 centimeter bij Gorinchem. Deze doorstromingseis is geuit in een vegetatie-eis waar Gebr. van Kessel zich aan moet houden. Hierbij moet, bij het onderhouden van de Noordwaard, zoveel mogelijk rekening worden gehouden met natuurontwikkeling. Natuurontwikkeling is hierbij altijd ondergeschikt aan het behoud van de doorstroming van de Noordwaard. De doelstelling voor natuurontwikkeling is het behouden en ontwikkelen van vegetatie, binnen de mogelijkheden van de doorstromingseis. Om de doorstroming te waarborgen, zet Gebr. van Kessel onder andere grote grazers in om de vegetatie te beheersen. Deze grote grazers zijn Schotse Hooglanders, Koniks, Waterbuffels en schapen. Dit duurzame concept voor begrazing is door Gebr. van Kessel, samen met FREE Nature en ecologisch Bureau Waardenburg, uitgewerkt. De grazers

beheersen de vegetatie niet voldoende om aan de doorstromingseis vanuit Rijkswaterstaat te voldoen. Hierdoor moet in september en oktober aanvullend machinaal gemaaid worden door Gebr. van Kessel (Gebr. van Kessel, 2017).

1.3 Projectgebied

In figuur 1 is het projectgebied van dit onderzoek weergegeven. Dit onderzoek betreft alleen het beheergebied van Gebr. van Kessel.



Figuur 1: Projectgebied met beheergebied Gebr. van Kessel (Boudewijn, 2017) (Overheid in Nederland, 2017)

1.4 Probleemanalyse

Rijkswaterstaat heeft naar aanleiding van de doorstromingseis een vegetatie-eis opgesteld voor het beheergebied van Gebr. van Kessel in de Noordwaard. Deze vegetatie-eis houdt in dat vegetatie niet hoger dan 30 centimeter mag zijn in de periode van 1 november tot en met 31 maart (Olthof, Tollenaar, & Wijma, 2015). Met het hanteren van deze vegetatie-eis gaat veel vegetatie verloren. Vanuit Gebr. van Kessel en Bureau Waardenburg bestaat de twijfel of de gehanteerde vegetatie-eis niet te streng is. Met een minder strenge eis, hoeft Gebr. van Kessel minder te maaien en worden kansen en mogelijkheden gecreëerd voor natuurontwikkeling. Daarnaast bespaart het kosten en

hoeven de grazers niet of nauwelijks te worden bijgevoerd. Door het in twijfel trekken van de vegetatie-eis moet de invloed van vegetatiestructuurtypen op de waterstand bij Gorinchem opnieuw worden bekeken. Het gaat hier alleen om vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel.

1.5 Onderzoeksvraag

Aan de hand van de probleemanalyse kan de volgende onderzoeksvraag worden geformuleerd: "*Wat is de invloed van diverse vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel op de doorstroming in de Noordwaard?*"

Met behulp van onderstaande deelvragen wordt de onderzoeksvraag beantwoord:

1. Welke ruwheden, gehanteerd door Rijkswaterstaat, horen bij de verschillende vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel in de Noordwaard?
2. Wat gebeurt er, ten opzichte van de situatie zonder de Noordwaard, met de maximale waterstand bij Gorinchem wanneer de nulsituatie (de oorspronkelijk bedachte situatie voor de Noordwaard) in SOBEK wordt gemodelleerd bij de afvoer-stormcombinatie die representatief is voor de maatgevende waterstand?
3. Wat gebeurt er, ten opzichte van de nulsituatie, met de maximale waterstand bij Gorinchem wanneer de huidige situatie (vertaald in een model, dat gemaakt is op basis van het hoogteprofiel van april 2016 en de vegetatie van augustus 2016) in SOBEK wordt gemodelleerd bij de afvoer-stormcombinatie die representatief is voor de maatgevende waterstand?
4. Wat is de relatie tussen de maximale waterstand bij Gorinchem en diverse vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel in de Noordwaard?

1.6 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om Gebr. van Kessel meer inzicht te geven over de invloed van de vegetatiestructuurtypen in hun beheergebied op de waterstand bij Gorinchem. Dit onderzoek kan leiden tot een vervolgonderzoek waarin Rijkswaterstaat de vegetatie-eis opnieuw gaat berekenen aan de hand van hun eigen modellen. Uiteindelijk zou dit kunnen leiden tot een aanpassing in de frequentie van maaien door Gebr. van Kessel. Hierdoor kunnen kosten bespaard worden, kan meer natuurontwikkeling plaatsvinden en hoeven de grazers niet of nauwelijks bijgevoerd te worden.

1.7 Doelgroep

Dit rapport is bedoeld voor de opdrachtgever Gebr. van Kessel, vertegenwoordigd door Jan Louis Reijnierse. Daarnaast is het rapport bestemd voor Theo Boudewijn, van het ecologische Bureau Waardenburg en voor de interne begeleider vanuit Hogeschool Van Hall Larenstein, Anouk Berendsen-Sloot. Tot slot is dit rapport bedoeld voor alle overige, bij dit onderzoek, betrokken en hierin geïnteresseerde personen.

1.8 Leeswijzer

Het rapport bestaat uit elf hoofdstukken. Het eerste hoofdstuk bevat de inleiding. In hoofdstuk twee wordt ingegaan op het theoretisch kader van het onderzoek, waarna in hoofdstuk drie de methode volgt. Hoofdstuk vier geeft specifieke informatie over de Noordwaard en in hoofdstuk vijf worden de vegetatiestructuurtypen gekoppeld aan een ruwheid. In hoofdstuk zes komt de nulsituatie en de invloed hiervan op de waterstand bij Gorinchem aan bod. In hoofdstuk zeven wordt de invloed van de huidige situatie op de waterstand bij Gorinchem bekeken. Hoofdstuk acht gaat in op de gevoeligheidsanalyse, waarna in hoofdstuk negen de conclusie en aanbevelingen aan bod komen. Hierna volgt in hoofdstuk tien de discussie. Tot slot wordt in hoofdstuk elf gereflecteerd op het afstudeerproces.

2. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt de achtergrondinformatie wat betreft de relatie tussen de ruwheid van vegetatiestructuurtypen en de hierdoor veroorzaakte opstuwing gegeven. Daarnaast komen de formules aan bod die gebruikt kunnen worden bij het berekenen van de ruwheid van vegetatiestructuurtypen. Met een vegetatiestructuurtype wordt bedoeld: één of meerdere plant- of boomsoorten met dezelfde eigenschappen.

Elk vegetatiestructuurtype heeft een weerstand wanneer deze wordt door- of overstroomd. De mate van opstuwing wordt bepaald door de zogenaamde stromingsweerstand van de vegetatie ofwel de ruwheid. Dit is de weerstand die het water ondervindt als het door en over vegetatie stroomt tijdens hoogwater. Hoe groter de weerstand van de vegetatie is, des te hoger stuwen de waterstanden op (Peters, Kater, & Geerling, 2006). Rijkswaterstaat zegt hierover (Rijkswaterstaat, 2014):

"Hoe ruwer de vegetatie, des te lager wordt de stroomsnelheid en des te hoger wordt de waterstand."

De ruwheidsformuleringen die worden gebruikt geven relaties aan tussen de "aandrijvende" grootheden (waterdiepte en verhang) en de gemiddelde snelheid van het water. Deze formulering is weer gebaseerd op de relatie tussen de schuifspanning aan de bodem en de gemiddelde snelheid. In Nederland is de meest gebruikte formulering de formule van Chézy, deze luidt (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003):

$$u = C\sqrt{Ri}$$

met:
u = gemiddelde snelheid [m/s]
R = hydraulische straal [m]
i = energieverhang [-]
C = Chézy coëfficiënt [$m^{1/2}/s$]

Daarnaast kan gebruik gemaakt worden van de coëfficiënten van Manning en Strickler. De weerstandscoëfficiënten van Manning en Strickler kunnen omgeschreven worden naar de Chézy coëfficiënt aan de hand van onderstaande formules (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003):

$$C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n}$$ voor Manning met n = Manning coëfficiënt

$$C = R^{\frac{1}{6}} k_s$$ voor Strickler met k_s = Strickler coëfficiënt

Verder kan de Chézy coëfficiënt berekend worden met de Nikuradse zandruwheid k_n. De Chézy coëfficiënt kan met een gegeven k_n waarde worden bepaald met de vergelijking van White Colebrook:

$$C = 18\, log \frac{12R}{k_n}$$ met k_n = Nikuradse zandruwheid [m]

De Nikuradse ruwheid vertegenwoordigt de hoogte van een ruwheidselement op een overstroomd oppervlak. Een ruwheidselement kan bestaan uit een vlakke bodem, zonder vegetatie. Dit gaat dan om een bodem met bijvoorbeeld grind of zand. De ruwheid wordt dan bepaald aan de hand van de korreldiameter. Een ruwheidselement kan ook bestaan uit een bepaald soort vegetatie. Wanneer een ruwheidselement, ofwel de ruwheid, wordt bepaald voor een bepaald soort vegetatie, is deze afhankelijk van de waterdiepte (Makaske & Maas, 2015). De k_n wordt met de volgende formule berekend (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003):

$$k_n = \frac{12h}{10^{\frac{C_r}{18}}} \quad (1)$$

met:
h = waterdiepte [m]
C_r = representatieve Chézy waarde (vegetatie coëfficiënt) [$m^{1/2}/s$]

C_r is de representatieve Chézy coëfficiënt voor vegetatie. Bij het beschrijven van de weerstand van vegetatie kunnen twee categorieën worden onderscheiden:

1. Doorstroomde vegetatie: vegetatiehoogte ≥ waterhoogte
2. Overstroomde vegetatie: vegetatiehoogte < waterhoogte

2.1 Doorstroomde vegetatie

Wanneer sprake is van doorstroomde vegetatie is de vegetatiehoogte groter of gelijk aan de waterhoogte. Voor doorstroomde vegetatie wordt de representatieve Chézy coëfficiënt op de volgende manier bepaald (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003):

$$C_r = \sqrt{\frac{1}{\frac{A_r * h * C_d}{2g} + \frac{1}{C_b^2}}} \quad (2)$$

met:
C_r = representatieve Chézy waarde (vegetatie coëfficiënt) [$m^{1/2}/s$]
C_b = Chézy waarde van de bodem/ondergroei [$m^{1/2}/s$]
C_d = weerstandscoëfficiënt [-]
A_r = representatief aanstromend oppervlak vegetatie [$m^2/m^2/m$]
h = waterdiepte [m]
g = versnelling van de zwaartekracht [m/s^2]

C_b, de Chézy waarde van de bodem/ondergroei, wordt als volgt bepaald:

$$C_b = 18\log(\frac{12h}{k_b}) \quad (3)$$

met:
k_b = Nikuradse zandruwheid van de bodem [m]

Bovenstaande waarden (vergelijking 2 + 3) bepalen samen hoe groot de representatieve Chézy coëfficiënt wordt. In sommige gevallen, bij zachthoutooibos bijvoorbeeld, kan sprake zijn van ondergroei. Voor ondergroei moet in principe worden gerekend met een andere formule om C_r te bepalen. De A_r van het bos en de A_r van de ondergroei dienen in dat geval te worden opgeteld. De coëfficiënt C_b, die de ruwheid van de bodem in rekening brengt, is in dat geval niet relevant en kan verwaarloosd worden. Indien de waterdiepte < hoogte ondergroei, kan de representatieve Chézy coëfficiënt op de volgende wijze worden gevonden (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003):

$$C_r = \sqrt{\frac{2g}{(A_{ro} + A_{rb}) * h * C_d}} \quad (4)$$

met:
A_{rb} = representatief aangestroomd oppervlak opgaande vegetatie [$m^2/m^2/m$]
A_{ro} = representatief aangestroomd oppervlak ondergroei [$m^2/m^2/m$]

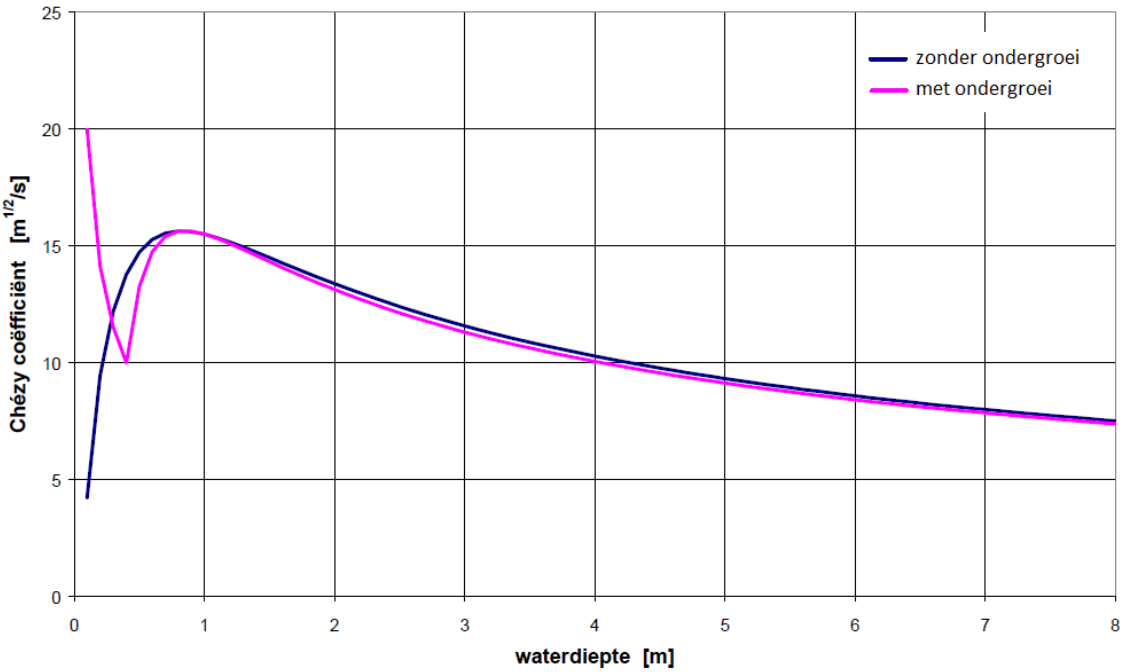
In het geval dat de waterdiepte ≥ hoogte ondergroei, kan de representatieve Chézy coëfficiënt op de volgende wijze worden gevonden (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003):

$$C_r = \frac{\sqrt{\frac{2g}{(A_{ro} + A_{rb}) * C_d} * k_0} + \sqrt{\frac{2g}{A_{rb} * C_d}} * (h - k_0)}{h\sqrt{h}} \qquad (5)$$

met:
k_0 = hoogte ondergroei [m]

In, (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003), wordt vergelijking 5 aanbevolen. Het blijkt echter dat de resultaten nagenoeg gelijk zijn aan die van vergelijking 2. Wanneer zonder ondergroei wordt gerekend, zoals in vergelijking 2, wordt met de ruwheid van de bodem wel rekening gehouden. In vergelijking 5 is dit niet het geval. Hierdoor schiet de representatieve Chézy waarde omhoog wanneer de waterdiepte de 0 nadert. Het toepassen van vergelijking 2 heeft daarom de voorkeur. Deze vergelijking heeft als voordeel dat dicht bij de bodem een betere weergave van de Chézy coëfficiënt wordt gevonden.

In figuur 2 is een grafiek weergegeven met daarin de bepaling van C_r op twee manieren voor zachthoutooibos. De paarse lijn geeft de C_r waarde weer, uitgezet tegenover de waterdiepte, zonder ondergroei (vergelijking 2). De roze lijn geeft de C_r waarde met ondergroei weer (vergelijking 5).



Figuur 2: Representatieve Chézy coëfficiënt voor zachthoutooibos met- en zonder ondergroei (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003)

2.2 Overstroomde vegetatie

Bij overstroomde vegetatie is de vegetatiehoogte kleiner dan de waterhoogte. De vegetatie wordt deels doorstroomd en deels overstroomd. De formule voor overstroomde vegetatie is aanzienlijk ingewikkelder dan die voor doorstroomde vegetatie, omdat hier sprake is van zowel doorstroomde als overstroomde vegetatie. De representatieve Chézy coëfficiënt voor overstroomde vegetatie kan met behulp van onderstaande formule worden bepaald (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003):

$$C_r = \frac{k_o\sqrt{\frac{2g}{C_d * m_o * D_o}} + (k - k_o)\sqrt{\frac{2g}{C_d * m * D}} + (h-k) * \left[\sqrt{\frac{2g}{C_d * m * D}} + C_v * \sqrt{(h-k)}\right]}{h\sqrt{h}} \quad (6)$$

met:
C_r = representatieve Chézy waarde (vegetatie coëfficiënt) [$m^{1/2}/s$]
C_v = Chézy coëfficiënt gerelateerd aan top vegetatie [$m^{1/2}/s$]
C_d = weerstandscoëfficiënt (drag) hoge kruidlaag [-]
D = gemiddelde diameter stengel hoge kruidlaag [m]
D_o = gemiddelde diameter stengel lage kruidlaag [m]
h = waterdiepte [m]
k = gemiddelde hoogte hoge kruidlaag [m]
k_o = gemiddelde hoogte lage kruidlaag [m]
m = gemiddeld aantal stengels hoge kruidlaag [$1/m^2$]
m_o = gemiddeld aantal stengels lage kruidlaag [$1/m^2$]
g = versnelling van de zwaartekracht [m/s^2]

3. Methode

Dit hoofdstuk beschrijft de methoden die gehanteerd zijn bij het beantwoorden van de onderzoeksvraag en bijbehorende deelvragen. In elke paragraaf wordt één deelvraag behandeld.

3.1 Deelvraag 1

Om de deelvraag *"Welke ruwheden, gehanteerd door Rijkswaterstaat, horen bij de verschillende vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel in de Noordwaard?"* te kunnen beantwoorden wordt een literatuurstudie uitgevoerd.

3.1.1 Ruwheid

De literatuurstudie wordt uitgevoerd aan de hand van het handboek: "Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden" (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003). In dit handboek staan zeven clusters waarin 26 verschillende vegetatiestructuurtypen worden onderscheiden. Van deze 26 vegetatiestructuurtypen wordt de Nikuradse ruwheid bepaald. De Nikuradse ruwheid wordt bepaald aan de hand van de volgende formule (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003):

$$k_n = \frac{12h}{10^{\frac{C_r}{18}}}$$

met:
h = waterdiepte [m]
C_r = representatieve Chézy coëfficiënt vegetatie [$m^{1/2}/s$]
k_n = Nikuradse ruwheid [m]

De ruwheid wordt bepaald bij een waterdiepte van 2.5 meter. Dit is de waterdiepte in het gebied bij een debiet van 16.000 m^3/s bij Lobith (Wijma, 2009). Naast de waterhoogte wordt de representatieve Chézy coëfficiënt (C_r) bepaald om de Nikuradse ruwheid (k_n) te berekenen. De C_r waarde wordt bepaald uit de grafiek "Verloop weerstandscoëfficiënt van Chézy met de waterdiepte" van het handboek. In deze grafiek wordt bij een waterdiepte van 2,5 meter een representatieve Chézy coëfficiënt afgelezen. Vervolgens wordt de ruwheid per vegetatiestructuurtype berekend.

3.1.2 Resultaat

Het resultaat is een tabel waarin per vegetatiestructuurtype de Nikuradse ruwheid is weergegeven. Met deze ruwheid wordt in SOBEK gerekend. Met behulp van de tabel krijgen de vegetatiestructuurtypen in de vegetatiekaarten, die worden gemaakt naar aanleiding van de overige deelvragen, de juiste ruwheid.

3.2 Deelvraag 2

De deelvraag "*Wat gebeurt er, ten opzichte van de situatie zonder de Noordwaard, met de maximale waterstand bij Gorinchem wanneer de nulsituatie (de oorspronkelijk bedachte situatie voor de Noordwaard) in SOBEK wordt gemodelleerd bij de afvoer-stormcombinatie die representatief is voor de maatgevende waterstand?"* wordt beantwoord aan de hand van verschillende methoden.

Voor het creëren van de nulsituatie zijn drie onderdelen nodig:

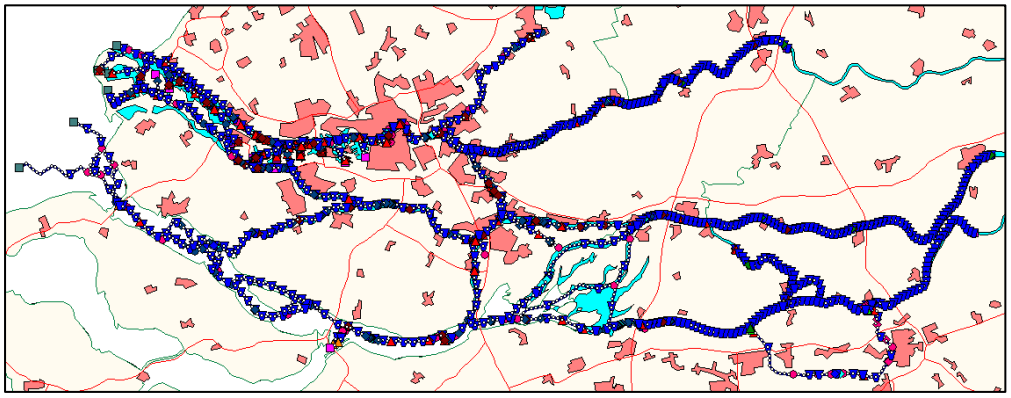
1. SOBEK model
2. Hoogtekaart
3. Vegetatiekaart

Wanneer deze onderdelen worden samengevoegd komt de nulsituatie tot stand. Per onderdeel wordt een aparte methode geschreven.

3.2.1 SOBEK model

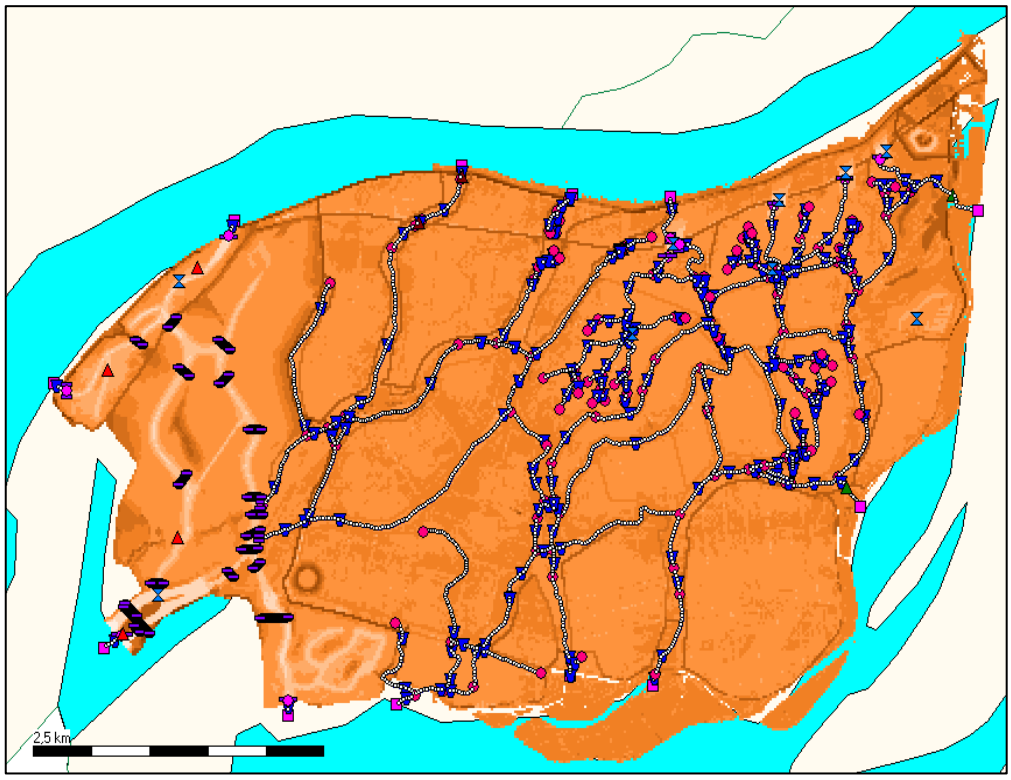
In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van het modelleringsprogramma SOBEK. De oorspronkelijke berekeningen, waarmee de dimensies van de Noordwaard zijn bepaald, zijn uitgevoerd met het modelleringsprogramma WAQUA.

Vanuit Rijkswaterstaat is het SOBEK 1D model van het rivierenstelsel van de Rijn-Maasmonding verkregen (Visser, 2017). In figuur 3 is het model te zien.



Figuur 3: Rijn-Maasmonding (Visser, 2017)

Vanuit Royal HaskoningDHV is een SOBEK 1D2D model van de Noordwaard verkregen (Evers, 2017). Dit gehele model is weergegeven in figuur 4.



Figuur 4: 1D2D model van de Noorwaard (Evers, 2017)

De verandering van de waterstand bij Gorinchem moet bepaald worden met- en zonder invloed van de Noordwaard. De invloed op de waterstand bij Gorinchem zonder de Noordwaard wordt bepaald met het 1D model van het rivierenstelsel. Door vervolgens het 1D en het 1D2D model aan elkaar te koppelen ontstaat één model waarmee de invloed van de Noordwaard op de waterstand bij Gorinchem bekeken kan worden.

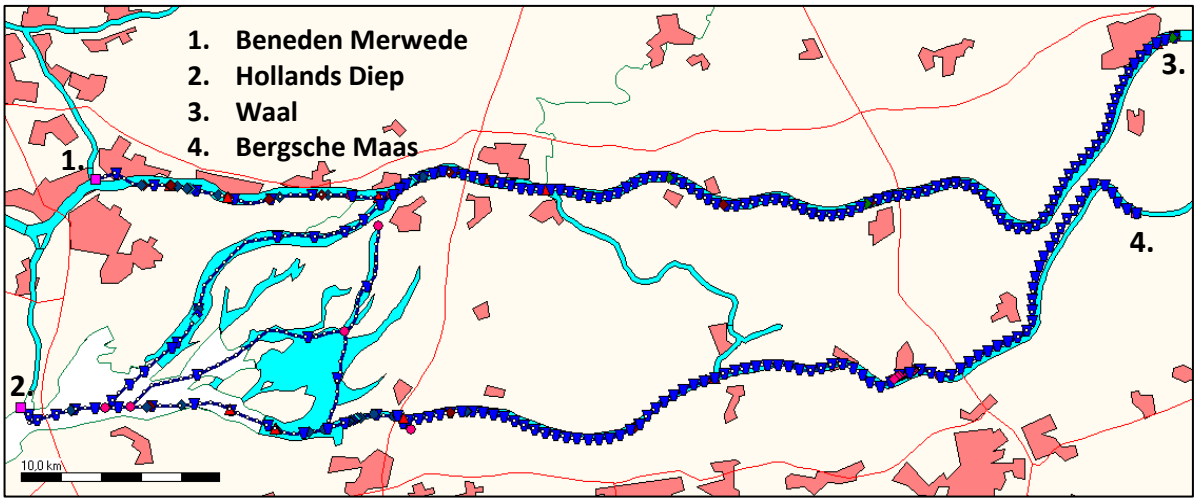
Een gedeelte van het 1D model wordt verwijderd, omdat dit niet bijdraagt aan het uiteindelijke doel van dit onderzoek en bovendien de rekentijd vergroot. Het model wordt afgeknipt op vier locaties. Op deze locaties worden de randvoorwaarden toegevoegd:

1. De splitsing van de Beneden Merwede in de Oude Maas en rivier Noord.
2. Het punt waar de Dordtsche Kil uitmondt in het Hollands Diep.
3. De Waal tot aan Tiel.
4. De Bergsche Maas tot aan Lith.

Deze randvoorwaarden komen voort uit het WAQUA model. Voor het WAQUA model is aangenomen dat de afvoer-stormcombinatie die representatief is voor de maatgevende waterstand in de omgeving van de Brabantse Biesbosch en Gorinchem wordt gevormd door (Wijma, 2009):

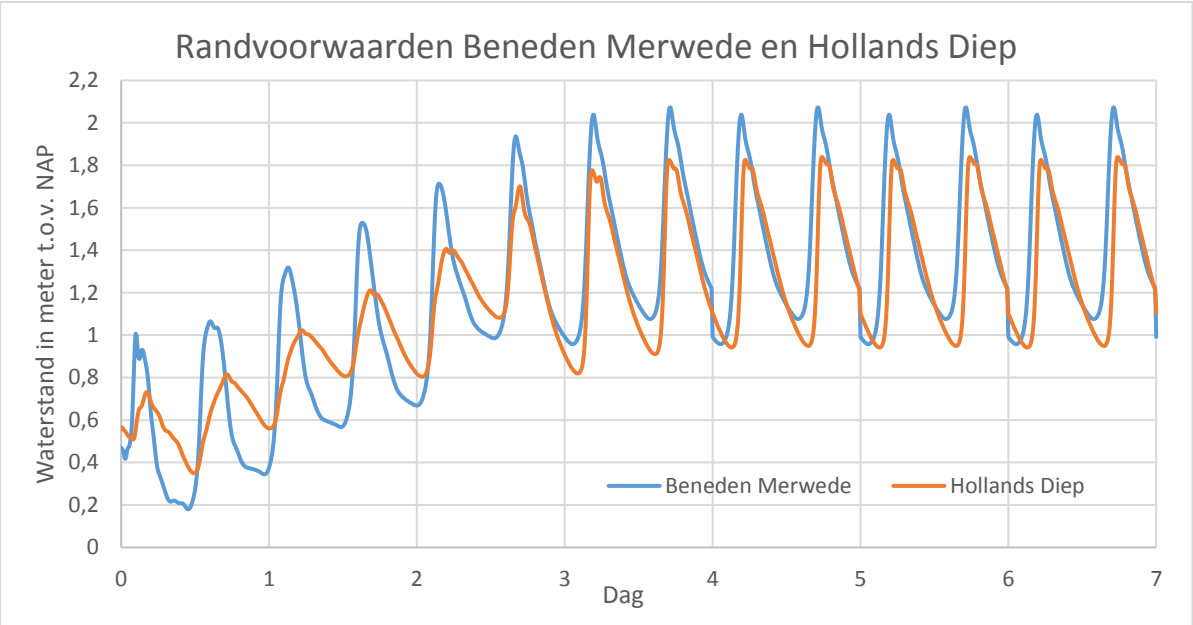
- Rijnafvoer (Lobith) 16.000 m^3/s
- Maasafvoer (Lith) 3.800 m^3/s
- Stormopzet op zee (Maasmond) met een hoogwaterstand van 2.0 meter +NAP

In figuur 5 is aangegeven op welke locaties de randvoorwaarden voor het SOBEK model zich bevinden (Evers, 2017).



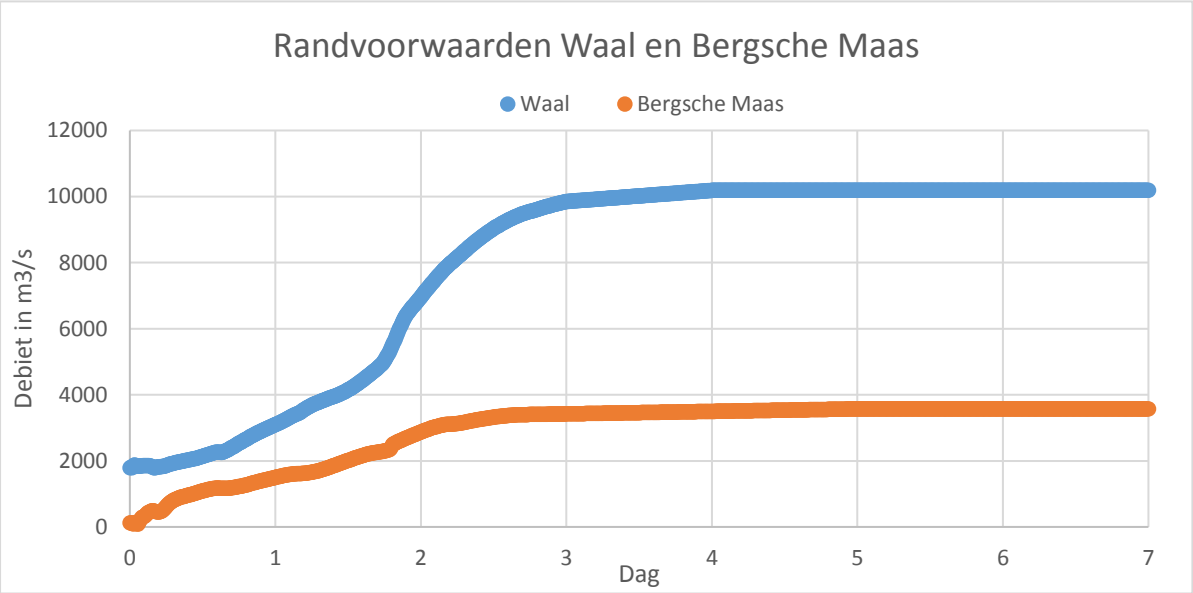
Figuur 5: Afgeknipt model van de Rijn-Maasmonding inclusief locaties van de randvoorwaarden (Visser, 2017)

Benedenstrooms van de Noordwaard wordt het 1D model afgeknipt bij de Beneden Merwede en het Hollands Diep. Beide locaties liggen precies voor een splitsing. Door het model hier af te knippen, kan het SOBEK model worden gedraaid met twee benedenstroomse randvoorwaarden. In figuur 6 zijn de waterstanden te zien die als randvoorwaarden worden gebruikt vanuit de Beneden Merwede en het Hollands Diep. Deze randvoorwaarden zijn als afvoergolven aan het SOBEK model toegevoegd. De afvoergolven hebben in de laatste tijdstappen dezelfde fluctuatie. Deze fluctuaties worden veroorzaakt door de getijdenwerking vanuit de Noordzee.



Figuur 7: Randvoorwaarden Beneden Merwede en Hollands Diep (Evers, 2017)

Bovenstrooms blijven de uiteinden van het model op de Waal en de Bergsche Maas intact. In figuur 7 is de afvoer te zien van de Waal en de Bergsche Maas. Deze afvoer is stationair. De afvoer neemt in het begin echter wel stapsgewijs toe, zodat het model stabiel kan worden.



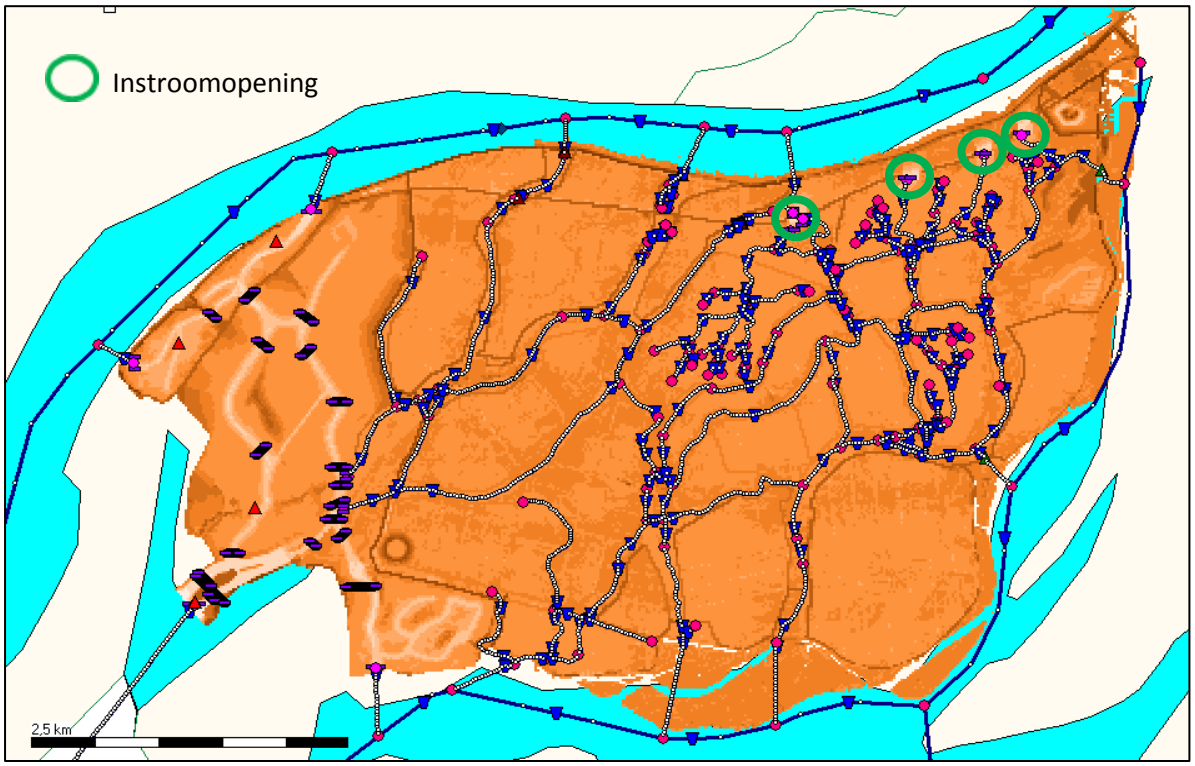
Figuur 6: Randvoorwaarden Waal en Bergsche Maas (Evers, 2017)

In verband met de rekentijd worden ook alle overige watergangen verwijderd die verbonden zijn aan de twee hoofdwatergangen. Het betreft hier de Afgedamde Maas en het afwateringskanaal ’s Hertogenbosch-Drongelen.

Om eventuele foutmeldingen te voorkomen, aangezien beide modellen dezelfde namen kunnen bevatten, worden de knopen en takken van het SOBEK 1D model aangepast. Het gehele SOBEK 1D model van het rivierenstelsel krijgt het voorvoegsel RMM (Rijn-Maasmonding)

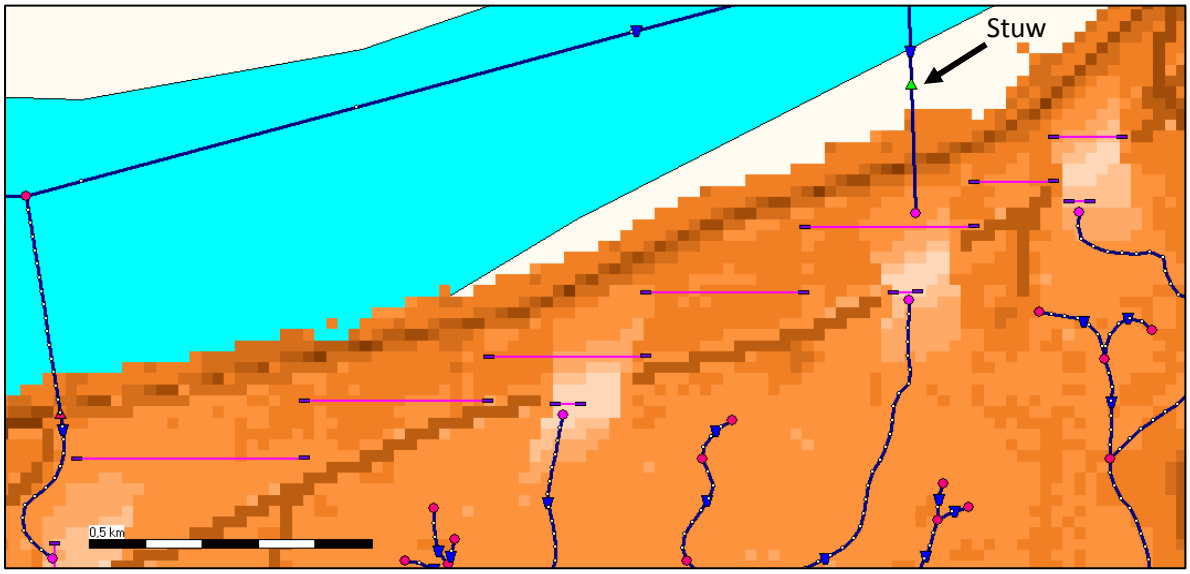
Vervolgens worden het SOBEK 1D en het SOBEK 1D2D model aan elkaar gekoppeld. De twee modellen staan nu samen in één case, maar zijn nog niet met elkaar verbonden. Door de watergangen van beide modellen aan elkaar te koppelen wordt de verbinding gemaakt. Door deze verbinding moeten nieuwe dwarsdoorsnedes worden toegevoegd. Deze dwarsdoorsnedes krijgen dezelfde dwarsdoornsnede als de dichtstbijzijnde bestaande dwarsdoorsnede. Daarnaast wordt de bodemhoogte van de dwarsdoorsnede bepaald door te interpoleren tussen naastgelegen dwarsdoorsnedes. De weerstand van de dwarsdoorsnedes blijft behouden zoals in het SOBEK 1D of SOBEK 1D2D model. De toegevoegde dwarsdoorsnedes krijgen precies dezelfde weerstand als de dichtstbijzijnde al bestaande dwarsdoorsnede.

Om het 2D grid in verbinding te krijgen met de verbinding tussen de 1D modellen, worden deze aan elkaar gekoppeld. Dit wordt gedaan bij de vier instroomopeningen, zie figuur 8.



Figuur 8: Locaties instroomopeningen in de Noordwaard (Evers, 2017)

De verbinding bij de instroomopeningen wordt gemaakt over de gehele lengte van de dijk. De overlaat wordt gesimuleerd aan de hand van een stuw die op 2.0 meter +NAP staat. Zodra het waterpeil in de Nieuwe Merwede hoger wordt dan 2.0 meter +NAP, stroomt het water hier overheen. In het SOBEK model wordt het zodanig gemodelleerd dat, wanneer het water over de stuw gaat, over de gehele lengte van de overlaat dezelfde hoeveelheid water stroomt (Evers, 2017). Dit is weergegeven in figuur 9.



Figuur 9: Instroomopeningen in SOBEK inclusief stuw (Evers, 2017)

Voor het gehele model wordt een vaste initiële waarde bepaald. De initiële waterhoogte wordt voor het gehele model op 0.4 meter +NAP gezet. Op deze manier hebben de watergangen een verschillende initiële waterdiepte. Voor een gedetailleerde beschrijving van de methode, zie bijlage 1.

3.2.2 Hoogtekaart

In het 1D/2D model dat is aangeleverd vanuit Royal HaskoningDHV is een hoogtekaart aanwezig. Deze hoogtekaart bestaat uit een AHN2 kaart inclusief de aanpassingen van de dijken en kades zoals deze zijn aangelegd ten tijde van de ontpoldering van de Noordwaard. De hoogtekaart kan vanuit SOBEK als ASCII bestand worden geëxporteerd. Deze hoogtekaart is nog niet helemaal compleet, aangezien aan de randen een gedeelte mist van de Noordwaard. Via de viewer (AHN, 2017) worden de kaartbladen 44BN2 en 44BZ2 gedownload als maaiveld raster AHN2 5 meter. De kaarten worden uitgeknipt aan de hand van een raster van de vegetatiekaart en verrastert in hokjes van 20x20 meter. Vervolgens worden de AHN kaartbladen aan elkaar gekoppeld tot één kaart. Hierna worden de hoogtekaart uit het 1D/2D model en de AHN kaartbladen gecombineerd tot één kaart, waarbij de hoogtekaart uit het 1D/2D model overheersend is (Vos, 2017). Ten slotte wordt het gecreëerde raster omgezet naar een ASCII bestand, zodat het in SOBEK kan worden ingevoerd. Voor een gedetailleerde beschrijving van de methode, zie bijlage 2.

3.2.3 Vegetatiekaart

Voor het tot stand komen van een vegetatiestructuurtypekaart van de nulsituatie moeten de vegetatiestructuurtypen die in 2009 voorkwamen in de Noordwaard, in beeld gebracht worden. In 2009 heeft Royal HaskoningDHV met een WAQUA model berekeningen uitgevoerd om de waterstandsverlaging bij Gorinchem te kunnen waarborgen. Dit is onder andere gedaan aan de hand van een GIS bestand waarin de ruwheidscodes voor WAQUA staan weergegeven (Evers, 2017). In een bijlage van dit GIS bestand zijn deze ruwheidscodes weergegeven met de bijbehorende ruwheid. De ruwheidscodes van WAQUA moeten worden omgezet naar een ruwheid, waarmee SOBEK kan rekenen. Er worden twee nieuwe kolommen toegevoegd in de tabel van het GIS bestand waarin de eerste tabel de vegetatiestructuurtypen gaat weergeven en de tweede tabel de bijbehorende ruwheid. De vegetatiestructuurtypen waarin de ruwheidscodes ingedeeld moeten worden, worden weergegeven in de eerste deelvraag. Met behulp van de bijlage van het GIS bestand en de tabel uit de eerste deelvraag worden de ruwheidscodes uit WAQUA vertaald naar een vegetatiestructuurtype met bijbehorende ruwheid. Wanneer bepaalde ruwheidscodes niet overeenkomen met de vegetatiestructuurtypen uit de eerste deelvraag wordt de ruwheid die aan de ruwheidscode verbonden zit in het WAQUA model aangehouden. Dit GIS bestand geeft vervolgens een GIS kaart met

daarin de ruwheid. Deze ruwheid heeft SOBEK nodig om de weerstand in de Noordwaard te bepalen. De vegetatiekaart moet van een shapefile worden omgezet naar een raster (op basis van de ruwheid) in hokjes van 20x20 meter. Hierna wordt het raster omgezet naar een ASCII bestand dat net zo groot is als de hoogtekaart. Voor een gedetailleerde beschrijving van de methode, zie bijlage 3.

3.2.4 Resultaat

Het resultaat is de waterstand bij Gorinchem zonder de Noordwaard en de waterstand bij Gorinchem in de nulsituatie. Het verschil tussen deze twee waterstanden in SOBEK is de waterstandsverlaging in de nulsituatie die veroorzaakt wordt door de toevoeging van de Noordwaard. Deze waterstandsverlaging wordt vergeleken met de waterstandsverlaging uit WAQUA. Hieruit volgt een verhouding tussen de twee modellen.

3.3 Deelvraag 3

Om de deelvraag *"Wat gebeurt er, ten opzichte van de nulsituatie, met de maximale waterstand bij Gorinchem wanneer de huidige situatie (vertaald in een model, dat gemaakt is op basis van het hoogteprofiel van april 2016 en de vegetatie van augustus 2016) in SOBEK wordt gemodelleerd bij de afvoer-stormcombinatie die representatief is voor de maatgevende waterstand?"* te kunnen beantwoorden worden drie verschillende methoden toegepast.

Voor het creëren van de huidige situatie zijn drie onderdelen nodig:

1. SOBEK model
2. Hoogtekaart april 2016
3. Vegetatiekaart augustus 2016

De methode van het SOBEK model staat beschreven in paragraaf 3.2. Nu volgen de methoden voor de andere twee onderdelen.

3.3.1 Hoogtekaart 2016

Vanuit Bureau Waardenburg is een nieuwe hoogtekaart verkregen uit april 2016 (Boudewijn, 2017) (AHN, 2017). Deze hoogtekaart bevat echter niet de gehele Noordwaard. De hoogtekaart van de nulsituatie en de hoogtekaart uit april 2016 worden daarom gecombineerd tot één kaart. Hierbij zijn de nieuwe delen uit april 2016 overheersend. Om de kaart in SOBEK te krijgen, wordt een ASCII bestand gemaakt met behulp van GIS. Voor een gedetailleerde beschrijving van de methode, zie bijlage 2.

3.3.2 Vegetatiekaart 2016

Vanuit Bureau Waardenburg is daarnaast de vegetatiekaart van augustus 2016 van het beheergebied van Gebr. van Kessel verkregen (Boudewijn, 2017). Deze kaart omvat niet de gehele Noordwaard. De vegetatiekaart uit de nulsituatie en de vegetatiekaart van augustus 2016 worden gecombineerd tot één kaart. Hierbij zijn de nieuwe delen uit augustus 2016 overheersend. Om de kaart in SOBEK te krijgen wordt een ASCII bestand gemaakt met behulp van GIS.

3.3.3 Resultaat

Het resultaat is de waterstand bij Gorinchem in de huidige situatie. Deze waterstand wordt vergeleken met de waterstand bij Gorinchem in de nulsituatie.

3.4 Deelvraag 4

Voor het beantwoorden van de deelvraag *"Wat is de relatie tussen de maximale waterstand bij Gorinchem en diverse vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel?"* wordt de volgende methode gebruikt.

3.4.1 Gevoeligheidsanalyse

Om de relatie tussen de waterstand bij Gorinchem en de diverse vegetatiestructuurtypen te bepalen wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Dit wordt gedaan door de vegetatie en daarmee de ruwheid in het beheergebied van Gebr. van Kessel aan te passen. De huidige situatie wordt hierbij als basis genomen met de hoogte- en vegetatiekaart uit 2016. De overige delen in de Noordwaard, welke niet in het beheer van Gebr. van Kessel zijn, blijven gelijk aan de vegetatie uit 2016. Er worden scenario's gemaakt waarin het beheergebied van Gebr. van Kessel acht keer in zijn geheel één ruwheid krijgt. Deze acht scenario's worden gemaakt met behulp van GIS. De shapefiles moeten vervolgens omgezet worden naar een raster op basis van de ruwheid. Dit wordt gedaan in hokjes van 20x20 meter. Hierna wordt het raster omgezet naar een ASCII bestand dat net zo groot is als de hoogtekaart uit 2016. Vervolgens kan dit ASCII bestand in SOBEK gezet worden en kan SOBEK de waterstand bij Gorinchem berekenen.

Na deze acht scenario's wordt het beheergebied van Gebr. van Kessel opgedeeld in vier deelgebieden. Deze deelgebieden worden om de beurt, met behulp van GIS, riet gemaakt, terwijl het overige deel van het beheergebied productiegrasland wordt gemaakt. De scenario's worden doorgerekend in SOBEK en vervolgens vergeleken met het scenario productiegrasland.

Verder worden vanuit Bureau Waardenburg en Gebr. van Kessel drie scenario's geleverd. In het eerste scenario wordt de invloed van de polders Kroon en Zalm bepaald. Het tweede scenario bepaalt de invloed van de slikken. Het laatste scenario bepaalt de invloed van de overlaat op de waterstand bij Gorinchem. Deze scenario's worden in GIS aangepast en net als de gevoeligheidsanalyse vervolgens in SOBEK verwerkt.

3.4.2 Resultaat

De waterstanden van de acht scenario's uit de gevoeligheidsanalyse worden weergegeven in twee grafieken. De eerste grafiek geeft het verloop van de waterstand bij Gorinchem voor de scenario's weer. De tweede grafiek geeft de relatie weer tussen de ruwheid van de vegetatiestructuurtypen en de maximale waterstand bij Gorinchem. Aan deze tweede grafiek wordt een lijn toegevoegd met de maximale waterstand uit de nulsituatie. Hieruit kan geconcludeerd worden wat de maximale k_n waarde van het gehele beheergebied mag zijn, mits het gebied één k_n waarde krijgt.

Alle scenario's, waarin één deelgebied riet is gemaakt, geven ook een maximale waterstand bij Gorinchem weer. Hieruit kan geconcludeerd worden welk deelgebied het gevoeligst is voor een hogere ruwheid en welk gebied het minst gevoelig is.

De invloed van de overige scenario's wordt weergegeven in drie tabellen. Hieruit kan geconcludeerd worden wat de invloed per scenario is op de waterstand bij Gorinchem.

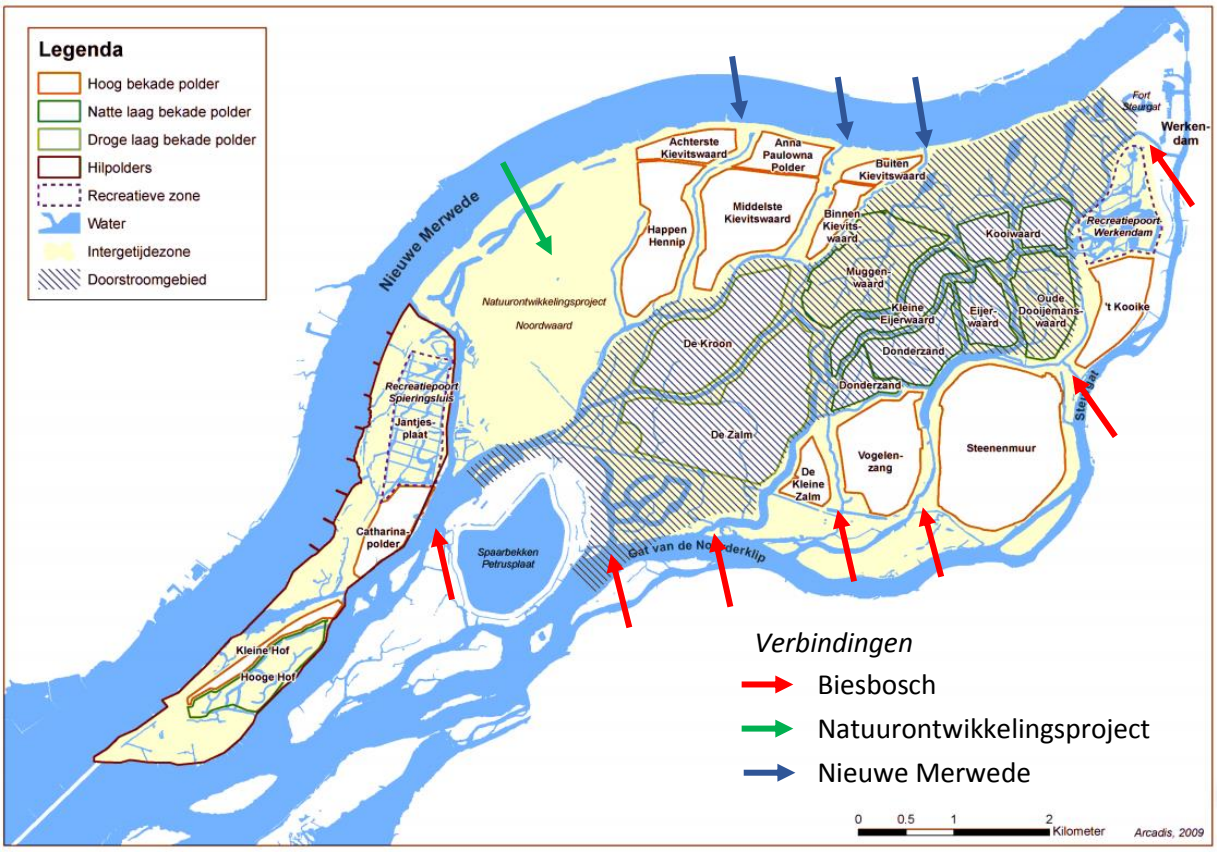
4. De Noordwaard

De Noordwaard is gelegen langs de Nieuwe Merwede, ten noorden van Nationaal Park de Biesbosch en ten westen van Werkendam. Naar aanleiding van het programma Ruimte voor de Rivier is het gebied gewijzigd van een binnendijks naar een buitendijks gebied. Daarnaast is het gebied opnieuw ingedeeld. Zo is het oude krekenstelsel opnieuw aangebracht in het landschap en zijn kades en dijken geaccentueerd. De kreken bevinden zich in het deel van de Noordwaard dat als doorstroomgebied is ingericht. Vanuit het programma Ruimte voor de Rivier had de ontpoldering van Noordwaard twee primaire doelen (Olthof, Tollenaar, & Wijma, 2015):

- Verhogen van de hoogwaterveiligheid door een verlaging van de maatgevende hoogwaterstand (MHW) bij Gorinchem van 30 centimeter (op rivierkilometer 955).
- Het vergroten van de ruimtelijke kwaliteit van het gebied vanuit landschappelijk, ecologisch, recreatief en socio-economisch oogpunt.

4.1 Indeling Noordwaard

De Noordwaard is opgedeeld in een aantal deelgebieden, zie figuur 10. De Noordwaard heeft te maken met de dagelijkse getijdenwerking doordat er open verbindingen zijn met zowel de Nieuwe Merwede aan de noordzijde als het Gat van de Noorderklip aan de zuidoostzijde. Via de kreken bereikt het water de meest ver gelegen intergetijdengebieden. Er zijn een aantal directe verbindingen tussen de Noordwaard en het gebied hierbuiten, zie de pijlen in figuur 10 (Olthof, Tollenaar, & Wijma, 2015).



Figuur 10: Overzichtskaart Noordwaard (Projectbureau Noordwaard & Consortium (Arcadis, DHV en Royal Haskoning), 2010)

De drie verbindingen tussen de Noordwaard en de Nieuwe Merwede zijn verbindingen met het voorland. Om voor een verse aanvoer van water te zorgen zijn twee doorlaatconstructies in de Bandijk aangelegd. Naast deze twee doorlaatconstructies zijn er vier instroomopeningen met bruggen. Wanneer de Nieuwe Merwede een waterstand bereikt van 2.0 meter +NAP stroomt het water over de overlaat, waarna het door de instroomopeningen de Noordwaard binnen stroomt. De Noordwaard

dient vanaf dat moment als doorstroomgebied. Dit komt gemiddeld eens per twee jaar voor (Olthof, Tollenaar, & Wijma, 2015).

4.2 Beheer Noordwaard

De Noordwaard is in handen van Rijkswaterstaat. Om de doorstroming te kunnen waarborgen in tijden van hoogwater moet de Noordwaard onderhouden worden. Dit onderhoud wordt uitgevoerd door Gebr. van Kessel. Zij is verantwoordelijk voor het beheer in het doorstroomgebied. Gebr. Van Kessel maakt bij dit onderhoud gebruik van grote grazers. Door de inzet van verschillende grote grazers hoeft minder machinaal gemaaid te worden. Naast deze duurzame manier van onderhouden, komt de vermindering van machinaal onderhoud de natuur ten goede. De grazers houden het gebied op natuurlijke wijze open, waardoor de natuur een kans krijgt (Natuurlijke begrazing, 2017). Eén van de primaire doelen van het Ruimte voor de Rivier plan komt hierbij tot zijn recht. De ruimtelijke kwaliteit wordt vergroot aangezien de biodiversiteit in het gebied stijgt. Dit maakt de Noordwaard een natuurlijker gebied, waardoor het gebied recreatief aantrekkelijker wordt (Beheer van de Noordwaard, 2017).

De grazers in de Noordwaard komen van de stichting FREE Nature. Zij proberen om hun dieren op een zo natuurlijk mogelijke manier te laten leven, maar daarbij wel zorg te dragen voor hun kuddes. Vanuit deze stichting worden Schotse Hooglanders, Koniks en Waterbuffels ingezet (Kuddebeheer, 2017). Door deze variatie in grazers worden zowel de droge- als natte gebieden zoveel mogelijk onderhouden. In september en oktober wordt machinaal gemaaid, omdat de grazers niet alle vegetatie kort genoeg kunnen houden. Op deze manier wordt de doorstroming in de Noordwaard gewaarborgd. In bijlage 4 is aangegeven in welke gebieden de grazers lopen (Reijnierse, 2017).

5. Vegetatiestructuurtypen en ruwheid

In dit hoofdstuk wordt de eerste deelvraag beantwoord: *"Welke ruwheden, gehanteerd door Rijkswaterstaat, horen bij de verschillende vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel in de Noordwaard?"*. In paragraaf 5.1 worden de verschillende vegetatiestructuurtypen beschreven. Paragraaf 5.2 beschrijft de doorstroomde vegetatiestructuurtypen en paragraaf 5.3 de overstroomde vegetatiestructuurtypen. Ten slotte staat in paragraaf 5.4 een tabel waarin per vegetatiestructuurtype de ruwheid is weergegeven.

5.1 Vegetatiestructuurtypen

In het handboek 'Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden' worden 26 verschillende vegetatiestructuurtypen onderscheiden (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003). Deze zijn weergegeven in tabel 1. De vegetatiestructuurtypen zijn opgedeeld in clusters (lichtblauw).

Tabel 1: Clusters met bijbehorende vegetatiestructuurtypen (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003)

Pioniervegetatie	*Struwelen*
Pioniervegetatie	Zachthoutstruweel
Graslanden	Griend
Productiegrasland	Doornstruweel
Natuurlijk gras- en hooiland	*Bossen*
Verruigd grasland	Zachthoutooibos
Ruigten	Hardhoutooibos
Akkerdistel-Brandnetelruigte	Productiebos
Droge ruigte	*Overig*
Dauwbraamruigte	Waterbodem
Harig wilgenroosje ruigte	Akker
Rietruigte	Boomgaarden
Moerasvegetatie	Heggen
Natte ruigte	Laanbeplanting
Zegge	Verspreid voorkomende bomen
Rietgras	
Biezen	
Lisdodde	
Riet	

Niet alle bovenstaande vegetatiestructuurtypen komen voor in de Noordwaard (Wijma, 2009). De volgende typen komen wel voor: pioniervegetatie, productiegrasland, natuurlijk gras- en hooiland, akkerdistel-brandnetelruigte, natte ruigte, rietgras, lisdodde, riet, zachthoutstruweel, griend, zachthoutooibos, waterbodem en akker. In bijlage 5 is per cluster een beschrijving weergegeven.

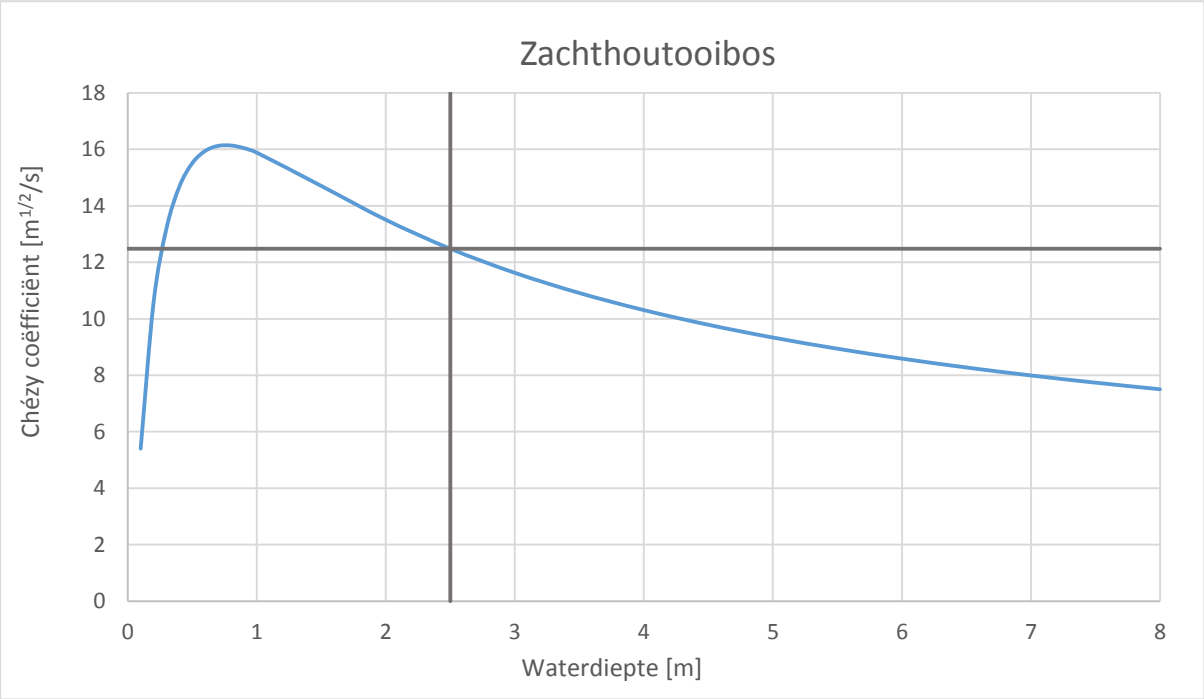
De vegetatiestructuurtypen kunnen worden opgedeeld in door- of overstroomde vegetatie. Sommige typen vallen in een derde, aparte categorie. Dit geldt voor de overige vegetatiestructuurtypen uit tabel 1. De k_n waarden voor waterbodem, akker en boomgaarden zijn overgenomen uit het handboek 'Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden' (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003). In bijlage 6 staan de formules voor het berekenen van de k_n waarde van heggen, laanbeplanting en verspreid voorkomende bomen, aangezien hier geen eenduidige waarde aan kan worden gegeven.

5.2 Doorstroomde vegetatiestructuurtypen

In paragraaf 5.1 zijn alle relevante vegetatiestructuurtypen voor de Noordwaard aangegeven. De volgende relevante typen zijn doorstroomd: zachthoutstruweel, griend en zachthoutooibos. In, (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003), zijn de volgende parameters voor zachthoutooibos gegeven:

k = >10 m met k = hoogte vegetatie
A_r = 0.028 $m^2/m^2/m$
K_b = 0.6 m
C_d = 1.5 [-]

In figuur 11 is de representatieve Chézy coëfficiënt uitgezet tegenover de waterdiepte voor zachthoutooibos.



Figuur 11: Representatieve Chézy coëfficiënt voor zachthoutooibos (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003)

Voor de waterdiepte is uitgegaan van een diepte van 2.5 meter. Het SOBEK model dat voor dit onderzoek is gebouwd, is zoveel mogelijk opgebouwd volgens dezelfde eisen als het originele WAQUA model (Wijma, 2009). Daarnaast kan bij doorstroomde vegetatie met of zonder ondergroei gerekend worden, zie hoofdstuk 2. In dit rapport is uitgegaan van doorstroomde vegetatie zonder ondergroei.

De grijze lijn in figuur 11 geeft de representatieve Chézy waarde (C_r) weer van zachthoutooibos bij een waterdiepte van 2.5 m. De C_r bij 2.5 m = 12.5 $m^{1/2}/s$. Op deze manier zijn alle representatieve Chézy waarden voor doorstroomde vegetatie bepaald. Uit vergelijking 1 in hoofdstuk 2 volgt voor zachthoutooibos dan k_n = 6.06 m bij waterdiepte 2.5 meter.

5.3 Overstroomde vegetatiestructuurtypen

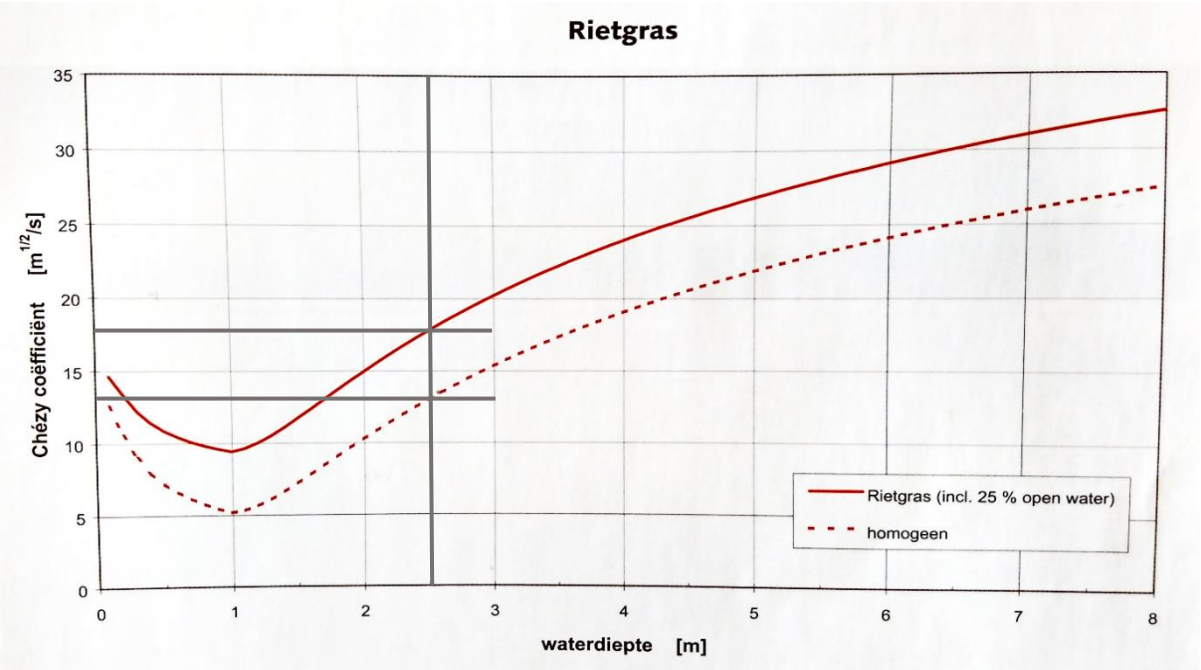
De volgende, relevante vegetatiestructuurtypen uit paragraaf 5.1 zijn overstroomd: pioniervegetatie, productiegrasland, natuurlijk gras- en hooiland, akkerdistel-brandnetelruigte, natte ruigte, rietgras, lisdodde en riet. Binnen de overstroomde vegetatietypen kan het ook voorkomen dat een k_n waarde wordt bepaald voor een vegetatiestructuurtype inclusief:

- 25% open water
- 25% open water en 5% zachthoutstruweel
- 25% open water en 10% zachthoutstruweel
- 25% strooisel

In, (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003), zijn de volgende parameters voor rietgras gegeven:

$k = 1.00$ m
$A_r = 0.4$ $m^2/m^2/m$
$K_b = 0.1$ m
$C_d = 1.8$ [-]

In figuur 12 is de grafiek voor de representatie Chézy coëfficiënt uitgezet tegenover de waterdiepte voor rietgras weergegeven.



Figuur 12: Representatieve Chézy coëfficiënt voor soortenrijk grasland (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003)

Aangezien in dit rapport wordt uitgegaan van een waterdiepte van 2.5 meter kan de representatieve Chézy coëfficiënt bij 2.5 meter waterdiepte worden afgelezen. Dit levert op:

C_r rietgras homogeen = 14 $m^{1/2}/s$
C_r rietgras incl. 25% open water = 17.5 $m^{1/2}/s$

Op deze manier zijn alle representatieve Chézy waarden voor doorstroomde vegetatie bepaald. Met vergelijking 1 uit hoofdstuk 2 kan de Nikuradse ruwheid worden berekend. Dit levert voor rietgras de volgende waarden op:

k_n rietgras homogeen = 5.00 m
k_n rietgras incl. 25% open water = 3.20 m

Hierbij geldt: hoe hoger de k_n waarde, hoe ruwer en hoe meer opstuwing (Rijkswaterstaat, 2014).

5.4 Ruwheid per vegetatietype

In tabel 2 is per relevant vegetatietype, zie paragraaf 5.1, de ruwheid weergegeven. In bijlage 7 is een overzicht weergegeven van de ruwheid en benodigde parameters van alle vegetatiestructuurtypen (zie tabel 1 paragraaf 5.1).

Tabel 2: k_n waarde (Nikuradse ruwheid) per relevant vegetatiestructuurtype (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003)

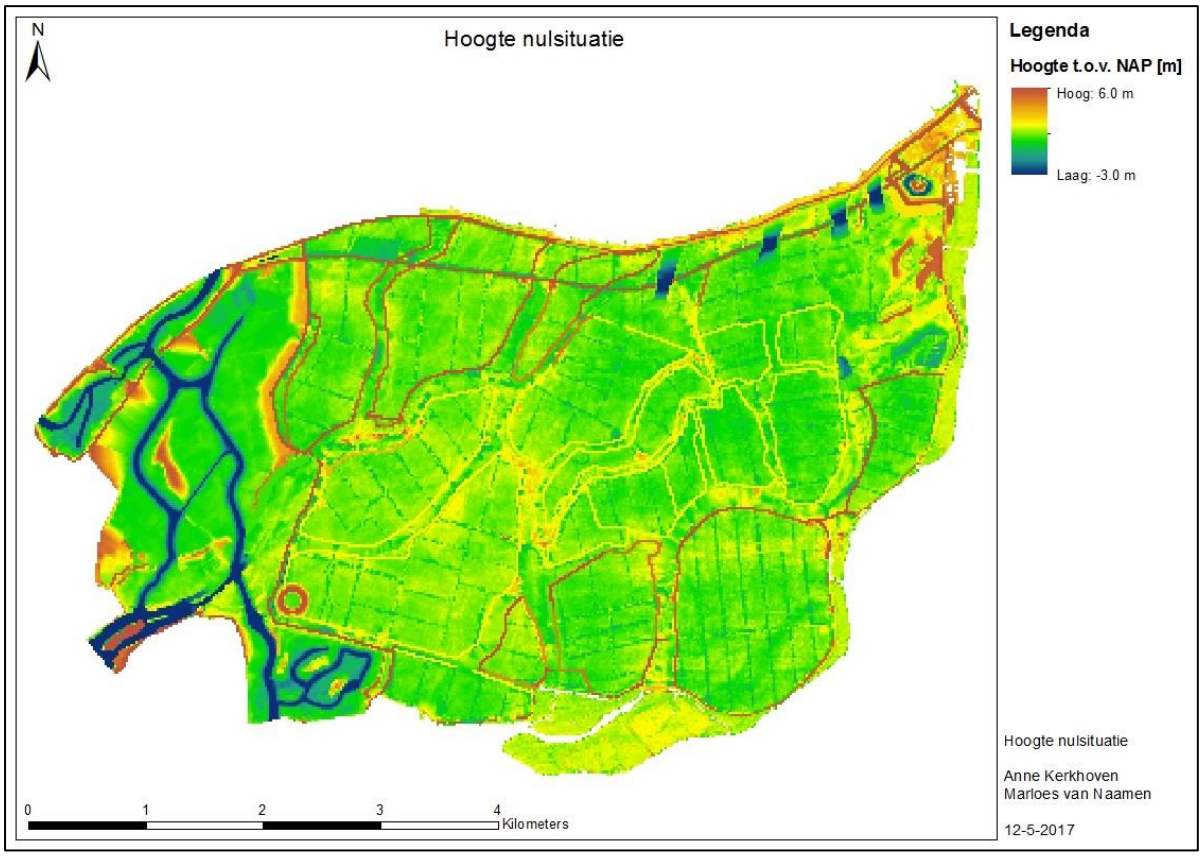
Cluster	Vegetatiestructuurtype	k_n [m]
Pioniervegetatie	Pioniervegetatie	0,30
Graslanden	Productiegrasland	0,26
	Natuurlijk gras- en hooiland	0,41
Ruigten	Akkerdistel-Brandnetelruigte	1,23
Moerasvegetatie	Natte ruigte	0,89
	Incl. 25% open water	0,53
	Incl. 25% open water en 5% zachthoutstruweel	1,15
	Incl. 25% open water en 10% zachthoutstruweel	1,69
	Rietgras	5,00
	Incl. 25% open water	3,20
	Lisdodde	11,49
	Incl. 25% open water	6,06
	Riet	19,17
	Incl. 25% strooisel	11,94
Struwelen	Zachthoutstruweel	13,40
	Griend	7,54
Bossen	Zachthoutooibos	6,06
Overig	Waterbodem	
	meestromende nevengeul	0,20
	strang	0,15
	plas / slikkige plaat	0,05
	haven	0,05
	kribvak-strand/grindplaat (onbegroeid)	0,15
	Akker	0,20

6. Nulsituatie

Dit hoofdstuk bevat het antwoord op de volgende deelvraag: "*Wat gebeurt er, ten opzichte van de situatie zonder de Noordwaard, met de maximale waterstand bij Gorinchem wanneer de nulsituatie (de oorspronkelijk bedachte situatie voor de Noordwaard) in SOBEK wordt gemodelleerd bij de afvoer-stormcombinatie die representatief is voor de maatgevende waterstand?*". Eerst komen de hoogte- en vegetatiekaart aan bod die in de nulsituatie worden gebruikt. Hierna volgt de waterstand bij Gorinchem zonder invloed van de Noordwaard. De derde paragraaf bevat het resultaat van de nulsituatie. Ten slotte wordt de verhouding tussen het SOBEK- en WAQUA model besproken.

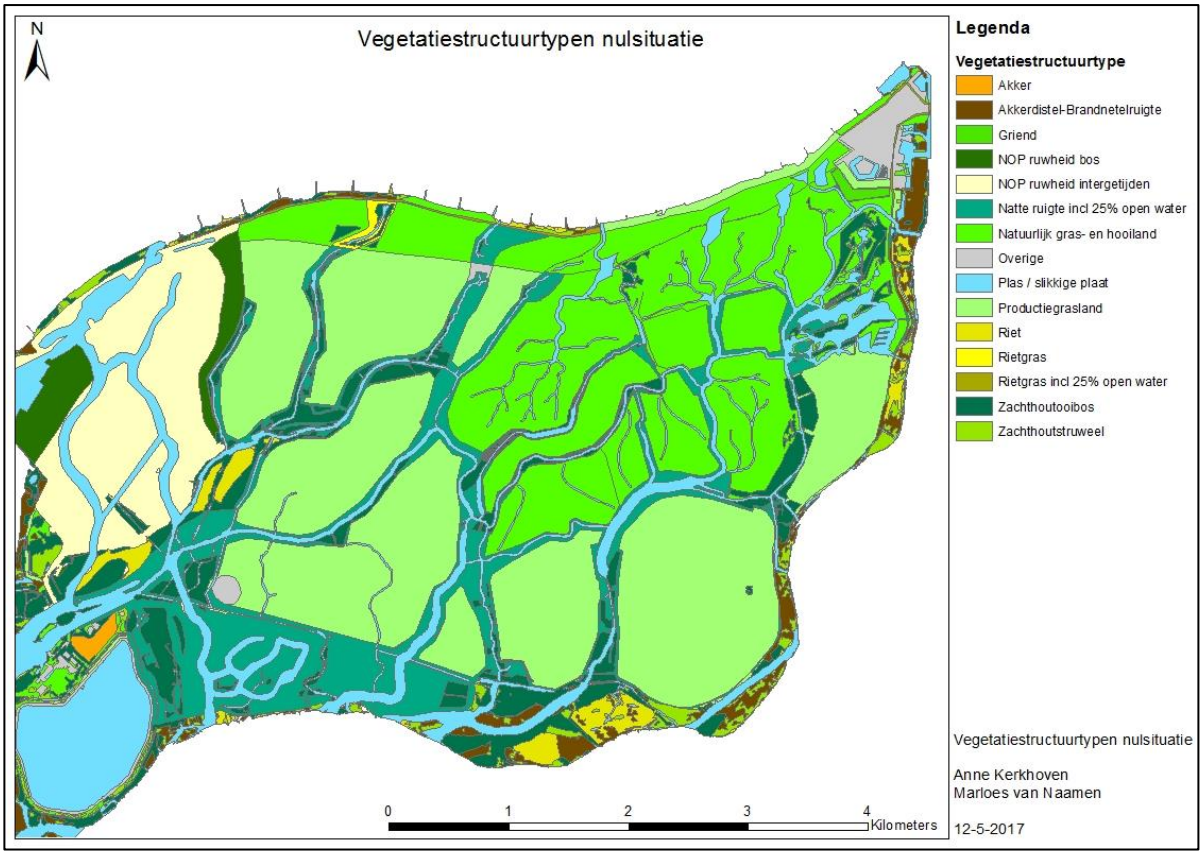
6.1 Hoogte en vegetatie

De nulsituatie is de oorspronkelijk bedachte situatie voor de Noordwaard. Voor de nulsituatie zijn een hoogte- en een vegetatiekaart gebruikt. De hoogtekaart die in de nulsituatie gebruikt is, is weergegeven in figuur 13. Deze is vergroot weergegeven in bijlage 8.



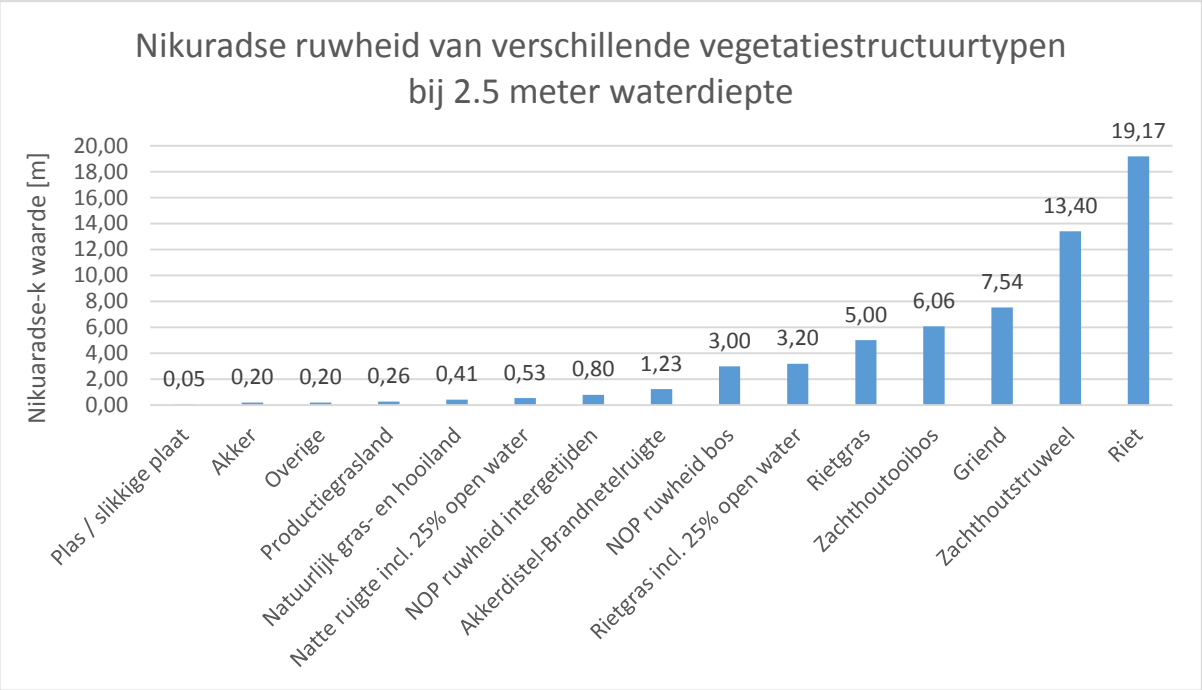
Figuur 13: Hoogte nulsituatie (AHN, 2017) (Evers, 2017)

De vegetatiekaart die gebruikt is voor de nulsituatie is weergegeven in figuur 14. Deze is vergroot weergegeven in bijlage 9. De vegetatiekaart die gebruikt is voor de oorspronkelijke dimensionering van de Noordwaard in WAQUA, bevat een aantal vegetatiestructuurtypen die niet voorkomen in tabel 2 van hoofdstuk 5 (Boudewijn, 2017). In bijlage 10 is een overzicht weergegeven met de vegetatiestructuurtypen uit WAQUA met daarachter het structuurtype uit hoofdstuk 5.



Figuur 14: Vegetatiestructuurtypen nulsituatie (Evers, 2017)

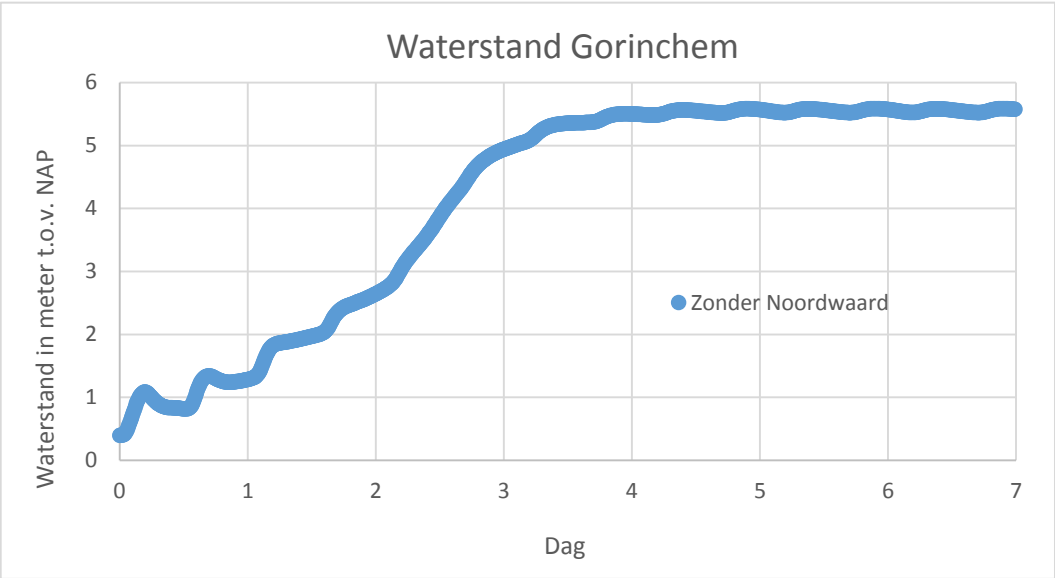
Drie vegetatiestructuurtypen uit het WAQUA model kunnen helemaal niet ingedeeld worden in een van de structuurtypen uit hoofdstuk 5. Dit zijn: NOP ruwheid bos, NOP ruwheid intergetijden en overige. Deze drie structuurtypen worden niet ingedeeld in de vegetatiestructuurtypen uit hoofdstuk 5, maar behouden hun ruwheid vanuit het WAQUA model.
In figuur 15 staat per vegetatiestructuurtype de Nikuradse ruwheid weergegeven.



Figuur 15: Nikuradse ruwheid per vegetatiestructuurtype in de nulsituatie (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003)

6.2 Waterstand Gorinchem (zonder Noordwaard)

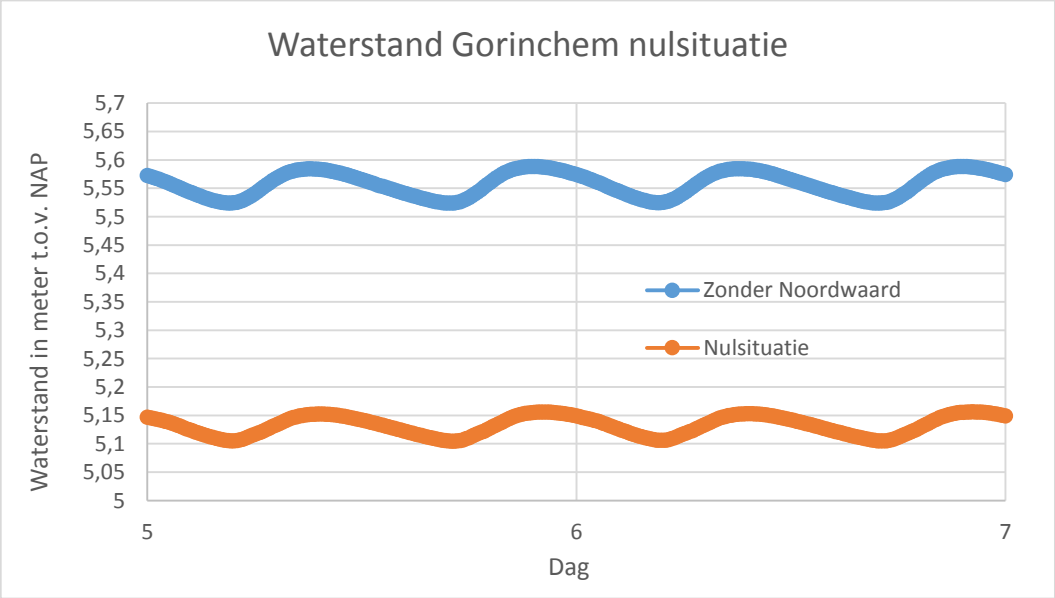
Het SOBEK model heeft eerst zonder de Noordwaard gerekend. Op deze manier is de invloed van de Noordwaard op de waterstand bij Gorinchem bepaald. In figuur 16 is de waterstand weergegeven die gehaald wordt wanneer de Noordwaard niet meestroomt bij maatgevend hoogwater. De waterstand is bekeken bij Gorinchem bij kilometerpaal 955. De maximale waterstand zonder invloed van de Noordwaard is 5.59 meter +NAP.



Figuur 16: Waterstand Gorinchem zonder Noordwaard

6.3 Resultaten SOBEK model nulsituatie

Vervolgens is de nulsituatie in SOBEK doorgerekend. De verschillen in waterstand bij Gorinchem met het SOBEK model zonder de Noordwaard zijn in figuur 17 weergegeven. Net als in paragraaf 6.2 is ook hier de waterstand bij kilometerpaal 955 bij Gorinchem weergegeven. In onderstaande figuur is echter alleen dag vijf tot zeven weergegeven, omdat hier de randvoorwaarden zijn gestabiliseerd. Het volledige verloop van de waterstand is te zien in bijlage 11.



Figuur 17: Verschil in waterstand tussen de nulsituatie en de situatie zonder de Noordwaard

De maximale waterstand bij kilometerpaal 955 zonder invloed van de Noordwaard is 5.59 meter +NAP. In de nulsituatie, met invloed van de Noordwaard, is de maximale waterstand 5.16 meter +NAP. De Noordwaard zorgt in dit model voor 0.43 meter verlaging.

6.4 Verhouding SOBEK - WAQUA

In het originele WAQUA model is sprake van 0.303 meter verlaging (Wijma, 2009). De verhouding tussen het WAQUA model en het SOBEK model is 1:1,44. Hierbij is de waterstandsverlaging in het SOBEK model 1,44 keer zo groot als in het WAQUA model.

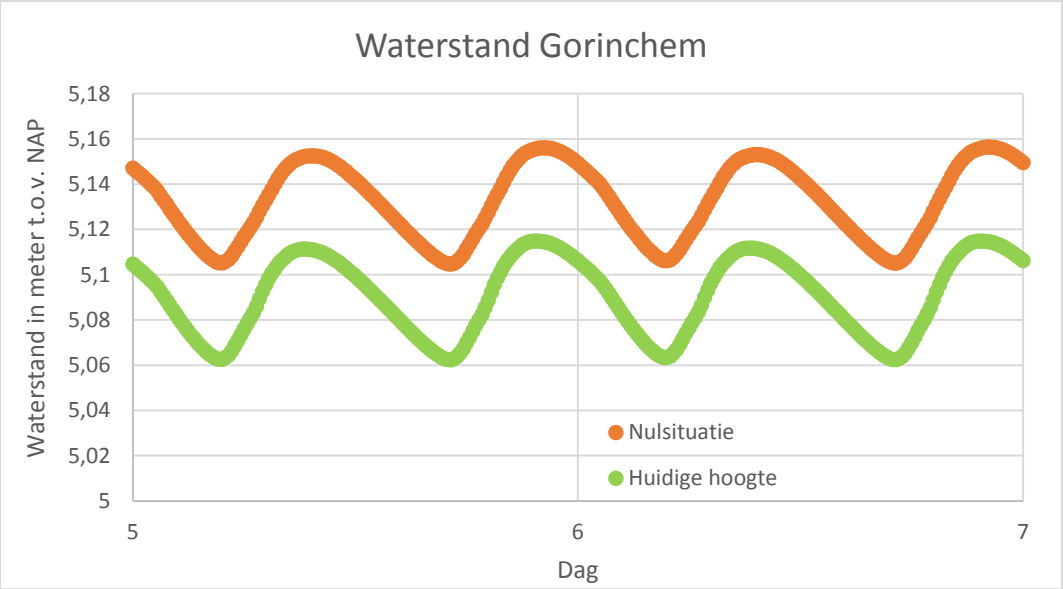
De nulsituatie in SOBEK wordt vanaf dit moment in het onderzoek beschouwd als zijnde de situatie in WAQUA. De verlaging van 0.43 meter wordt hierbij gezien als zijnde de verlaging van 0.303 meter. Alle volgende scenario's in dit onderzoek worden vergeleken met deze 0.43 meter verlaging. Alle scenario's die dezelfde of meer verlaging geven, voldoen aan de doorstromingseis. Alle scenario's die minder verlaging geven, voldoen niet aan de doorstromingseis.

7. Huidige situatie

In dit hoofdstuk wordt een antwoord gegeven op deelvraag 3, deze luidt: *"Wat gebeurt er, ten opzichte van de nulsituatie, met de maximale waterstand bij Gorinchem wanneer de huidige situatie (vertaald in een model, dat gemaakt is op basis van het hoogteprofiel van april 2016 en de vegetatie van augustus 2016) in SOBEK wordt gemodelleerd bij de afvoer-stormcombinatie die representatief is voor de maatgevende waterstand?"*. Eerst wordt het verschil in hoogte tussen de huidige situatie en de nulsituatie beschreven. Vervolgens komt de vegetatie van augustus 2016 aan bod en tot slot wordt de waterstand in de huidige situatie beschreven. Hiermee wordt bovenstaande deelvraag beantwoord.

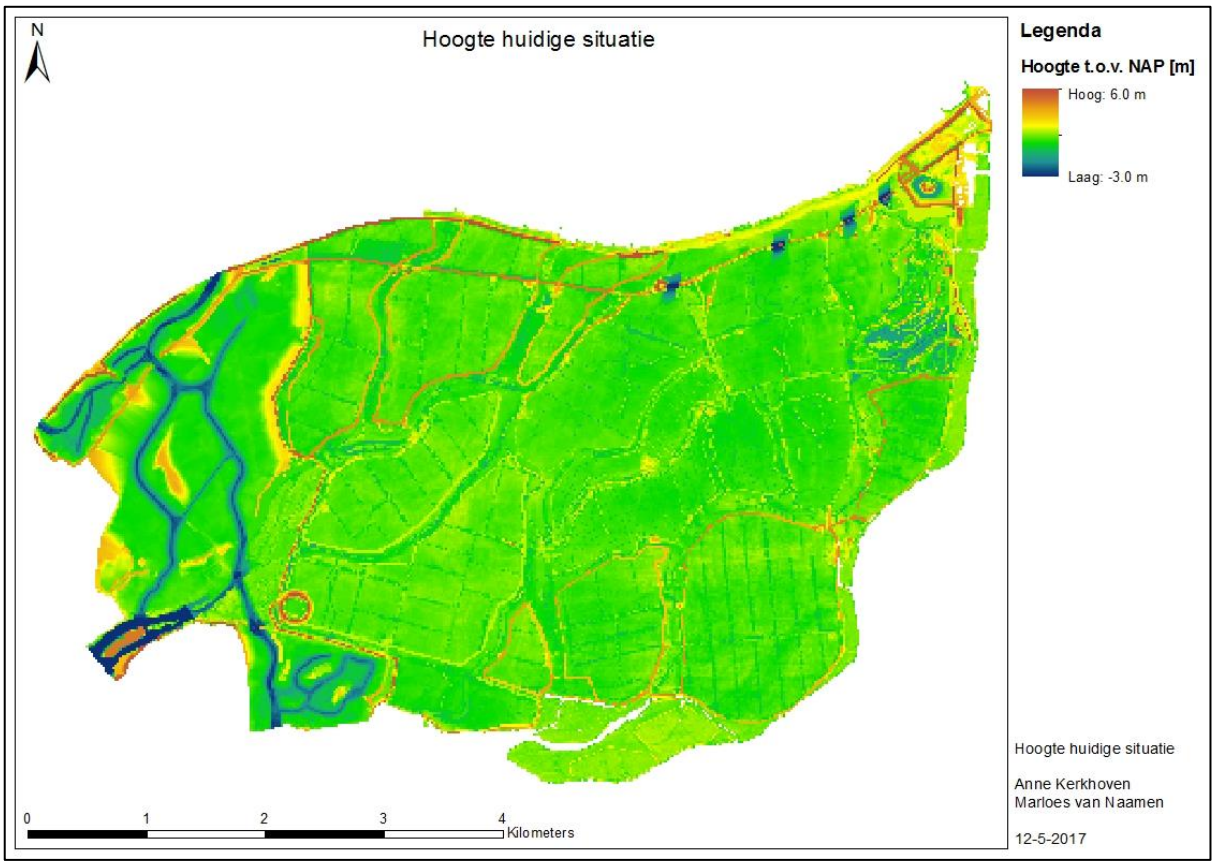
7.1 Hoogte en vegetatie

Om het verschil tussen de hoogtekaart uit de nulsituatie (2009) en de huidige hoogtekaart (april 2016) te onderzoeken, heeft het SOBEK model beide hoogtekaarten doorgerekend met dezelfde vegetatiekaart. De huidige hoogtekaart geeft 4 centimeter meer verlaging, zie figuur 18. Deze verlaging van de waterstand is ontstaan door de verschillen in de hoogtekaarten. De huidige hoogtekaart is lager dan de hoogtekaart uit de nulsituatie. Hierdoor wordt het water in de Noordwaard sneller afgevoerd, waardoor bovenstrooms meer verlaging optreedt. In bijlage 12 zijn de verschillen tussen de hoogtekaarten weergegeven.



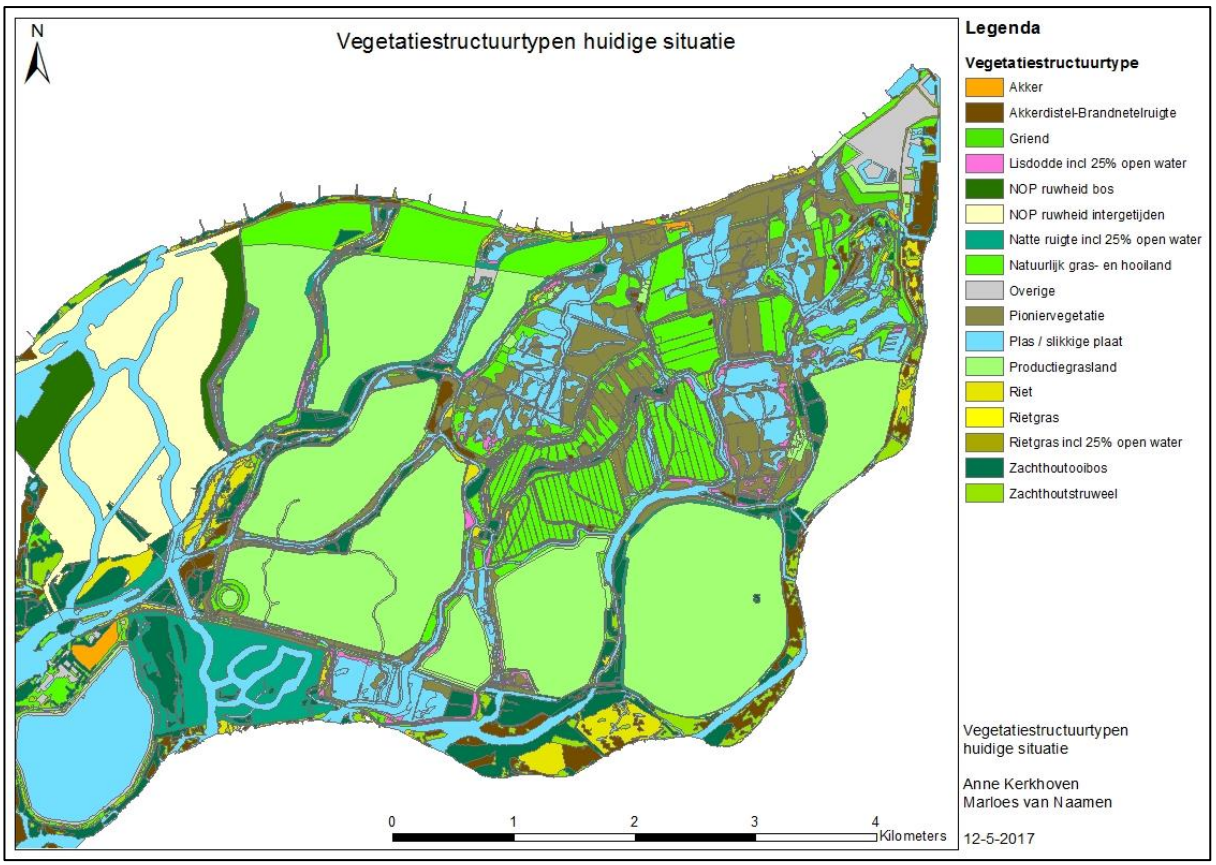
Figuur 18: Verschil in waterstand door invloed van de hoogteligging

De huidige hoogtekaart (april 2016) is weergegeven in figuur 19. In bijlage 13 staat een vergrote versie van de kaart.



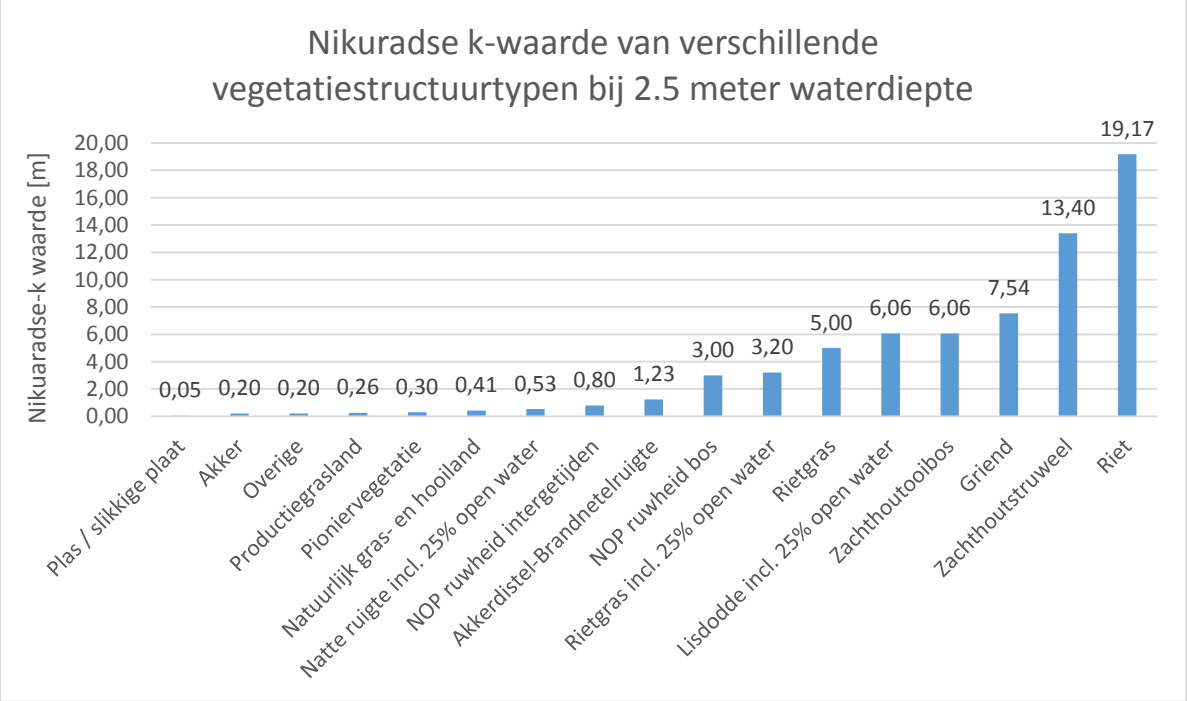
Figuur 19: Hoogteprofiel huidige situatie (AHN, 2017) (Boudewijn, 2017)

Ten opzichte van de vegetatie in de nulsituatie zijn er twee vegetatiestructuurtypen bijgekomen, dit zijn: lisdodde incl. 25% open water en pioniervegetatie. Bureau Waardenburg heeft de vegetatiestructuurtypen die in augustus 2016 in de Noordwaard voorkwamen ingedeeld (Boudewijn, 2017). Een aantal wijken af van de vegetatiestructuurtypen die in hoofdstuk 5 zijn benoemd. In bijlage 14 is een overzicht weergegeven met de vegetatiestructuurtypen van augustus 2016 met het bijbehorende vegetatiestructuurtype uit hoofdstuk 5. De vegetatiekaart uit 2016 is niet volledig. Het dekt alleen het beheergebied van Gebr. van Kessel in de Noordwaard. Om een volledige vegetatiekaart te krijgen zijn de lege vlakken gevuld met de vegetatie uit de nulsituatie. Hierdoor zijn sommige delen van de kaart in figuur 20 exact hetzelfde als die in figuur 14. In figuur 20 is de vegetatiekaart weergegeven die in SOBEK gebruikt is voor het simuleren van de huidige situatie. In bijlage 15 is een vergrote versie van de kaart weergegeven.



Figuur 20: Vegetatiestructuurtypen huidige situatie (Boudewijn, 2017)

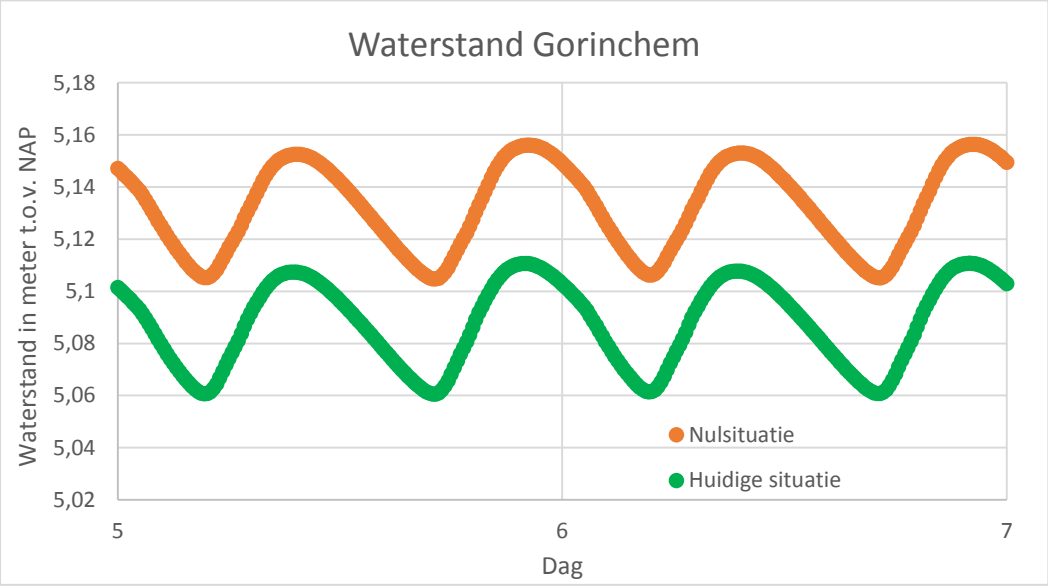
In figuur 21 staan de vegetatiestructuurtypen met bijbehorende Nikuradse ruwheid weergegeven die in augustus 2016 voorkwamen.



Figuur 21: Nikuradse ruwheid per vegetatiestructuurtype in de huidige situatie (van Velzen, Jesse, Cornelissen, & Coops, 2003)

7.2 Resultaten SOBEK model huidige situatie

De huidige situatie (het hoogteprofiel van april 2016 en de vegetatie van augustus 2016) is doorgerekend met SOBEK. De verschillen met de nulsituatie zijn in figuur 22 weergegeven. De waterstand is weergegeven bij kilometerpaal 955 bij Gorinchem. De waterstand is vanaf dag vijf weergegeven, omdat hier de randvoorwaarden zijn gestabiliseerd.



Figuur 22: Waterstand Gorinchem in de nulsituatie en huidige situatie

De maximale waterstand bij kilometerpaal 955 in de nulsituatie is 5.16 meter +NAP. In de huidige situatie is de waterstand 5.11 meter +NAP. Het verschil tussen de twee situaties is 0.05 meter. De waterstandsverlaging wordt voornamelijk veroorzaakt door het verlaagde hoogteprofiel. Daarnaast wordt de verlaging veroorzaakt door het veranderen van de vegetatiestructuurtypen.

8. Gevoeligheidsanalyse

Dit hoofdstuk bevat het antwoord op de volgende deelvraag: *"Wat is de relatie tussen de maximale waterstand bij Gorinchem en diverse vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel?".* Deze vraag wordt beantwoord door een gevoeligheidsanalyse uit te voeren in het beheergebied van Gebr. van Kessel. Hierbij wordt de ruwheid binnen het beheergebied aangepast. Verder wordt het gebied opgedeeld in vier gebieden, waarna de invloed van deze deelgebieden op de waterstand bij Gorinchem wordt bepaald. Ten slotte wordt de invloed van de droge laag bekade polders, slikken en overlaat in beeld gebracht.

8.1 Gevoeligheid beheergebied

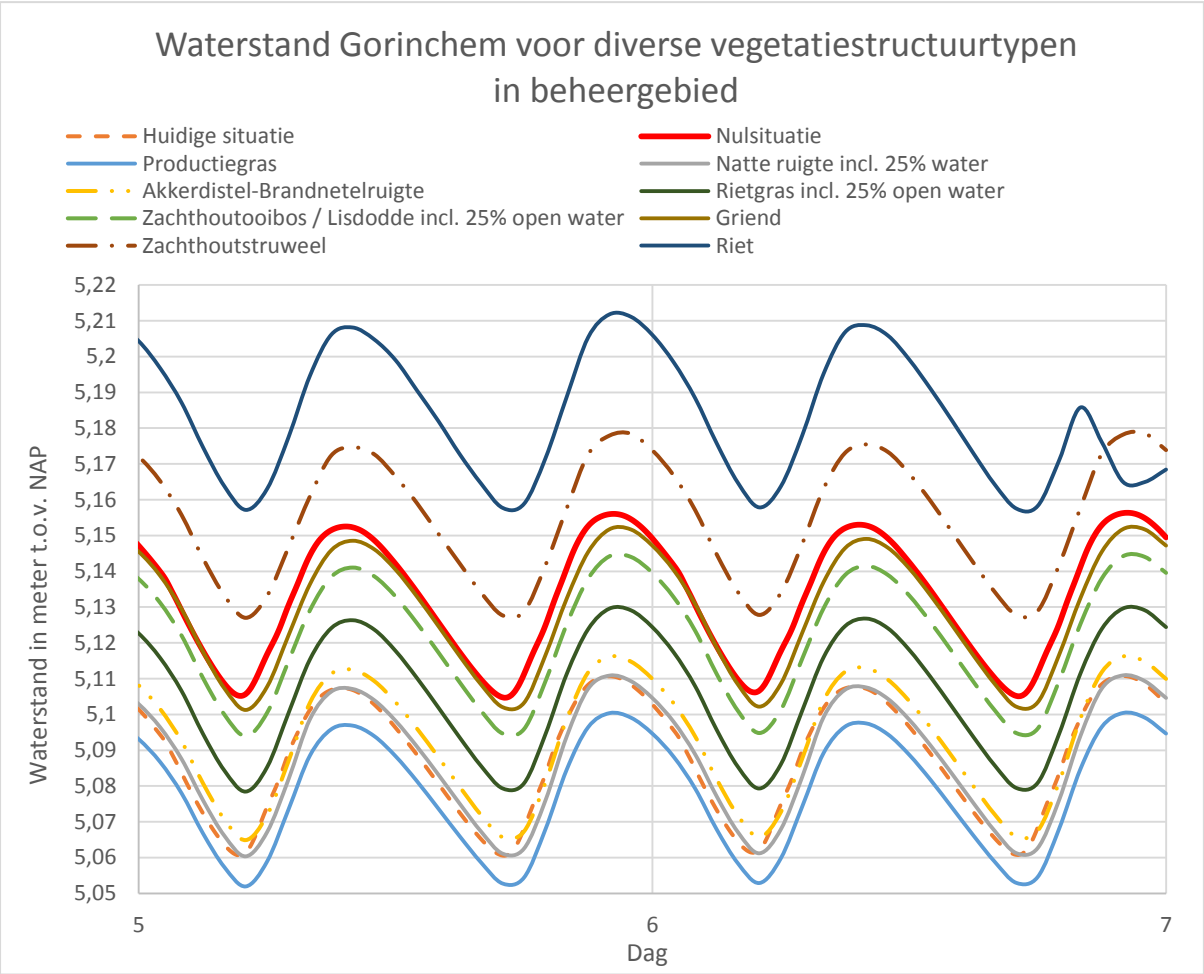
De invloed van de verschillende vegetatiestructuurtypen in de Noordwaard, op de waterstand bij Gorinchem, is bepaald aan de hand van een gevoeligheidsanalyse. Deze gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd door het gehele beheergebied van Gebr. van Kessel één ruwheid te geven. De ruwheid varieert tussen een lage en hoge waarde met daartussen zes oplopende waarden. Voor de laagste waarde is de ruwheid van het vegetatiestructuurtype productiegrasland genomen en niet die van plas/slikkige plaat of akker. De reden daarvoor is dat plas/slikkige plaat al uit water bestaat en dat het structuurtype akker bijna niet voorkomt binnen het beheergebied. In tabel 3 staan de gebruikte vegetatiestructuurtypen met bijbehorende ruwheid. In bijlage 16 staat van elk scenario een kaart.

Tabel 3 Gebruikte vegetatiestructuurtypen gevoeligheidsanalyse met bijbehorende Nikuradse ruwheid

Vegetatiestructuurtype	Nikuradse ruwheid [m]
Productiegrasland	0.26
Natte ruigte incl. 25% open water	0.53
Akkerdistel-Brandnetelruigte	1.23
Rietgras incl. 25% open water	3.20
Zachthoutooibos / Lisdodde incl. 25% open water	6.06
Griend	7.54
Zachthoutstruweel	13.40
Riet	19.17

8.2 Resultaten gevoeligheid beheergebied

In figuur 23 zijn de resultaten van de waterstand bij Gorinchem voor de verschillende vegetatiestructuurtypen weergegeven. In bijlage 17 is een vergrote versie van de grafiek weergegeven. In elk scenario heeft het gehele beheergebied één vegetatiestructuurtype. De huidige situatie en de nulsituatie staan in de grafiek. Alleen dag vijf tot zeven is weergegeven, omdat randvoorwaarden hier zijn gestabiliseerd.

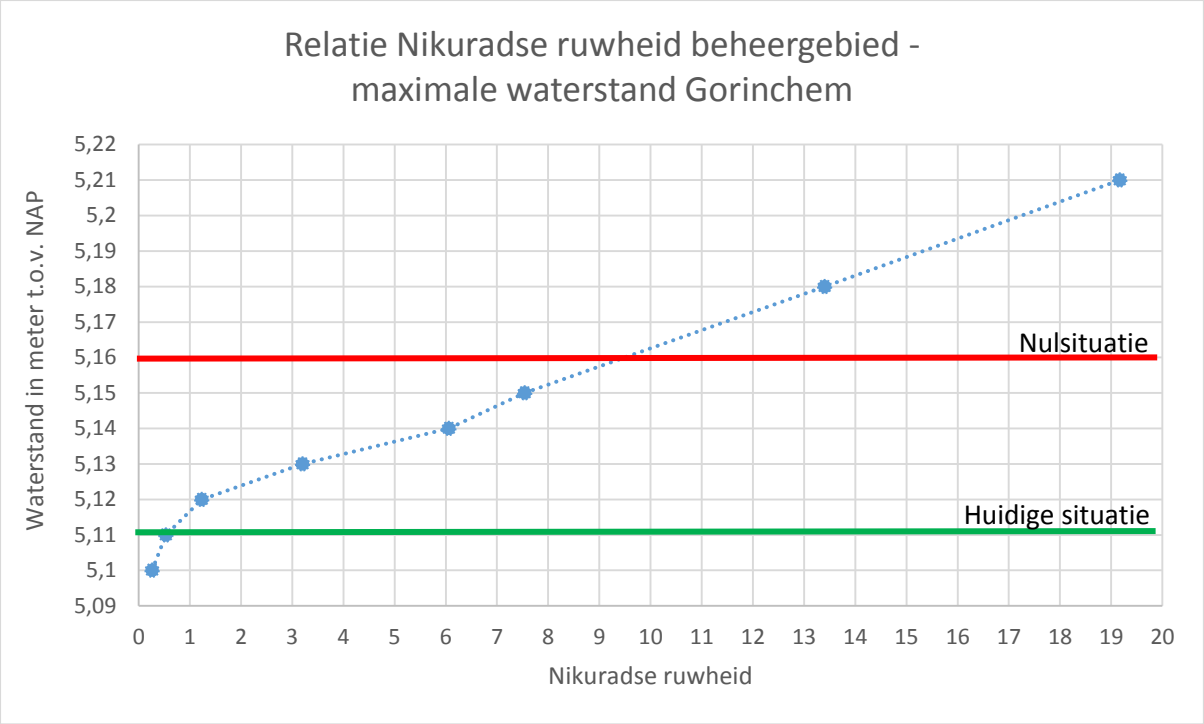


Figuur 23: Waterstand bij Gorinchem voor diverse vegetatiestructuurtypen in beheergebied

Uit de grafiek kan geconcludeerd worden dat hoe hoger de k_n waarde, hoe hoger de waterstand bij Gorinchem. De huidige situatie heeft ongeveer dezelfde waterstand als het vegetatiestructuurtype natte ruigte incl. 25% open water. De nulsituatie is, zoals besproken in hoofdstuk 6, de situatie die gelijk is aan de situatie die in WAQUA doorgerekend is. De scenario's die onder de nulsituatie liggen in de grafiek hebben meer verlaging dan vereist is. Alleen de scenario's waarin het hele beheergebied riet of zachthoutstruweel is, komen hoger uit dan de nulsituatie. Verder is het verloop van de waterstanden bij de scenario's gelijk op één na. Riet heeft een afwijkend verloop aan het einde van dag 6. Deze afwijking kan worden teruggeleid naar een verandering in de stroomsnelheid in het NOP gebied. Aan het einde van dag zes wordt de stroomsnelheid in het NOP gebied ineens groter, zie bijlage 18. Hierdoor neemt de waterstand bovenstrooms af. Er is geen duidelijke verklaring gevonden voor het ineens groter worden van de stroomsnelheid. Dit kan een fout in het model zijn.

In figuur 24 is de maximale waterstand per vegetatiestructuurtype in een grafiek uitgezet. De grafiek geeft de relatie weer tussen de maximale waterstand bij Gorinchem en diverse vegetatiestructuurtypen. Op de x-as staat de k_n waarde en op de y-as de maximale waterstand bij Gorinchem. Er is gekozen om de k_n waarden van de vegetatiestructuurtypen aan te houden in plaats

van willekeurige, oplopende k_n waarden. Op deze manier zijn de waarden in de grafiek te koppelen aan een vegetatiestructuurtype. De grafiek geldt alleen wanneer het gehele beheergebied uit één vegetatiestructuurtype bestaat. In tabel 4 zijn de waarden uit de grafiek in een overzicht weergegeven.



Figuur 24: Relatie Nikuradse ruwheid beheergebied – maximale waterstand Gorinchem

Tabel 4: Weergave maximale waterstanden gevoeligheidsanalyse

Maximale waterstand bij Gorinchem t.o.v. NAP	k_n waarde beheergebied	Vegetatiestructuurtype
5,10	0,26	Productiegrasland
5,11	0,53	Natte ruigte incl. 25% open water
5,12	1,23	Akkerdistel-Brandnetelruigte
5,13	3,20	Rietgras incl. 25% open water
5,14	6,06	Zachthoutooibos / Lisdodde incl. 25% open water
5,15	7,54	Griend
5,18	13,40	Zachthoutstruweel
5,21	19,17	Riet

De maximale waterstand bij Gorinchem in de nulsituatie is 5.16 meter +NAP. Alle scenario's met een waterstand gelijk aan of lager dan 5.16 meter +NAP, voldoen aan de eisen. In figuur 24 is tussen elke twee punten een rechte stippellijn getekend. Er wordt, op basis van de overige berekende punten, aangenomen dat de relatie tussen de Nikuradse ruwheid en de maximale waterstand bij Gorinchem lineair is tussen de punten griend en zachthoutstruweel. Hieruit volgt dat de k_n waarde in de nulsituatie, bij 5.16 meter +NAP, rond de 9 m ligt. Wanneer het gehele beheergebied een k_n waarde van rond de 9 m krijgt, wordt een waterstand van 5.16 meter +NAP gehaald. Deze k_n waarde moet dan worden ingevuld in het model met de hoogtekaart uit de huidige situatie. Zolang het gehele beheergebied dezelfde k_n waarde krijgt, die lager is dan rond de 9 m, voldoet het gebied aan de eisen.

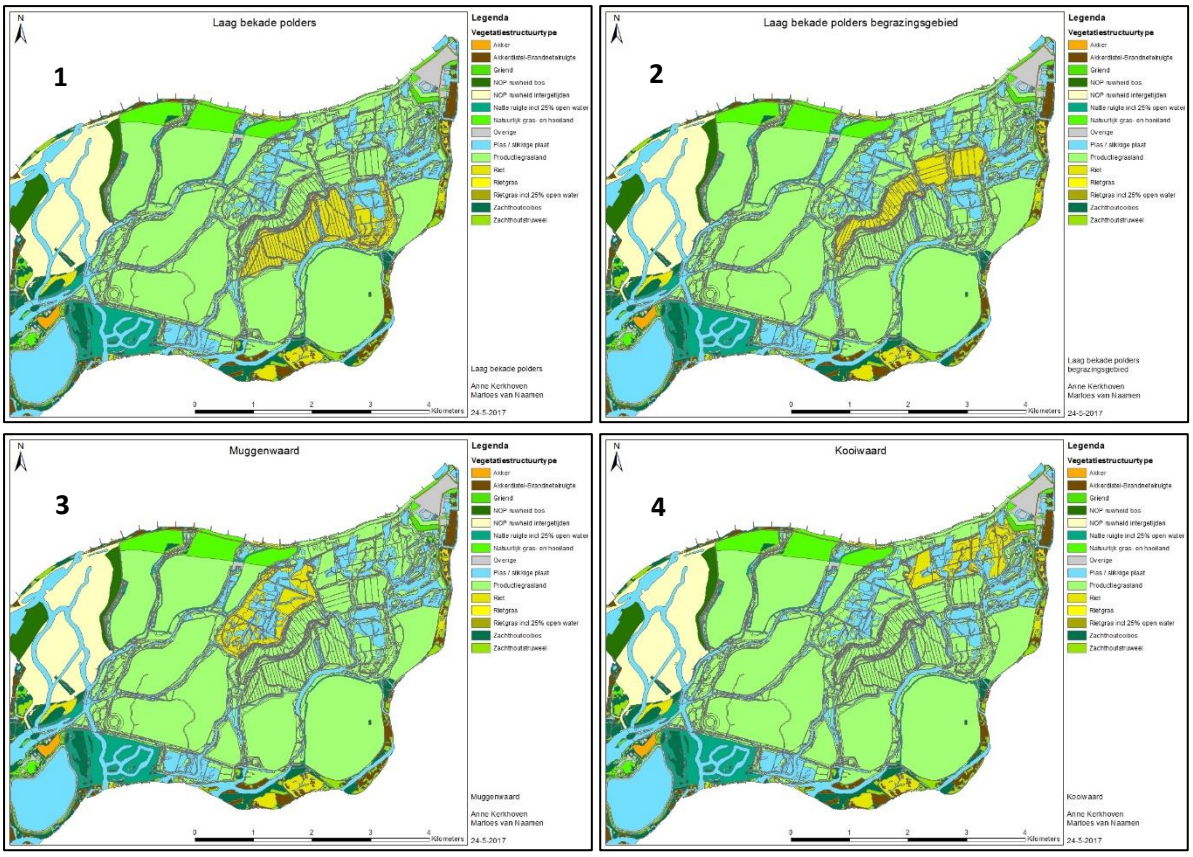
De maximale waterstand bij Gorinchem in de huidige situatie is 5.11 meter +NAP. Bij het scenario natte ruigte incl. 25% open water is de waterstand ook 5.11 meter +NAP. Bij dit scenario is de k_n waarde van het beheergebied 0.53 m. In de huidige situatie zijn veel vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied die een lagere k_n waarde hebben dan 0.53 m. Er zijn echter ook delen lisdodde incl. 25% open water, zachthoutooibos, zachthoutstruweel en riet binnen het beheergebied, zie de kaart in bijlage 15. Deze vegetatiestructuurtypen hebben een veel hogere k_n waarde. De combinatie van hogere en lagere k_n waarden binnen het beheergebied leveren dezelfde maximale waterstand op als wanneer het gehele beheergebied een k_n waarde van 0.53 m krijgt.

8.3 Invloed deelgebieden

Naar aanleiding van de resultaten uit paragraaf 8.2 kan nog geen uitspraak worden gedaan over de verhouding tussen het aantal vegetatiestructuurtypen met een hoge of lage k_n waarde die binnen het beheergebied aanwezig mogen zijn. Om hier meer inzicht in te krijgen, is het beheergebied opgedeeld in vier gebieden:

1. Laag bekade polders
2. Laag bekade polders begrazingsgebied
3. Muggenwaard
4. Kooiwaard

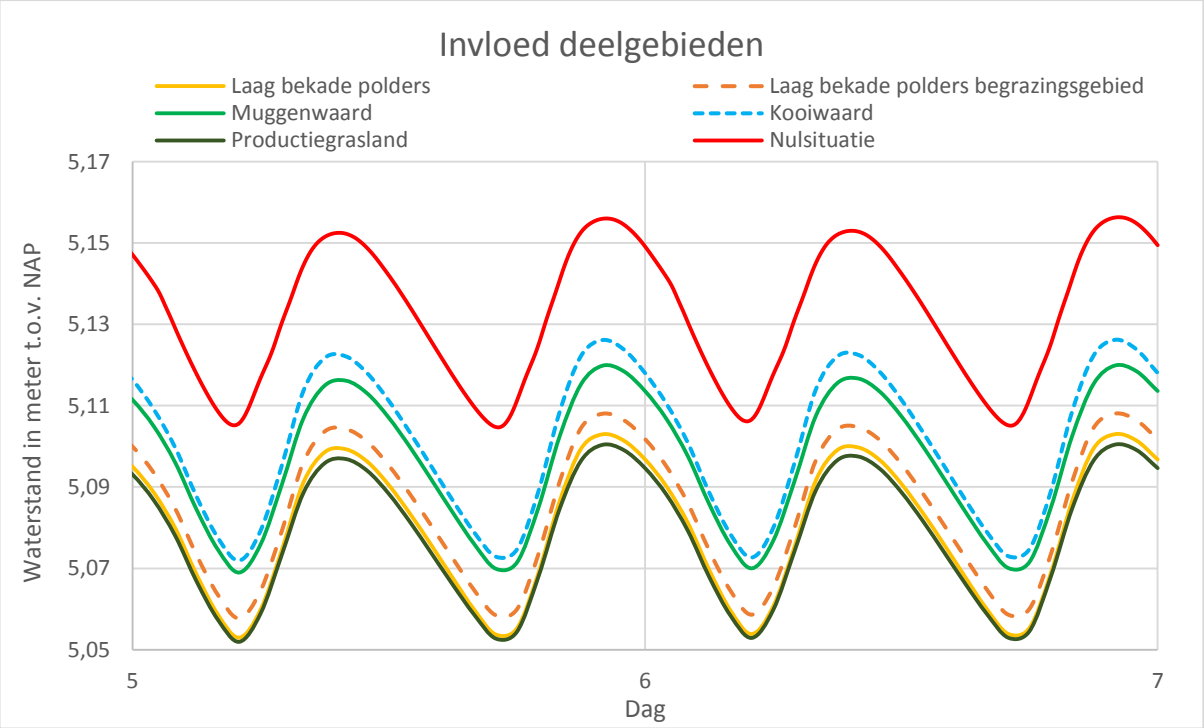
Elk deelgebied krijgt de k_n waarde van riet, terwijl de rest van het beheergebied de k_n waarde van productiegrasland krijgt. Op deze manier kan de invloed van de deelgebieden op de maximale waterstand bij Gorinchem worden bepaald. De vier scenario's worden vergeleken met het scenario productiegrasland. In figuur 25 zijn de deelgebieden weergegeven. In bijlage 19 staan grotere versies van de kaarten.



Figuur 25: Deelgebieden riet met 1: Laag bekade polders, 2: Laag bekade polders begrazingsgebied, 3: Muggenwaard, 4: Kooiwaard

8.4 Resultaten invloed deelgebieden

In figuur 26 is de waterstand bij Gorinchem te zien voor dag vijf tot zeven voor elk deelgebied, productiegrasland en de nulsituatie.



Figuur 26: Invloed deelgebieden op waterstand bij Gorinchem

Het deelgebied "Laag bekade polders" heeft de minste invloed op de waterstand bij Gorinchem t.o.v. productiegrasland. Deelgebied "Kooiwaard" heeft de meeste invloed. De waterstand bij Gorinchem in de nulsituatie is bij geen van de deelgebieden gehaald. Wanneer één deelgebied bestaat uit riet en de rest van het beheergebied uit productiegrasland, voldoen alle deelgebieden. In tabel 5 zijn de maximale waterstanden bij Gorinchem voor elk deelgebied, productiegrasland en de nulsituatie weergegeven.

Tabel 5: Invloed deelgebieden op de maximale waterstand bij Gorinchem

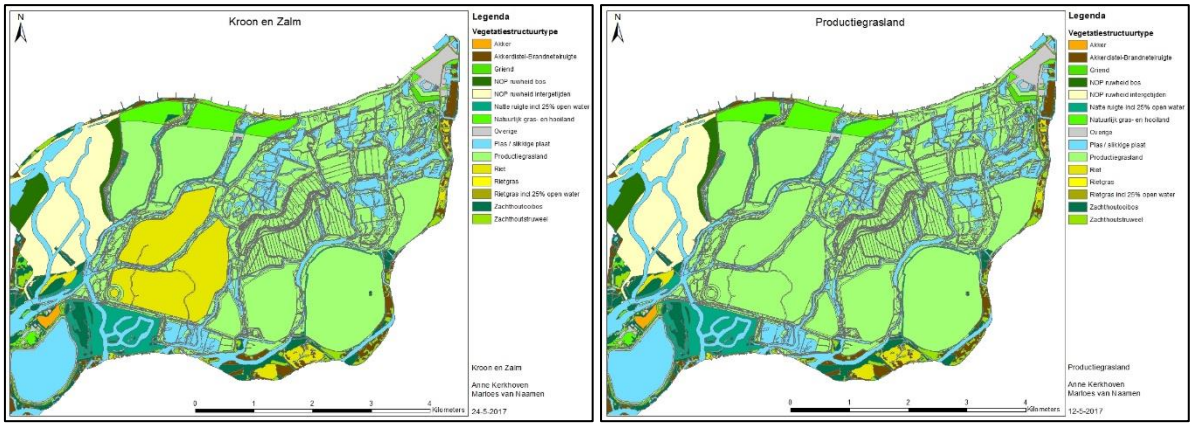
Deelgebied	Maximale waterstand bij Gorinchem t.o.v. NAP
Laag bekade polders	5,10
Laag bekade polders begrazingsgebied	5,11
Muggenwaard	5,12
Kooiwaard	5,13
Beheergebied productiegrasland	5,10
Nulsituatie	5.16

8.5 Overige scenario's

Vanuit de opdrachtgever Gebr. van Kessel zijn drie scenario's naar voren gekomen waarvan zij de invloed op de waterstand bij Gorinchem willen weten (Reijnierse, 2017). Van elk scenario is een kaart gemaakt. In bijlage 20 zijn de vergrote versies van de kaarten weergegeven.

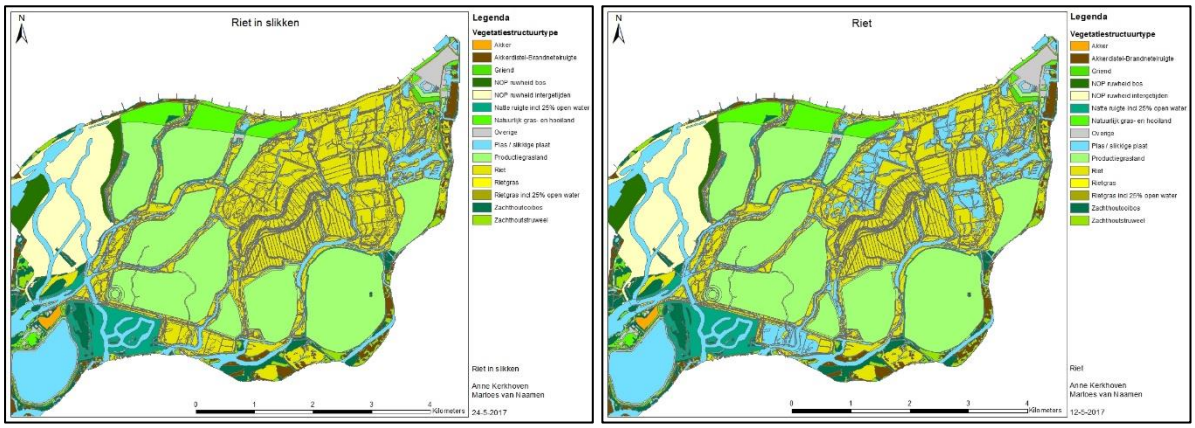
Met het eerste scenario is de invloed van de vegetatie die staat in de polders Kroon en Zalm in de Noordwaard bepaald. Het gehele beheergebied is productiegrasland, terwijl de polders Kroon en Zalm voor dit scenario riet zijn gemaakt. Deze polders bestaan eigenlijk uit productiegrasland. Dit scenario

is vergeleken met het scenario productiegrasland. In figuur 27 zijn de verschillen tussen de scenario's te zien.



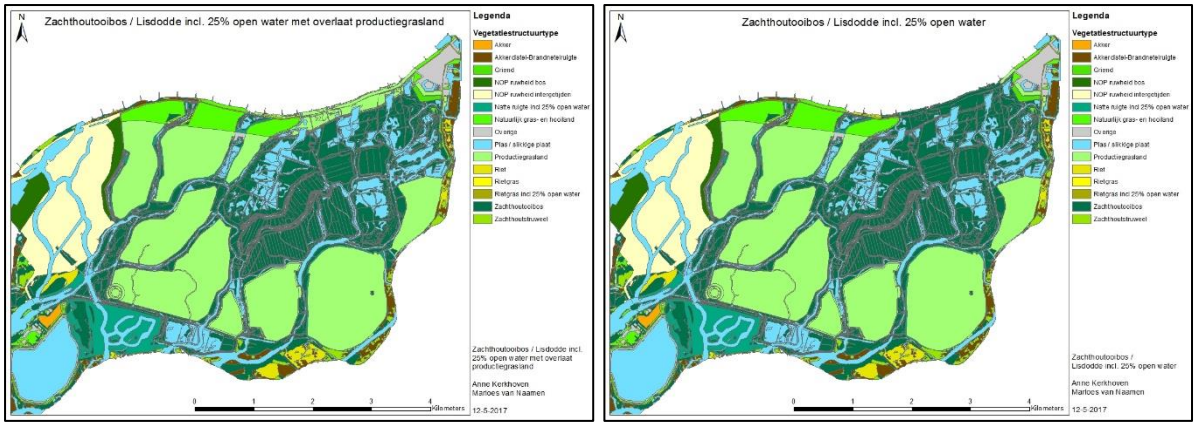
Figuur 27: Verschil eerste scenario met links riet in de polders Kroon en Zalm en rechts het scenario productiegrasland

Het tweede scenario wijst uit hoeveel invloed de slikken hebben op de waterstand bij Gorinchem. Dit is belangrijk om te weten, aangezien in de slikken veel riet kan groeien. In dit scenario zijn de slikken riet gemaakt. Het scenario is vergeleken met het scenario riet, waarbij geen riet in de slikken aanwezig is. In figuur 28 zijn de verschillen tussen de scenario's te zien.



Figuur 28: Verschil tweede scenario met links riet in de slikken en rechts het scenario riet met water in de slikken

In het derde scenario is de overlaat productiegrasland gemaakt. De rest van het beheergebied is zachthoutooibos / lisdodde incl. 25% open water gemaakt. Dit scenario is doorgerekend, omdat de overlaat altijd gemaaid wordt (Reijnierse, 2017). Met dit scenario kan de invloed van de overlaat op de waterstand bij Gorinchem worden bepaald. Dit scenario is vergeleken met het scenario zachthoutooibos / lisdodde incl. 25% open water. In figuur 29 zijn de verschillen tussen de scenario's te zien.



Figuur 29: Verschil derde scenario met links de overlaat productiegrasland en rechts het scenario zachthoutooibos / lisdodde incl. 25% open water

8.6 Resultaten overige scenario's

In tabel 6, 7 en 8 staan de waterstanden bij Gorinchem t.o.v. NAP voor de overige scenario's. Ook de nulsituatie staat aangegeven. Per tabel zijn de resultaten beschreven.

Tabel 6: Scenario 1

Scenario	Waterstand bij Gorinchem t.o.v. NAP
Nulsituatie	5.16
Productiegrasland	5.10
Scenario 1: polders Kroon en Zalm riet	5.12

De waterstand bij Gorinchem is met twee centimeter verhoogd wanneer de polders Kroon en Zalm riet worden gemaakt in plaats van productiegrasland. Het verschil tussen het scenario productiegrasland en de nulsituatie is zes centimeter. Het verschil tussen scenario 1 en de nulsituatie is vier centimeter. Dat wil zeggen dat er, ten opzichte van het scenario productiegrasland, 33% minder waterstandsverlaging optreedt.

Tabel 7: Scenario 2

Scenario	Waterstand bij Gorinchem t.o.v. NAP
Nulsituatie	5.16
Riet	5.21
Scenario 2: riet in slikken	5.22

De waterstand bij Gorinchem is met één centimeter verhoogd wanneer er riet in de slikken komt te staan in plaats van water. Het verschil tussen het scenario riet en de nulsituatie is vijf centimeter. Het verschil tussen scenario 2 en de nulsituatie is zes centimeter. Dat wil zeggen dat er, ten opzichte van het scenario riet, 20% meer waterstandsverhoging optreedt.

Tabel 8: Scenario 3

Scenario	Waterstand bij Gorinchem t.o.v. NAP
Nulsituatie	5.16
Zachthoutooibos / Lisdodde incl. 25% open water	5.14
Scenario 3: overlaat productiegrasland	5.13

De waterstand bij Gorinchem is met één centimeter meer verlaagd wanneer de overlaat productiegrasland wordt gemaakt in plaats van het scenario zachthoutooibos / lisdodde incl. 25% open water. Het verschil tussen het scenario zachthoutooibos / lisdodde incl. 25% en de nulsituatie is twee centimeter. Het verschil tussen scenario 3 en de nulsituatie is drie centimeter. Dat wil zeggen dat er, ten opzichte van het scenario zachthoutooibos / lisdodde incl. 25% open water, 150% meer waterstandsverlaging optreedt.

9. Conclusie en aanbevelingen

Dit hoofdstuk bevat de conclusie en aanbevelingen. In de eerste paragraaf wordt een antwoord op de hoofdvraag gegeven. Uit de conclusie volgen daarna in de tweede paragraaf diverse aanbevelingen.

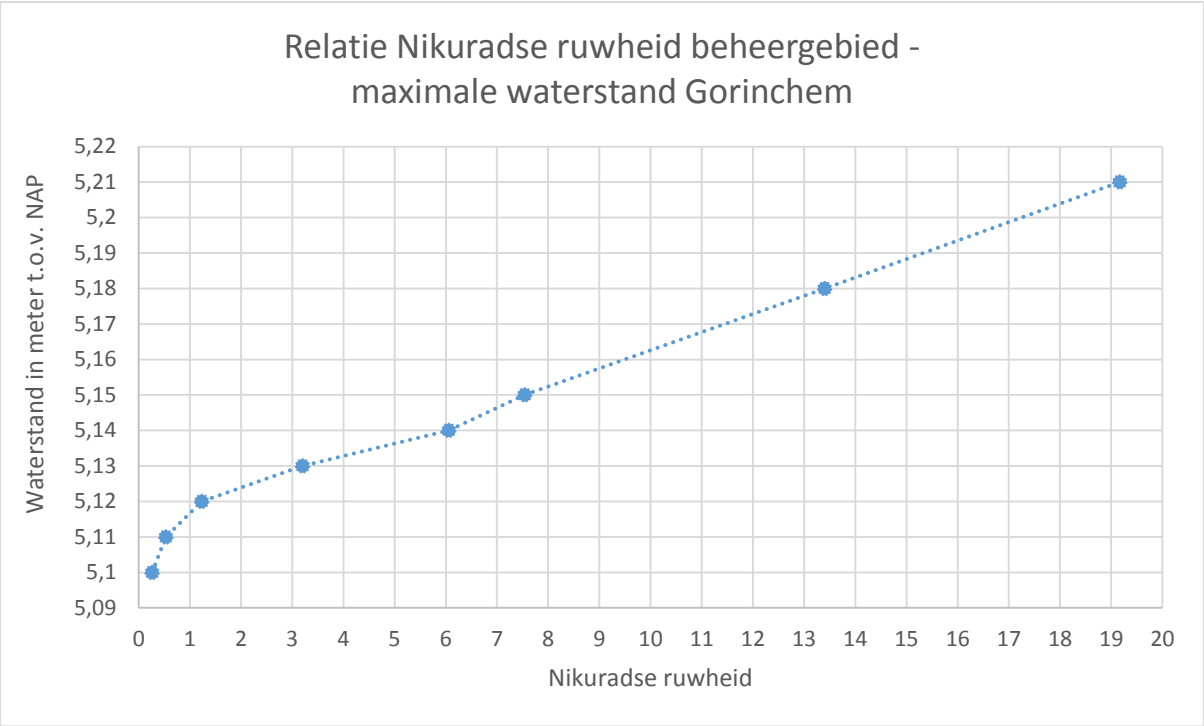
9.1 Conclusie

In deze conclusie wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvraag: "*Wat is de invloed van diverse vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel op de doorstroming in de Noordwaard?*"

De invloed van diverse vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel op de doorstroming in de Noordwaard is vertaald in een waterstand bij Gorinchem. Deze invloed is veroorzaakt door de verschillende vegetatiestructuurtypen, die allemaal een (andere) Nikuradse ruwheid hebben. Deze Nikuradse ruwheid mag, binnen het beheergebied van Gebr. van Kessel in de Noordwaard, maximaal rond de 9 m worden. Bij deze ruwheid is voldoende waterstandsverlaging behaald en blijft de doorstroming in de Noordwaard gewaarborgd. Dit geldt alleen als het gehele beheergebied één ruwheid krijgt. Onder de aanwezige vegetatiestructuurtypen in de Noordwaard heeft griend de hoogst toelaatbare ruwheid. Over de verhouding tussen het aantal vegetatiestructuurtypen met een hoge of lage ruwheid die binnen het beheergebied aanwezig mogen zijn, kan geen uitspraak worden gedaan. Wel kan gezegd worden dat het deelgebied "Kooiwaard" het gevoeligst is voor een hogere ruwheid. Dit deelgebied heeft, ten opzichte van de andere deelgebieden, de meeste invloed op de waterstand bij Gorinchem. Het deelgebied "Laag bekade polders" is het minst gevoelig voor een hogere ruwheid. Dit deelgebied heeft niet of nauwelijks invloed op de waterstand bij Gorinchem.

Verder kan geconcludeerd worden dat de huidige situatie uit 2016 ruimschoots voldoet aan de doorstromingseis. Dit betekent dat Gebr. van Kessel minder machinaal hoeft te maaien en dat kansen en mogelijkheden kunnen worden gecreëerd voor natuurontwikkeling. Dit leidt tot kostenbesparing en een betere voedselvoorziening voor de grazers. Op deze manier wordt toegewerkt naar een zo duurzaam mogelijke manier van beheer van de Noordwaard. Het beheer kan echter niet volledig worden losgelaten. Indien geen beheer plaatsvindt en de natuur volledig haar gang kan gaan, bestaat de kans dat de doorstromingseis niet meer gehaald wordt.

Bovenstaande conclusie is gebaseerd op de resultaten van de deelvragen, zoals genoemd in de inleiding. Uit de eerste deelvraag volgt dat elk vegetatiestructuurtype in de Noordwaard een (andere) Nikuradse ruwheid heeft. Uit de tweede deelvraag komt naar voren dat de nulsituatie bestaat uit een bepaalde combinatie van vegetatiestructuurtypen en een hoogteligging. Deze combinatie veroorzaakt, bij de afvoer-stormcombinatie die representatief is voor de maatgevende waterstand, een maximale waterstand van 5.16 meter +NAP bij Gorinchem. Zonder invloed van de Noordwaard is de maximale waterstand bij Gorinchem 5.59 meter +NAP. De Noordwaard, wanneer deze meestroomt, veroorzaakt in de nulsituatie een waterstandsverlaging van 0.43 meter bij Gorinchem. Uit de derde deelvraag volgt dat de huidige situatie bestaat uit een andere combinatie, dan in de nulsituatie, van vegetatiestructuurtypen en een hoogteligging. Deze combinatie veroorzaakt, bij de afvoer-stormcombinatie die representatief is voor de maatgevende waterstand, een maximale waterstand bij Gorinchem van 5.11 meter +NAP. Het verschil met de nulsituatie bedraagt 0.05 meter. Uit deelvraag vier, de gevoeligheidsanalyse, komt de volgende relatie tussen de Nikuradse ruwheid en de maximale waterstand bij Gorinchem naar voren:



Figuur 30: Relatie Nikuradse ruwheid beheergebied – maximale waterstand Gorinchem

De grafiek geldt alleen wanneer het gehele beheergebied één Nikuradse ruwheid krijgt. Uit de relatie in de grafiek volgt dat de maximale ruwheid in het beheergebied van Gebr. van Kessel rond de 9 m mag zijn. Bij deze Nikuradse ruwheid blijft de doorstroming in de Noordwaard gewaarborgd.

9.2 Aanbevelingen

De belangrijkste aanbeveling die kan worden gedaan richting Gebr. van Kessel is het doorrekenen van nog meer scenario's in het SOBEK model. In dit onderzoek is voornamelijk gekeken naar de invloed van het totale beheergebied op de waterstand bij Gorinchem. De kans dat het gehele beheergebied één vegetatiestructuurtype bevat is echter nihil, omdat natuurontwikkeling ook een belangrijk rol speelt in de Noordwaard. Het is van belang om te onderzoeken wat de invloed is van meerdere vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied op de waterstand bij Gorinchem. Hierbij moet onderzocht worden op welke locaties in het gebied een hoge/lage ruwheid veel/weinig invloed heeft. Tijdens de gevoeligheidsanalyse in dit rapport is dit globaal gedaan. De deelgebieden uit deze analyse moeten verder opgedeeld worden. Op deze manier kan een betere conclusie worden getrokken over welk deel van het beheergebied het gevoeligst is voor een hogere ruwheid. Daarnaast is het van het belang dat de deelgebieden worden ingedeeld in een combinatie van verschillende vegetatiestructuurtypen. Hiermee wordt bedoeld dat in één scenario met meer dan twee vegetatiestructuurtypen in het beheergebied wordt gerekend.
Door de resultaten van deze uitgebreidere gevoeligheidsanalyse kan Gebr. van Kessel vervolgens, in samenwerking met Bureau Waardenburg, besluiten om op bepaalde plekken een vegetatiestructuurtype juist wel of niet te laten groeien. Dit vervolgonderzoek zou kunnen leiden tot een optimale situatie qua indeling van de vegetatiestructuurtypen binnen het beheergebied. In deze optimale situatie hoeft Gebr. van Kessel zo min mogelijk machinaal te maaien en wordt natuurontwikkeling gestimuleerd.

De tweede aanbeveling is om met een fijner grid te rekenen. De rasters die tijdens dit onderzoek zijn gebruikt, in verband met de rekentijd, zijn allemaal 20x20 meter. Door het gebruik van deze gridgrootte kan informatie verloren zijn gegaan. Wanneer met een fijner grid wordt gerekend, is deze kans veel kleiner. Hierdoor kan de werkelijkheid beter worden benaderd.

Naast bovenstaande aanbeveling, wordt ook aanbevolen om de scenario's die in SOBEK zijn doorgerekend ook met WAQUA door te rekenen. Rijkswaterstaat baseert haar eisen op WAQUA en niet op SOBEK. De vraag is of met WAQUA resultaten worden gevonden die dezelfde orde van grootte hebben als de resultaten uit dit onderzoek.

De vierde aanbeveling is om het huidige SOBEK model uit te breiden qua rivierenstelsel. Het aangeleverde rivierenstelsel van de Rijn-Maasmonding is in dit onderzoek grotendeels afgeknipt. De werkelijkheid kan beter benaderd worden wanneer met het volledige rivierenstelsel wordt gerekend, inclusief alle zijtakken.

Verder wordt geadviseerd om meer rekening te houden met de vegetatie buiten het beheergebied van Gebr. van Kessel. De vegetatie buiten dit beheergebied kan veranderen en groeien. Het wordt aanbevolen om in het SOBEK model scenario's door te rekenen waarin de ruwheid van deze gebieden verandert.

De zesde aanbeveling is om het model up-to-date te houden. Monitoring van de vegetatie is hiervoor van belang. Door te monitoren ontstaat een nieuwe vegetatiekaart, die kan worden doorgerekend in het SOBEK model om te kijken welke invloed de vegetatie heeft die op dat moment in het gebied aanwezig is. Ook het aanpassen van de hoogtekaart is van belang voor de hoeveelheid waterstandsverlaging bij Gorinchem. Het is dan ook zaak om, zodra een nieuw hoogtemodel van de Noordwaard beschikbaar is, de hoogtekaart te vervangen in het model.

Het SOBEK model heeft geen rekening gehouden met weersomstandigheden. De Noordwaard is een relatief open vlakte, waardoor bijvoorbeeld de wind kan bijdragen aan de opstuwing bovenstrooms. Daarom wordt geadviseerd om bij vervolgonderzoek rekening te houden met wisselende weersomstandigheden.

Ten slotte wordt aanbevolen om de randvoorwaarden aan te passen op de Waal en Bergsche Maas. De randvoorwaarde op de Waal hangt nu af van 16.000 m^3/s bij Lobith. De nieuwe norm, die is opgesteld in het Deltaprogramma van 2010, is 18.000 m^3/s bij Lobith. De randvoorwaarde op de Bergsche Maas hangt nu af van 3800 m^3/s op de Maas. Deze afvoer wordt verhoogd naar 4600 m^3/s op de Maas. Het is belangrijk om te weten hoeveel waterstandsverlaging optreedt bij Gorinchem, door invloed van de Noordwaard, wanneer deze nieuwe randvoorwaarden worden ingevoerd in het model. Indien te weinig verlaging optreedt, kunnen de vegetatiestructuurtypen en het maaibeleid van Gebr. van Kessel worden aangepast.

10. Discussie

In dit hoofdstuk komen verschillende discussiepunten naar voren naar aanleiding van het onderzoek. Deze discussiepunten betreffen onder andere het SOBEK model, de gevoeligheidsanalyse, de indeling van de vegetatie en de gemaakte berekeningen.

Het gebruikte SOBEK model is een samenvoeging van een SOBEK 1D river model met een SOBEK 1D2D rural model. Het is niet gebruikelijk om een river model aan een rural model te koppelen. Door het ontbreken van een volledig model, waar de onderzoeksvraag mee beantwoord kan worden, zijn deze modellen daarom aan elkaar gekoppeld. Daarnaast is het onbekend hoe recent het aangeleverde river model vanuit Rijkswaterstaat is. Dit kan een verouderd model zijn, maar omdat het de enige optie was voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag, is dit model gebruikt. Het uiteindelijke SOBEK model waarmee het onderzoek uitgevoerd is, is hierdoor niet helemaal betrouwbaar. Bij het maken van verbindingen en het toevoegen van onderdelen in het model kunnen fouten zijn gemaakt. Er kunnen verkeerde verbindingen zijn gemaakt tussen het 1D2D model en het 1D model. In het gekoppelde model zijn nieuwe dwarsdoorsnedes toegevoegd, welke dezelfde dwarsdoorsnede gekregen hebben als de naastgelegen dwarsdoorsnede. Hier kunnen verkeerde dwarsdoorsnedes zijn toegevoegd, waardoor de bodem een ongelijk verloop gekregen heeft. Ook kunnen de dwarsdoorsnedes een verkeerde ruwheid gekregen hebben, waardoor meer of minder weerstand ondervonden wordt dan in de werkelijkheid.

De randvoorwaarden van het model zijn verkregen vanuit Royal HaskoningDHV. Deze zijn uit het WAQUA model gehaald en vervolgens op dezelfde locatie in SOBEK gezet. Aangezien dit verkregen randvoorwaarden zijn, kan het voorkomen dat de randvoorwaarden uit een andere locatie zijn gehaald dan de bedoelde locatie. Hierdoor kan een fout zitten in de randvoorwaarden.

Door de keuze van een initiële waterstand van 0.4 meter +NAP staat in elke watergang een bepaalde hoeveelheid water. Deze waterstand had ook hoger of lager kunnen zijn. De initiële waterstand heeft weinig tot geen invloed op de hoogste waterstand die gehaald wordt.

In dit model is gerekend met een raster van 20x20 meter. Bij het verrasteren van de hoogte- en vegetatiekaart kan hierdoor belangrijke informatie verloren zijn gegaan. Daardoor kan de werkelijkheid minder goed benaderd worden.

De gevoeligheidsanalyse is in dit onderzoek alleen uitgevoerd in het beheergebied van Gebr. van Kessel. De doorstromingseis van 30 cm bij Gorinchem wordt bepaald aan de hand van de gehele Noordwaard. Aangezien dit onderzoek is uitgevoerd voor Gebr. van Kessel is hun beheergebied bekeken en is de invloed van dit beheergebied op de waterstand bij Gorinchem bepaald. Er bestaat een kans dat de overige delen in de Noordwaard de afgelopen jaren, net als het beheergebied van Gebr. van Kessel, zijn veranderd. De invloed hiervan op de waterstand bij Gorinchem is onbekend. Dit is in dit onderzoek niet meegenomen, waardoor de werkelijke invloed van de vegetatie in de gehele Noordwaard niet bekend is.

De vegetatie in dit onderzoek is ingedeeld aan de hand van de vegetatiestructuurtypen uit het handboek van Rijkswaterstaat. De vegetatie waarmee in WAQUA is gerekend en de vegetatie die in augustus 2016 in de Noordwaard voorkwam, zijn hierin ingedeeld. De vegetatie is hierbij zo nauwkeurig mogelijk ingedeeld. In deze indeling kunnen fouten zijn gemaakt waardoor bepaalde vegetatie bij een verkeerd vegetatiestructuurtype terecht is gekomen. Het gevolg hiervan is dat sommige vegetatie een verkeerde ruwheid heeft gekregen.

In dit onderzoek zijn berekeningen gemaakt, met de hand, maar vooral met de computer. Ook zijn veel grafieken afgelezen om de Nikuradse ruwheid te bepalen. Bij het maken van deze berekeningen en het aflezen van grafieken kunnen fouten zijn gemaakt. Het resultaat kan daardoor meer afwijken van de werkelijkheid dan nodig is.

11. Reflectie

In dit hoofdstuk wordt gereflecteerd op het afstudeerproces. De auteurs hebben apart van elkaar gereflecteerd.

11.1 A.E. (Anne) Kerkhoven

Het maken van deze afstudeerscriptie heb ik als zeer interessant ervaren. Ik ben blij met het eindresultaat en kijk tevreden terug op deze periode.
Vrijwel het hele onderzoek is soepel verlopen. We hebben één keer even moeten doorwerken om ons SOBEK model op tijd af te krijgen. In het begin hebben we het denk ik iets te rustig aan gedaan. We hadden het theoretisch kader toen al helemaal kunnen afschrijven, maar destijds wisten we nog niet zo goed wat daar allemaal in moest staan. De volgende keer zou ik dit eerder willen afronden.
Van te voren had ik gedacht dat we een nog specifieker eindresultaat konden opleveren. Door de rekentijd van ons SOBEK model was dit echter niet mogelijk. Ik heb hier van geleerd dat je van te voren beter iets voorzichtiger kan zijn met het inschatten van je eindresultaat om teleurstellingen te voorkomen. Door de strakke planning die we hebben gemaakt, is het eindresultaat uiteindelijk als nog naar wens.
Over de samenwerking, zowel met Marloes, als met Jan Louis en Anouk, ben ik erg te spreken. De communicatie tussen ons allen verliep goed en mede daardoor heb ik het afstuderen als prettig ervaren. Iedereen was goed en snel te bereiken en ook bereid tot het geven van feedback. Aan Marloes heb ik een uitstekende afstudeerpartner gehad. Wij hebben veelal dezelfde mening gehad over bepaalde zaken in ons onderzoek, maar voor een discussie was ook genoeg ruimte. Wij kwamen hier altijd goed uit en vaak met een nog beter resultaat dan één van ons tweeën daarvoor in gedachte had.

A.E. (Anne) Kerkhoven Velp, mei 2017

11.2 M. (Marloes) van Naamen

Ik heb het schrijven van deze scriptie de afgelopen maanden als een leerzame en leuke periode ervaren. Ik vond het een interessant onderwerp om op af te studeren en ben ook tevreden over ons uiteindelijke eindresultaat.
We hebben weinig tegenslagen gehad, waardoor wij telkens door konden met het schrijven van het rapport. We hebben even moeten wachten op de geleverde modellen die wij nodig hadden voor het bouwen van ons SOBEK model. Wanneer deze eenmaal binnen waren en wij aan de slag konden, verliep het goed. Ik ben blij dat een goede planning is gemaakt voor het draaien van de scenario's. Door deze planning zijn alle scenario's op tijd op de goede computer gedraaid. Ik heb hieruit geleerd dat het ontzettend belangrijk is om meteen achter je benodigde data aan te gaan. Doordat wij dit van begin af aan hebben gedaan, hebben wij op tijd kunnen starten met het draaien van ons model.
Wat mij is meegevallen tijdens dit onderzoek, is het maken van nieuwe scenario's. Toen het model eenmaal af was, was het alleen maar een kwestie van in GIS de kaart aanpassen en deze in te voeren in SOBEK. Op deze manier konden we tijdens het draaien van de scenario's werken aan de inhoud van het rapport.
Over het verloop van de samenwerking ben ik erg tevreden. Wanneer wij vragen hadden, stonden zowel Jan Louis als Anouk voor ons klaar. Zij waren altijd snel bereikbaar en gestelde vragen werden serieus genomen, waardoor betere inzichten voor ons onderzoek zijn ontstaan. De samenwerking met Anne is ontzettend goed verlopen. Wij zaten meestal op dezelfde lijn voor het onderzoek en wanneer dit niet het geval was, hebben we hierover gediscussieerd. Deze discussies hebben veel bijgedragen, in positieve zin, aan het uiteindelijke resultaat van het onderzoek.

M. (Marloes) van Naamen Velp, mei 2017

Bibliografie

AHN. (2017). *AHN Viewer*. Opgehaald van Actueel Hoogtebestand Nederland: http://www.ahn.nl/common-nlm/viewer.html

Algemene Rekenkamer. (2010). *Ruimte voor de Rivier.*

Beheer van de Noordwaard. (2017). Opgehaald van Kessel: http://www.kessel.nl/nl/projecten/detail/noordwaard-vier-jaargetijden

Boudewijn, T. (2017). Hoogtekaart. (A. Kerkhoven, & M. van Naamen, Interviewers)

Boudewijn, T. (2017). Vegetatiekaart. (A. Kerkhoven, & M. van Naamen, Interviewers)

Boudewijn, T. (2017). Vegetatiestructuurtypen. (A. Kerkhoven, & M. van Naamen, Interviewers)

Deltacomissaris. (2017). *Gebieden en generieke thema's*. Opgeroepen op februari 6, 2017, van Deltaprogramma: https://www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/inhoud/gebieden-en-generieke-themas

Deltacommissaris. (2016). *Achtergrond Deltaprogramma*. Opgeroepen op februari 6, 2017, van Deltaprogramma: http://www.deltacommissaris.nl/deltaprogramma/inhoud/achtergrond-deltaprogramma

Evers, B. (2017). Modelleren SOBEK. (A. Kerkhoven, & M. van Naamen, Interviewers)

Evers, B. (2017). SOBEK intergetijden model. (A. Kerkhoven, & M. van Naamen, Interviewers)

Evers, B. (2017). WAQUA. (A. Kerkhoven, & M. van Naamen, Interviewers)

Gebr. van Kessel. (2017). *Beheer van de Noordwaard*. Opgeroepen op februari 6, 2017, van Gebr. van Kessel: http://www.kessel.nl/nl/projecten/detail/noordwaard-vier-jaargetijden

Kuddebeheer. (2017). Opgehaald van Free nature: http://www.freenature.nl/free/p000060/wat-biedt-free-nature/kuddebeheer

Makaske, B., & Maas, G. (2015). *Handboek geomorfologisch beekherstel.* Opgehaald van http://beekenrivierherstel.stowa.nl/upload/publicatie2014/2015-02.pdf

Natuurlijke begrazing. (2017). Opgeroepen op 4 4, 2017, van Free Nature: http://www.freenature.nl/free/p000024/visie-en-missie/natuurlijke-begrazing

Olthof, J., Tollenaar, K., & Wijma, E. (2015). *Beheerplan Noordwaard.*

Overheid in Nederland. (2017). *Kies provincie*. Opgeroepen op februari 21, 2017, van Overheid in Nederland: http://www.overheidinnederland.nl/

Peters, B., Kater, E., & Geerling, G. (2006). *Cyclisch beheer in uiterwaarden: Natuur en veiligheid in de praktijk.* Opgehaald van http://www.cyclischbeheer.nl/pdf/Cyclisch_beheer_in_uiterwaarden.pdf

Projectbureau Noordwaard & Consortium (Arcadis, DHV en Royal Haskoning). (2010). *Toelichting Rijksinpassingsplan Ontpoldering Noordwaard.*

Reijnierse, J. L. (2017). Beheergebied Gebr. van Kessel. (A. Kerkhoven, & M. van Naamen, Interviewers)

Reijnierse, J. L. (2017). Waterstand Gorinchem. (M. v. A. Kerkhoven, Interviewer)

Rijkswaterstaat. (2014). *Toelichting op het onderdeel Vegetatielegger.* Opgehaald van https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Toelichting%20Vegetatielegger_tcm174-367383_tcm21-20334.pdf

Ruimte voor de Rivier. (2017). *Ontpoldering Noordwaard*. Opgeroepen op februari 6, 2017, van Ruimte voor de Rivier: https://www.ruimtevoorderivier.nl/project/ontpoldering-noordwaard/

Ruimte voor de Rivier. (2017). *Over ons*. Opgeroepen op februari 6, 2017, van Ruimte voor de Rivier: https://www.ruimtevoorderivier.nl/over-ons/

Staf deltacommissaris. (2014). *Deltaprogramma 2015.* Den Haag: VormVijf.

van Velzen, E. H., Jesse, P., Cornelissen, P., & Coops, H. (2003). *Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden; Deel 1 Handboek versie 1.*

van Velzen, E. H., Jesse, P., Cornelissen, P., & Coops, H. (2003). *Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden; Deel 2 Achtergronddocument versie 1.*

Visser, T. (2017, maart). SOBEK-RMM. (A. Kerkhoven, & M. van Naamen, Interviewers)

Vos, F. (2017). GIS. (A. Kerkhoven, & M. van Naamen, Interviewers)

Wijma, E. (2009). *Ontpoldering Noordwaard; Hydraulische onderbouwing Inrichtingsplan t.b.v. SNIP3 toets.* Opgeroepen op 2017

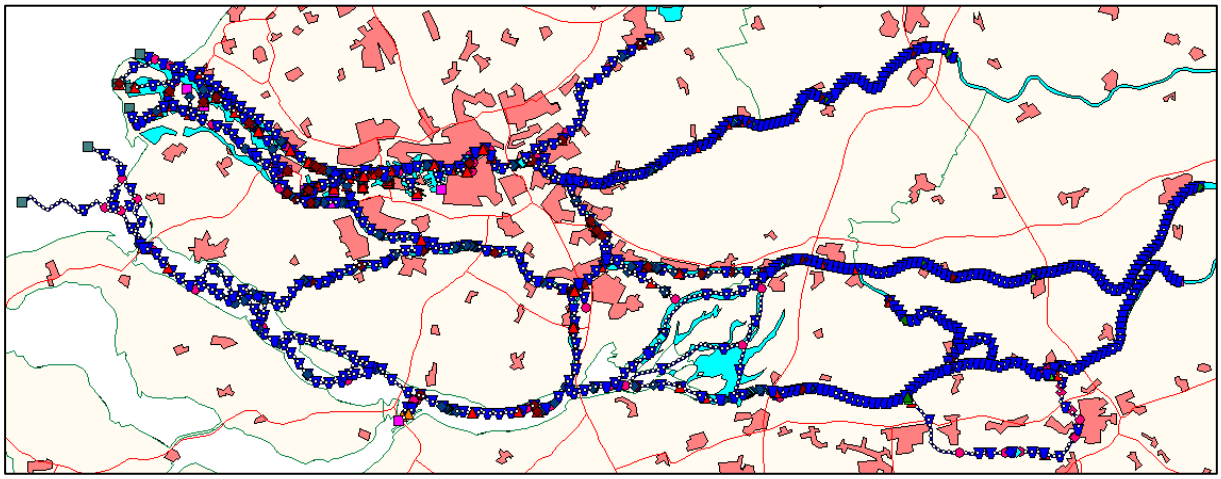
Bijlagen

Inhoud:

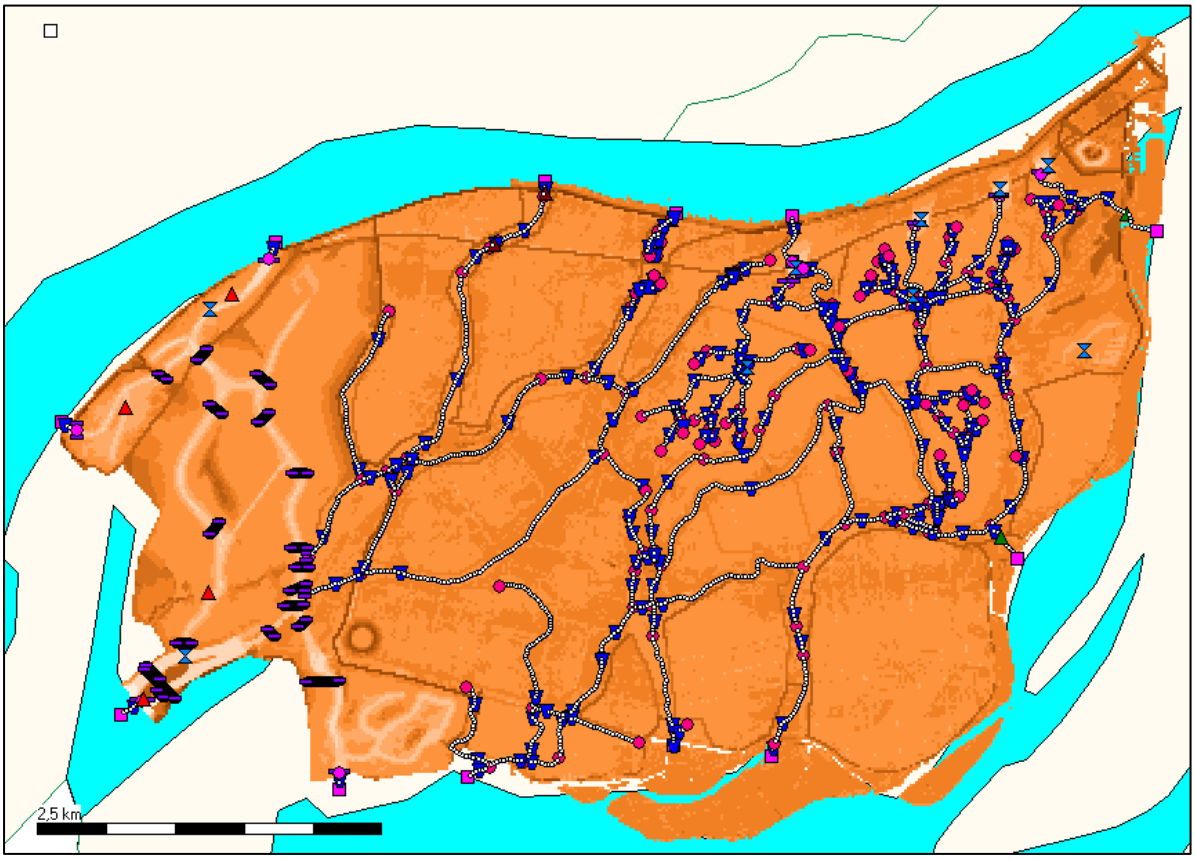
Bijlage	Beschrijving	Pagina
1	Gedetailleerde beschrijving van methode voor SOBEK	- 51 -
2	Gedetailleerde beschrijving van de methode van de hoogtekaart	- 55 -
3	Gedetailleerde beschrijving van de methode van de vegetatiekaart	- 57 -
4	Locatie grazers in de Noordwaard	- 58 -
5	Beschrijving vegetatiestructuurtypen	- 59 -
6	Berekening k_n waarde heggen, laanbeplanting en verspreid voorkomende bomen	- 61 -
7	Ruwheid en overige parameters vegetatiestructuurtypen	- 64 -
8	Hoogtekaart nulsituatie	- 67 -
9	Vegetatiekaart nulsituatie	- 68 -
10	Overzicht overgang WAQUA vegetatiestructuurtypen naar juiste vegetatiestructuurtypen	- 69 -
11	Waterstand Gorinchem nulsituatie 7 dagen	- 70 -
12	Verschil hoogtekaart nulsituatie en hoogtekaart huidige situatie	- 71 -
13	Hoogtekaart huidige situatie	- 72 -
14	Overzicht overgang aangeleverde vegetatiestructuurtypen 2016 naar juiste vegetatiestructuurtypen	- 73 -
15	Vegetatiekaart huidige situatie	- 74 -
16	Kaarten gevoeligheidsanalyse beheergebied	- 75 -
17	Grafiek waterstand Gorinchem voor diverse vegetatiestructuurtypen in beheergebied	- 83 -
18	Stroomsnelheid riet	- 84 -
19	Kaarten invloed deelgebieden	- 87 -
20	Kaarten overige scenario's	- 91 -

Bijlage 1: Gedetailleerde beschrijving van methode voor SOBEK

Vanuit Rijkswaterstaat is het SOBEK 1D model van het rivierenstelsel van de Rijn-Maasmonding verkregen. Dit 1D model is opgebouwd uit kanalen met daartussen dwarsdoorsnedes van de watergangen. In onderstaand figuur is het model te zien.

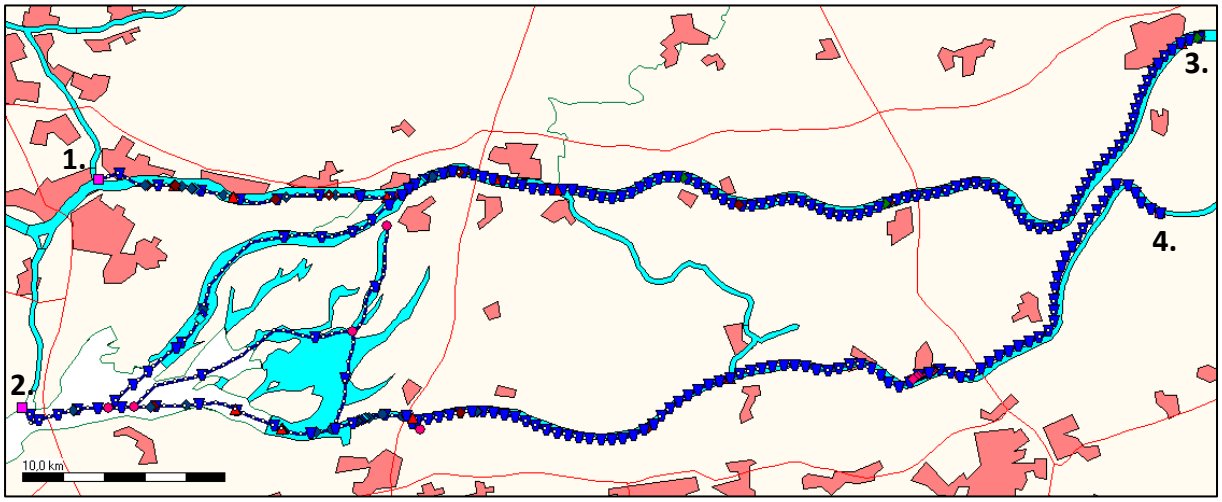


Vanuit Royal HaskoningDHV is een SOBEK 1D2D model van de Noordwaard verkregen. Dit gehele model wordt weergegeven in onderstaande figuur. Het 1D gedeelte van het model is, net als het 1D model van het rivierenstelsel, opgebouwd uit kanalen met daartussen dwarsdoorsnedes van de watergangen. Het 2D gedeelte van dit model bestaat uit een hoogtegrid. Bij een hoge waterstand in de watergangen kan het water op het grid stromen.



De verandering van de waterstand bij Gorinchem moet bepaald worden met- en zonder invloed van de Noordwaard. De invloed op de waterstand bij Gorinchem zonder de Noordwaard wordt bepaald met het 1D model van het rivierenstelsel. Door vervolgens het 1D en het 1D2D model aan elkaar te koppelen ontstaat één model waarmee de invloed van de Noordwaard op de waterstand bij Gorinchem bekeken kan worden.

Een gedeelte van het 1D model wordt verwijderd, omdat dit niet bijdraagt aan het uiteindelijke doel van dit onderzoek en dit bovendien de rekentijd vergroot. Het gedeelte dat gebruikt wordt is weergegeven in onderstaande figuur.



Om het juiste gedeelte te verwijderen moeten de watergangen geselecteerd worden *(Edit Network → Reach → Delete Reach → Reaches selecteren welke verwijderd moeten worden).* De watergangen worden verwijderd tot aan vier punten. Op deze punten worden randvoorwaarden aan het model toegevoegd. De vier punten zijn hetzelfde genummerd als in bovenstaande figuur. Het model wordt afgeknipt op de volgende locaties:

1. De splitsing van de Beneden Merwede in de Oude Maas en rivier Noord.
2. Het punt waar de Dordtsche Kil uitmondt in het Hollands Diep.
3. De Waal tot aan Tiel.
4. De Bergsche Maas tot aan Lith.

Naast bovenstaande locaties worden ook alle overige watergangen verwijderd die verbonden zijn aan de twee hoofdwatergangen. Het betreft hier de Afgedamde Maas en het afwateringskanaal 's Hertogenbosch-Drongelen.

Aan locatie 1 en 2 wordt een Boundary knoop gekoppeld die het model afsluit en waar de randvoorwaarden ingezet kunnen worden *(Boundary aanzetten bij Edit Network → Node → Node type → klikken op laatste punt bij de randvoorwaarden links)*. Locatie 3 en 4 zijn allebei al een boundary knoop. Vervolgens worden bij de vier boundaries de randvoorwaarden ingevuld *(Boundary → Model data → Flow Data → Value → Function of time → Table → Data, Time en Level invullen → OK).*

De kans dat knopen en takken van beide SOBEK modellen dezelfde naam hebben is groot. Om eventuele foutmeldingen te voorkomen worden de namen van het 1D model aangepast. Het gehele SOBEK 1D model van het rivierenstelsel krijgt het voorvoegsel RMM (Rijn-Maasmonding) *(Gehele model selecteren → Edit Network → Node → Change ID's → Preposition: RMM_).*

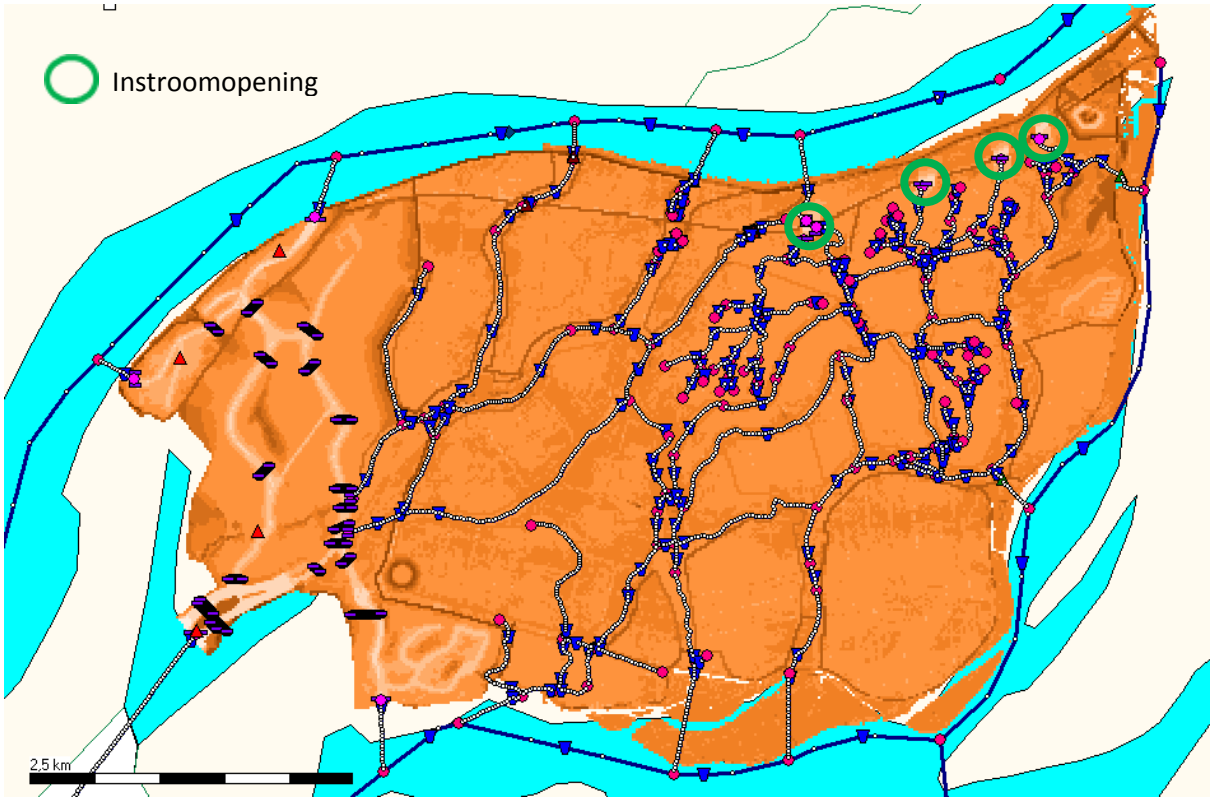
Het SOBEK 1D model en het SOBEK 1D2D model worden aan elkaar gekoppeld. Dit wordt gedaan door het SOBEK 1D2D model te importeren in het 1D model *(File → Import Case → As built → Yes → Combine the new Network with the existing Network).* De twee modellen staan nu samen in één case, maar zijn nog niet met elkaar verbonden.

Om de watergangen aan elkaar te koppelen wordt een rekenpunt geselecteerd. Wanneer deze niet in de buurt ligt, wordt een rekenpunt toegevoegd *(Calculation Point selecteren → Node → Add Node).* Op het rekenpunt wordt een *Connection Node* in het 1D model gelegd en deze wordt verbonden met de grens, *Boundary*, van het 2D model *(Connection node selecteren → Reach → Split Reach at Node en op het rekenpunt klikken → Move and Combine, lijn trekken van Boundary naar Connection Node).*

Tussen elke *Connection Node* wordt een dwarsdoorsnede aangelegd. *(Edit Network → Cross Section → Node → Add Node)* In deze *Cross Sections* wordt dezelfde dwarsdoorsnede gezet als de dichtstbijzijnde bestaande dwarsdoorsnede. Daarnaast wordt de bodemhoogte van de dwarsdoorsnede bepaald door naar de naastgelegen dwarsdoorsnedes te kijken. *(Schematisation → Cross Section → Linker muisknop → Model Data → Flow Model → Location → Cross-section level shift, vervolgens naar Cross Section → Cross Section veranderen)*

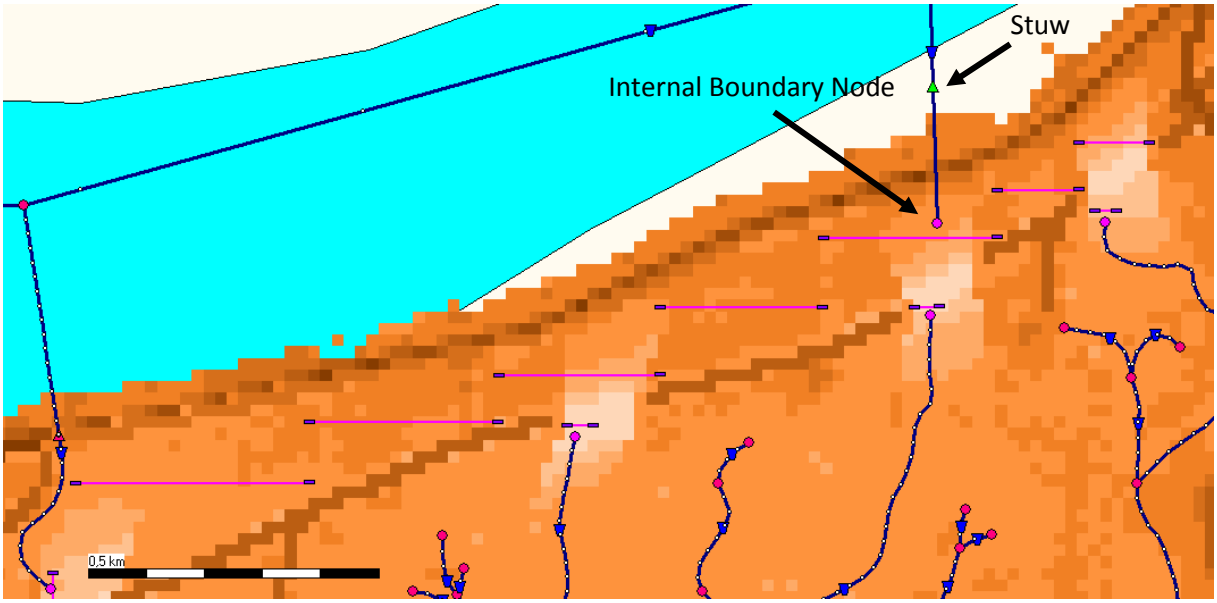
Door de Connection Nodes te interpoleren wordt de bodem gelijkmatiger *(Connection Node → Model Data → Flow Model → Interpolation Over Node → Interpolate Cross-section Bathymetry (only) over Node → Specification Reaches).*

Om het 2D grid in verbinding te krijgen met het 1D model, worden deze aan elkaar gekoppeld. Dit wordt gedaan bij de vier instroomopeningen, zie onderstaand figuur.



Deze verbinding wordt gemaakt door over de gehele lengte van de dijk (2100m) een verbinding te leggen (*Edit Network → selecteren 2D Corner → Node → Add Node*) (*Edit Network → selecteren Line 1D/2D Internal Boundary →Connection → Connect nodes*). In het volgende figuur is te zien op welke

manier de verbinding wordt aangelegd tussen het 1D rivierenmodel en het 2D grid. Aangezien de 1D/2D Internal Boundaries niet schuin over de gridcellen getrokken kunnen worden, wordt de lengte trapsgewijs opgebouwd en worden veel 2D corners toegevoegd. De 1D/2D Boundaries die in het model gezet worden zijn allen verbonden met de 1D/2D Internal Boundary node die wordt aangewezen door de zwarte pijl (*Linker muisknop 1D/2D Internal Boundary → Model data → Overland Flow Model → Boundary condition → Type → 1D2D Connection, Value → 1D2D Boundary Connection Node*) (Allemaal verbinden met de 1D2D Internal Boundary node met de zwarte pijl).
Vervolgens wordt een stuw toegevoegd om te zorgen dat het water pas bij 2.0 meter +NAP bij de Internal Boundary node terecht komt *(Edit Network → Flow Model → Weir → Node → Add Node)*.



Voor het gehele model wordt een vaste initiële waarde bepaald. De initiële waardes die vast staan in het 2D model worden verwijderd *(2D model selecteren → Model data → Overland Flow Model → Initial Water Level Point → Initial Water Level).* De initiële waterhoogte wordt voor het gehele model op 0.4 meter +NAP gezet *(Settings → 1DFLOW (Rural of River) → Edit → Initial data → define global initial values → initial water level)*.

De Cross Sections bevatten een weerstand. Deze wordt per deel van de watergang ingevuld *(Watergangen selecteren → Model data → Flow Model → Cross Section → Friction).* De waarden vanuit het originele 1D model en het 1D/2D model worden overgenomen. De toegevoegde Cross Sections krijgen dezelfde weerstand als de dichtstbijzijnde al bestaande Cross Section.

Bijlage 2: Gedetailleerde beschrijving van de methode van de hoogtekaart

Hoogtekaart nulsituatie

In het 1D/2D model dat is aangeleverd vanuit Royal HaskoningDHV is een hoogtekaart aanwezig. Deze hoogtekaart bestaat uit een AHN2 kaart inclusief de aanpassingen van de dijken en kades zoals deze zijn aangelegd ten tijde van de ontpoldering van de Noordwaard. De hoogtekaart kan vanuit SOBEK als ASCII file worden geëxporteerd *(Schematisation → Edit model → File → Export → 2D Grid data → ModelData)*. De hoogtekaart vanuit het 1D/2D model is niet helemaal compleet, aan de randen missen wat stukken van de Noordwaard.

Via de viewer van www.ahn.nl worden twee kaartbladen gedownload. De legenda wordt gezet op 'AHN2 – Downloads per kaartblad'. Kaartbladen 44BN2 en 44BZ2 worden gedownload als maaiveld raster AHN2 5 meter. Dit zijn allebei TIFF-bestanden. Met behulp van een raster van de vegetatiekaart van 2016 en de tool 'Extract by Mask' worden de juiste gebieden uit de kaartbladen geknipt *(ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract by Mask).* Hierbij worden de TIFF-bestanden ook meteen verrastert in hokjes van 20x20 meter, door dit in de environments aan te geven *(Environments → Raster Analysis → Cell Size → 20)*.

Alle drie de stukken hoogtekaarten moeten eerst van meter naar centimeter worden omgezet met behulp van de Raster Calculator *(ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator)*. In de Raster Calculator wordt gebruik gemaakt van een integer (Int) op de volgende wijze: Int("hoogtekaart" * 100). De twee AHN kaartbladen die gedownload zijn moeten aan elkaar worden geplakt. Dit kan met behulp van Mosaic To New Raster *(ArcToolbox → Data Management Tools → Raster → Raster Dataset → Mosaic To New Raster)*. Hierbij worden de volgende randvoorwaarden gekozen:

- Pixel Type: 16_BIT_SIGNED
- Number of Bands: 1

Op de stukken waar de nieuwe stukken hoogtekaart aan de hoogtekaart uit het 1D/2D model moeten worden toegevoegd is nog 'geen data' aanwezig. Dit moet eerst worden gecreëerd, omdat de kaarten anders niet kunnen worden samengevoegd. Hiervoor moet een grens worden gemaakt waarbinnen deze nieuwe delen kaart ook vallen. Met behulp van de Editor wordt een nieuwe shapefile aangemaakt die als grens dient. Vervolgens wordt met behulp van de Raster Calculator ook op de stukken waar zich nu geen data bevindt ook 'No Data' toegevoegd. In de Raster Calculator wordt het volgende ingevoerd: ("hoogtekaart 1D/2D" * 1). De volgende environments worden hierbij gebruikt:

- Processing Extent: "grens shapefile"
- Raster Analysis Cell Size: 20
- Raster Analysis Mask: "grens shapefile"

De hoogtekaart uit het 1D/2D model en de hoogtekaarten die zijn gedownload en samengevoegd worden nu gecombineerd met behulp van de Raster Calculator. In de Raster Calculator wordt het volgende ingevoerd: Con(IsNull("hoogtekaart 1D/2D"), "hoogtekaart downloads", "hoogtekaart 1D/2D"). Deze invoerregel betekent eigenlijk dat op alle stukken waar de hoogtekaart 1D/2D aanwezig is deze kaart wordt gebruikt. Op de plekken waar deze kaart 'No Data' bevat worden de stukken van de hoogtekaart downloads gebruikt. Na deze actie ontstaat één hoogtekaart.

Ten slotte wordt de nieuwe hoogtekaart weer omgezet naar meters met behulp van de Raster Calculator. Het volgende wordt ingevoerd: ("nieuwe hoogtekaart" * 0.01). Hierna wordt de kaart aan de hand van Raster tot ASCII omgezet naar een ASCII-bestand *(ArcToolbox → Conversion Tools → From Raster → Raster to ASCII).*

Hoogtekaart huidige situatie

Vanuit Bureau Waardenburg is een nieuwe hoogtekaart verkregen uit april 2016. Deze hoogtekaart bevat echter niet de hele Noordwaard. Hierdoor moeten de hoogtekaart uit deelvraag 2 en deze nieuwe hoogtekaart nog gecombineerd worden.
De hoogtekaart uit april 2016 is een TIFF-bestand. Met behulp van de Raster Calculator moet de eenheid eerst van meter naar centimeter worden omgezet *(ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator)*. In de Raster Calculator wordt gebruik gemaakt van een integer (Int): Int("hoogte april 2016" * 100). Vervolgens wordt uit deelvraag 2 de juiste hoogtekaart in centimeter gebruikt om samen te voegen. Hiervoor wordt Mosaic To New Raster gebruikt *(ArcToolbox → Data Management Tools → Raster → Raster Dataset → Mosaic To New Raster)*. Als input rasters worden de twee hoogtekaarten in centimeter gebruikt. Verder worden de volgende instellingen gebruikt:

- Pixel Type: 16_BIT_SIGNED
- Number of Bands: 1
- Mosaic Operator (optional): FIRST

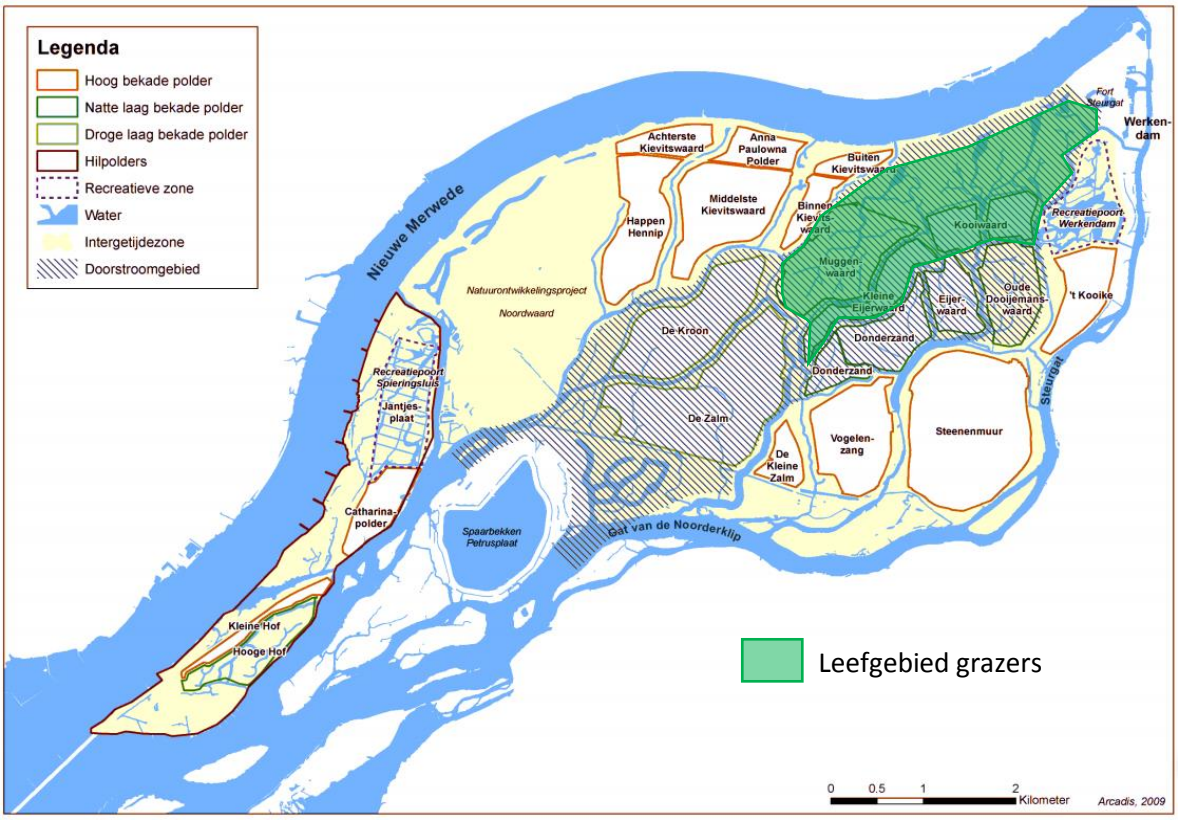
Het is hierbij belangrijk dat de hoogtekaart uit april 2016 hierbij boven de hoogtekaart uit deelvraag 2 staat. De Mosaic Operator wordt hier namelijk op ingesteld met FIRST. Deze instelling zorgt ervoor dat op de overlappende delen van de kaarten de gegevens van alleen de bovenliggende kaart worden behouden. Op de overige delen wordt de onderliggende kaart gehanteerd. Wanneer de hoogtekaart van april 2016 bovenligt, worden alle delen uit deze kaart overgenomen en wordt de rest opgevuld met de kaart uit deelvraag 2.

Vervolgens wordt met behulp van de Raster Calculator de kaart nog weer in meters gezet: ("nieuwe hoogtekaart april 2016" * 0.01). Ten slotte wordt de kaart aan de hand van Raster tot ASCII omgezet naar een ASCII-bestand *(ArcToolbox → Conversion Tools → From Raster → Raster to ASCII).*

Bijlage 3: Gedetailleerde beschrijving van de methode van de vegetatiekaart

Voor het tot stand komen van een vegetatiestructuurkaart van de nulsituatie moeten de vegetatiestructuurtypen die in 2009 voorkwamen in de Noordwaard, in beeld gebracht worden. In 2009 heeft Royal HaskoningDHV met een WAQUA model berekeningen uitgevoerd om de waterstandsverlaging bij Gorinchem te kunnen waarborgen. Dit is onder andere gedaan aan de hand van een GIS bestand waarin de ruwheidscodes voor WAQUA staan weergegeven. In een bijlage van dit GIS bestand zijn deze ruwheidscodes weergegeven met de bijbehorende ruwheid. De ruwheidscodes van WAQUA moeten worden omgezet naar eenruwheid, waarmee SOBEK kan rekenen. Er worden twee nieuwe kolommen toegevoegd in de tabel van het GIS bestand waarin de eerste tabel de vegetatiestructuurtypen gaat weergeven en de tweede tabel de bijbehorende ruwheid. De vegetatiestructuurtypen waarin de ruwheidscodes ingedeeld moeten worden, worden weergegeven in de eerste deelvraag. Met behulp van de bijlage van het GIS bestand en de tabel uit de eerste deelvraag worden de ruwheidscodes uit WAQUA vertaald naar een vegetatiestructuurtype met bijbehorende ruwheid. Wanneer bepaalde ruwheidscodes niet overeenkomen met de vegetatiestructuurtypen uit de eerste deelvraag wordt de ruwheid die aan de ruwheidscode verbonden zit in het WAQUA model aangehouden.
Dit GIS bestand geeft vervolgens een GIS kaart met daarin de ruwheid. Deze ruwheid heeft SOBEK nodig om de weerstand in de Noordwaard te bepalen. De vegetatiekaart met ruwheid moet van een shapefile worden omgezet naar een raster*(ArcToolbox → Conversion Tools → To Raster → Polygon to Raster)*. Het raster wordt gemaakt op basis van de ruwheid (k_n) met een celgrootte van 20x20 meter. Dit moet worden gedaan, omdat het hoogtebestand deze celgrootte heeft en vegetatie- en hoogtekaart dezelfde celgrootte moeten hebben om te kunnen rekenen in SOBEK. Vervolgens moet het raster van de vegetatiekaart dezelfde grootte hebben als het ASCII bestand van de hoogtekaart. Een gedeelte van de vegetatiekaart moet verwijderd worden *(ArcToolbox → Data Management Tools → Raster → Raster Processing → Clip, Input = Raster vegetatie, Output = Hoogtekaart).* De laatste stap, voordat de vegetatiekaart in SOBEK gezet kan worden is het omzetten van het geclipte rasterbestand van de vegetatiekaart naar een ASCII bestand *(ArcToolbox → Conversion Tools → From Raster → Raster to ASCII, opslaan als ASCII file).*

Bijlage 4: Locatie grazers in de Noordwaard



Bijlage 5: Beschrijving vegetatiestructuurtypen

Pioniervegetatie
Dit vegetatietype omvat een grote variatie aan plantengemeenschappen die voorkomen in hoog dynamische milieus. Zowel natte- als droge pioniersvegetaties komen hierin voor. De natte vegetatietypen bevinden zich op open plekken langs oevers, met voldoende aanvoer van voedingsstoffen. De droge vegetatietypen vestigen zich op de hoger gelegen delen die zomers droog komen te vallen.

Graslanden
Het cluster van graslanden bestaat uit drie vegetatietypen: productiegrasland, natuurlijk gras- en hooiland en verruigd grasland. Op productiegraslanden vindt intensieve seizoensbegrazing plaats. De soortencombinatie is sterk afhankelijk van het ingezaaide grasmengsel. Natuurlijk gras- en hooiland en verruigd grasland vallen onder het natuurlijke beheer. Het type grasland en de soortensamenstelling is afhankelijk van de hoogteligging, bodem en het beheer.

Ruigten
Het cluster van ruigten bestaat uit vijf vegetatietypen: akkerdistel-brandnetelruigte, droge ruigte, dauwbraamruigte, harig wilgenroosje ruigte en rietruigte. Deze ruigten komen voor op verschillende standplaatsen met verschillende vochtigheid van de bodem.

Moerasvegetatie
Het cluster van moerasvegetatie bestaat uit zes vegetatietypen: natte ruigte, biezen, zegge, rietgras, lisdodde en riet. Deze vegetatie omvat kruidachtige vegetaties op standplaatsen die continue voor een gedeelte onder water staan. Onder andere afhankelijk van de waterdiepte zal hierbij vaak een bepaald type domineren. Het vegetatietype is hier ook naar vernoemd.

Struwelen
Het cluster van struwelen bestaat uit drie vegetatietypen: zachthoutstruweel, doornstruweel en griend. Langs de rivieren in Nederland komen twee typen struwelen voor, het zachthoutstruweel en het doornstruweel. Zachthoutstruwelen vormen veelal een successiestadium voor het ontstaan van ooibos. Het onderscheid tussen bos en struweel wordt vooral gemaakt op basis van de dichtheid. Naast deze twee struwelen zijn in het verleden wilgen geplant ten behoeve van de griendcultuur. Deze grienden worden meestal niet meer gebruikt waardoor ze steeds meer lijken op natuurlijke bossen.

Bossen
Het cluster van bossen bestaat uit drie vegetatietypen: zachthoutooibos, hardhoutooibos en productiebos. Er wordt onderscheid gemaakt in de natuurlijke types, zachthout- en hardhoutooibos en het aangeplante type, productiebos. Bij de aangeplante bossen kan afhankelijk van de aangeplante soorten onderscheid worden gemaakt in zachthout, hardhout en naaldhoutproductie.

Overig
De waterbodems kunnen worden onderverdeeld in vijf categorieën: meestromende nevengeul, strang, plas/slikkige plaats, haven of krib vak-strand/ grindplaat. Voor dit vegetatietype zijn vaste weerstandcoëfficiënten opgesteld, welke onafhankelijk van de waterdiepte zijn berekend.
Het vegetatietype akker heeft in de zomer een hoge dichtheid, maar wordt in het najaar geoogst. Er zijn soms nog stoppels te vinden op het land, maar deze komen in lage dichtheden voor. Ter bevordering van de bodemstructuur wordt de grond meestal voor de winter geploegd. Er bevindt zich weinig tot geen vegetatie op deze akkers gedurende de winterperiode. Voor dit vegetatietype zijn vaste weerstandcoëfficiënten opgesteld, welke onafhankelijk van de waterdiepte zijn berekend.

In het rivierengebied en de uiterwaarden van Rijn en Maas worden vaak op rijke hooggelegen gronden fruit- en boomgaarden aangetroffen. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt in hoog- en laagstam boomgaarden.
Het vegetatietype heggen is verdeeld op hoogte in heggen en houtwallen. Heggen zijn niet hoger dan 3 meter en houtwallen zijn hoger dan 3 meter. Bij heggen worden drie typen onderscheiden, zeer open, open en dichte heggen.
Laanbeplanting is vrijwel altijd aangeplant en kan uit veel verschillende soorten bomen bestaan. Het is gedefinieerd als een rij bomen met een regelmatige plantafstand.
Tot slot zijn er nog verspreid voorkomende bomen in een gebied langs de uiterwaarden.

Bijlage 6: Berekening k_n waarde heggen, laanbeplanting en verspreid voorkomende bomen

Heggen

Weerstandsformulering:

Weerstandscoëfficiënt van Chézy:

heggen:

$$C_h = \sqrt{\frac{2g.a}{h}} \cdot \left[\frac{k}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{C_d . A_h}} + m_o \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{h-k}{h}\right)^2}{1-\left(\frac{h-k}{h}\right)^2}} \right]$$

en voor de combinatie met gras geldt:

$$\frac{1}{C_r^2} = \frac{1}{C_g^2} + \frac{1}{C_h^2}$$

C_h	=	Chézycoëfficiënt heg	[$m^{1/2}/s$]
C_g	=	Chézycoëfficiënt gras	[$m^{1/2}/s$]
C_r	=	representatieve Chézycoëfficiënt	[$m^{1/2}/s$]
C_d	=	weerstandscoëfficiënt	[-]
a	=	onderlinge hegafstand	[m]
A_h	=	aangestroomd oppervlak heg	[m^2/m']
k	=	heghoogte	[m]
h	=	waterdiepte	[m]
m_o	=	afvoercoëfficiënt	[-]

k-waarde (Nikuradse zandruwheid):

$$k_n = \frac{12.h}{10^{\frac{C_r}{18}}}$$

k_n	=	representatieve k-waarde	[m]

Karakteristieke parameters:

aangestroomd oppervlak A_h:

zeer open	: 0.2 m^2/m'
open	: 0.6 m^2/m'
dicht	: 1.0 m^2/m'
m_o	= 1.2
C_d	= 1.5

Laanbeplanting

Weerstandsformulering:

Weerstandscoëfficiënt van Chézy:

laanbeplanting:

$$C_r = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{C_{basis}^2} + \frac{C_d.D.h.N}{2.g.OR}}}$$ voor h<k

$$C_r = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{C_{basis}^2} + \frac{C_d.D.k.N}{2.g.OR}}}$$ voor h≥k

met :

C_{basis}	=	Chézywaarde basisvegetatie	[$m^{1/2}/s$]
C_d	=	weerstandscoëfficiënt (drag)	[-]
D	=	representatieve diameter stam	[m]
k	=	hoogte van de boom	[m]
h	=	waterdiepte	[m]
N	=	aantal bomen op beschouwde oppervlakte (vaak roostercel)	[-]
OR	=	beschouwde oppervlakte (roostercel)	[m^2]
C_r	=	representatieve Chézy waarde basisvegetatie + laanbeplanting	[$m^{1/2}/s$]

laanbeplanting op een kade:

Bij ligging van de laanbeplanting op een kade, kan het effect van de kade in rekening worden gebracht door de C_d waarde te vervangen door C_d effectief:

$$C_d effectief = C_d * \left[\frac{h}{h-d}\right]^2$$

met::

h	=	bovenstroomse waterdiepte	[m]
d	=	kadehoogte	[m]

Karakteristieke parameters:

C_d	=	1.5	
Gemiddelde diameter bomen:			
Hardhout:		1	m
Zachthout:		0.5	m

Verspreid voorkomende bomen

Weerstandsformulering:

Weerstandscoëfficiënt van Chézy:

$$C_r = \frac{1}{\sqrt{\frac{n.D.h.C_d}{A_{gebied}.2g} + \frac{1}{C_b^2}}}$$

met:

$$C_b = 18 \log \frac{12h}{k_b}$$

A_{gebied}	=	Oppervlakte van het gebied waar de verspreid voorkomende bomen staan	[m²]
C_r	=	Chézy coëfficiënt vegetatie met verspreid voorkomende bomen	[m$^{1/2}$/s]
n	=	aantal verspreid voorkomende bomen	[-]
D	=	gemiddelde diameter verspreid voorkomende bomen	[m]
h	=	waterdiepte	[m]
C_d	=	weerstand (drag) coëfficiënt	[-]
g	=	versnelling van de zwaartekracht	[m/s²]
C_b	=	Chézycoëfficiënt basisvegetatie	[m$^{1/2}$/s]
k_b	=	k-waarde basisvegetatie (gras ≈ 0.25m)	[m]

k-waarde (Nikuradse zandruwheid):

$$\boxed{k_n = \frac{12.h}{10^{\frac{C_r}{18}}}}$$

k_n	=	representatieve k-waarde vegetatie met verspreid voorkomende bomen	[m]

Bijlage 7: Ruwheid en overige parameters vegetatiestructuurtypen

Vegetatiestructuur	Vegetatietype	k [m]	A_r [$m^2/m^2/m$]	C_d [-]	k_b [m]	C_r [$m^{1/2}/s$]	k_n [m]	Opmerkingen
Pioniervegetatie	Pioniervegetatie	0,15	0,15	1,8	0,1	36	0,30	
Graslanden	Productiegrasland	0,06	45	1,8	0,1	37	0,26	
	Natuurlijk gras- en hooiland	0,1	12	1,8	0,1	33,5	0,41	
	Verruigd grasland	0,2	15	1,8	0,1	27,5	0,89	
	met 5% doornstruweel					21,5	1,92	
	met 10% doornstruweel					19	2,64	
Ruigten	Akkerdistel-Brandnetelruigte	0,3	3	1,8	0,1	25	1,23	
	Droge ruigte	0,56	0,23	1,8	0,1	22	1,80	
	met 5% doornstruweel					18	3,00	
	met 10% doornstruweel					16,5	3,63	
	Dauwbraamruigte	0,5	0,56	1,8	0,1	21	2,04	
	met 5% doornstruweel					18	3,00	
	met 10% doornstruweel					16	3,87	
	Harig wilgenroosje ruigte	0,95	0,13	1,8	0,1	17	3,41	
	met 5% zachthoutstruweel					15,5	4,13	
	met 10% zachthoutstruweel					14	5,00	
	Rietruigte	2	0,16	1,8	0,1	7	12,25	
	met 5% zachthoutstruweel					7	12,25	
	met 10% zachthoutstruweel					7	12,25	

k = hoogte [m]
A_r = representatief aanstromend oppervlak vegetatie [$m^2/m^2/m$]
C_d = weerstandscoëfficiënt [-]
k_b = Nikuradse zandruwheid van de bodem [m]
C_r = representatieve Chézy waarde (vegetatie coëfficiënt) [$m^{1/2}/s$]
k_n = Nikuradse k-waarde [m]

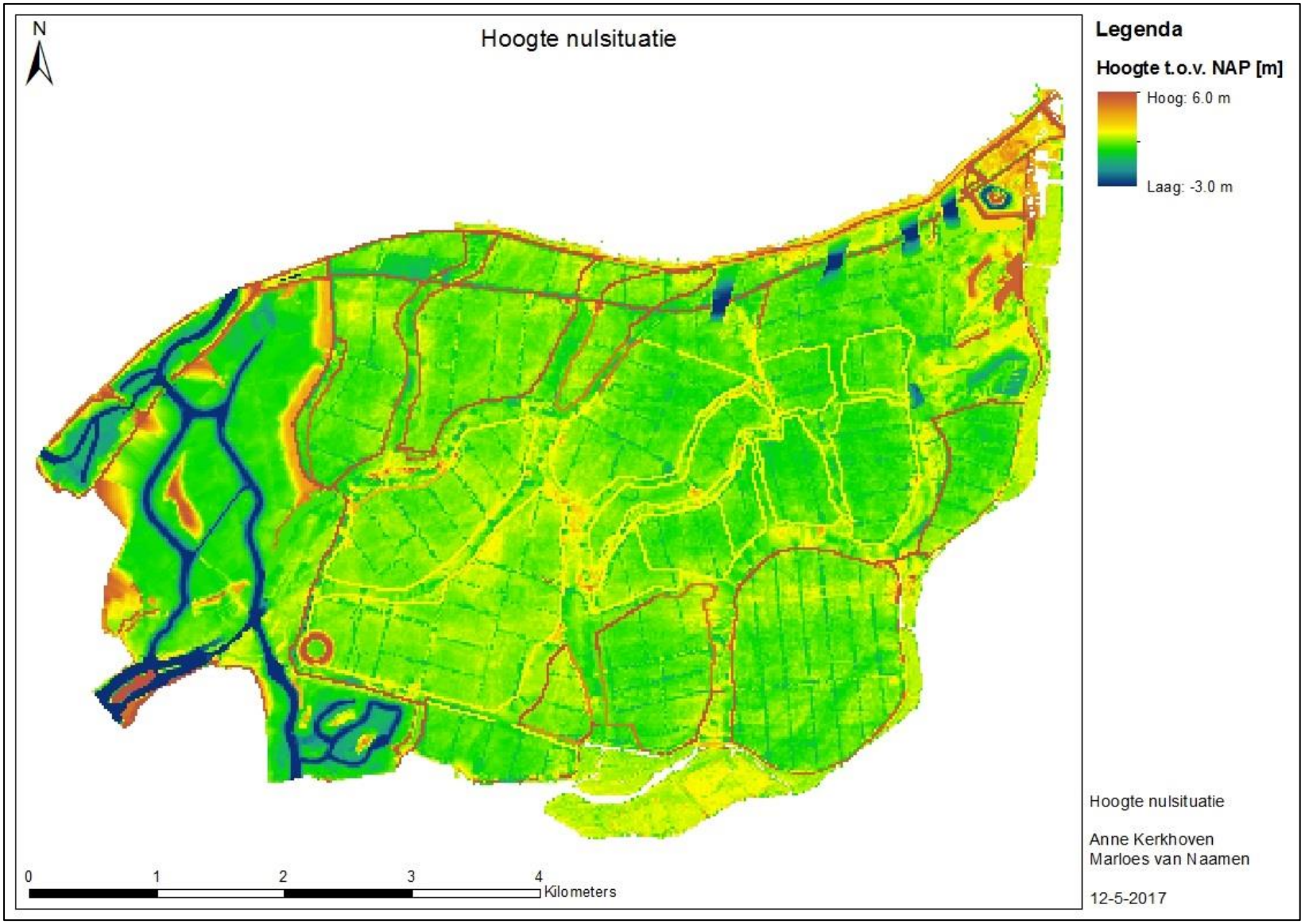
Vegetatiestructuur	Vegetatietype	k [m]	A_r [$m^2/m^2/m$]	C_d [-]	k_b [m]	C_r [$m^{1/2}/s$]	k_n [m]	Opmerkingen
Moerasvegetatie	Natte ruigte	0,35	0,25	1,8	0,1	27,5	0,89	
	Incl. 25% open water					31,5	0,53	25% water, k=0,05
	Incl. 25% open water en 5% zachthoutstruweel					25,5	1,15	
	Incl. 25% open water en 10% zachthoutstruweel					22,5	1,69	
	Zegge	0,3	1,2	1,8	0,1	26	1,08	
	Incl. 25% strooisel					28	0,83	25% strooisel, k=0,25
	Rietgras	1	0,4	1,8	0,1	14	5,00	
	Incl. 25% open water					17,5	3,20	25% water, k=0,05
	Biezen	0,5	1,2	1,8	0,1	20,5	2,18	
	Incl. 25% open water					24,5	1,31	25% water, k=0,05
	Lisdodde	1,5	0,35	1,8	0,1	7,5	11,49	
	Incl. 25% open water					12,5	6,06	25% water, k=0,05
	Riet	2,5	0,37	1,8	0,1	3,5	19,17	
	Incl. 25% strooisel					7,2	11,94	25% strooisel, k=0,25
Struwelen	Zachthoutstruweel	6	0,13	1,5	0,4	6,3	13,40	
	Griend	3	0,041	1,5	0,4	10,8	7,54	
	Doornstruweel	5	0,17	1,5	0,4	5,5	14,84	

k = hoogte [m]
A_r = representatief aanstromend oppervlak vegetatie [$m^2/m^2/m$]
C_d = weerstandscoëfficiënt [-]
k_b = Nikuradse zandruwheid van de bodem [m]
C_r = representatieve Chézy waarde (vegetatie coëfficiënt) [$m^{1/2}/s$]
k_n = Nikuradse k-waarde [m]

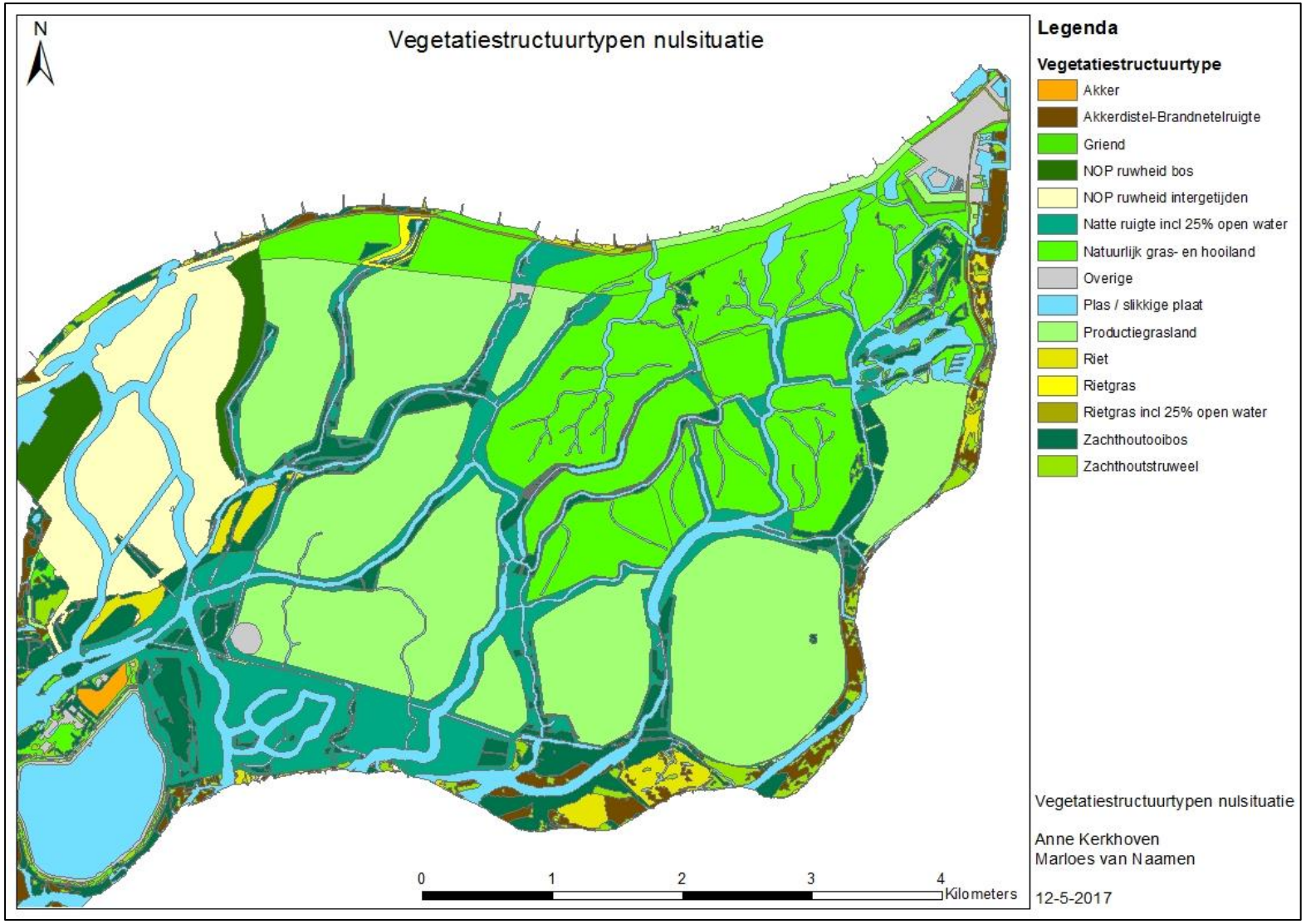
Vegetatiestructuur	Vegetatietype	k [m]	A_r [$m^2/m^2/m$]	C_d [-]	k_b [m]	C_r [$m^{1/2}/s$]	k_n [m]	Opmerkingen
Bossen	Zachthoutooibos	>10	0,028	1,5	0,6	12,5	6,06	
	Hardhoutooibos	>10	0,023	1,5	0,6	13,8	5,13	
	Zachthoutproductiebos	>10	0,01	1,5	0,3	16,5	3,63	
	Hardhoutproductiebos	>10	0,011	1,5	0,3	18	3,00	
	Naaldhoutproductiebos	>10	0,016	1,5	0,3	19	2,64	
Overig	Waterbodem							
	meestromende nevengeul						0,2	
	strang						0,15	
	plas / slikkige plaat						0,05	
	haven						0,05	
	kribvak-strand/grindplaat (onbegroeid)						0,15	
	Akker						0,2	
	Boomgaarden							
	Laagstam	3	0,024	1,5	0,2	13,5	5,33	
	Hoogstam	6	0,01	1,5	0,2	19,5	2,48	

k = hoogte [m]
A_r = representatief aanstromend oppervlak vegetatie [$m^2/m^2/m$]
C_d = weerstandscoëfficiënt [-]
k_b = Nikuradse zandruwheid van de bodem [m]
C_r = representatieve Chézy waarde (vegetatie coëfficiënt) [$m^{1/2}/s$]
k_n = Nikuradse k-waarde [m]

Bijlage 8: Hoogtekaart nulsituatie



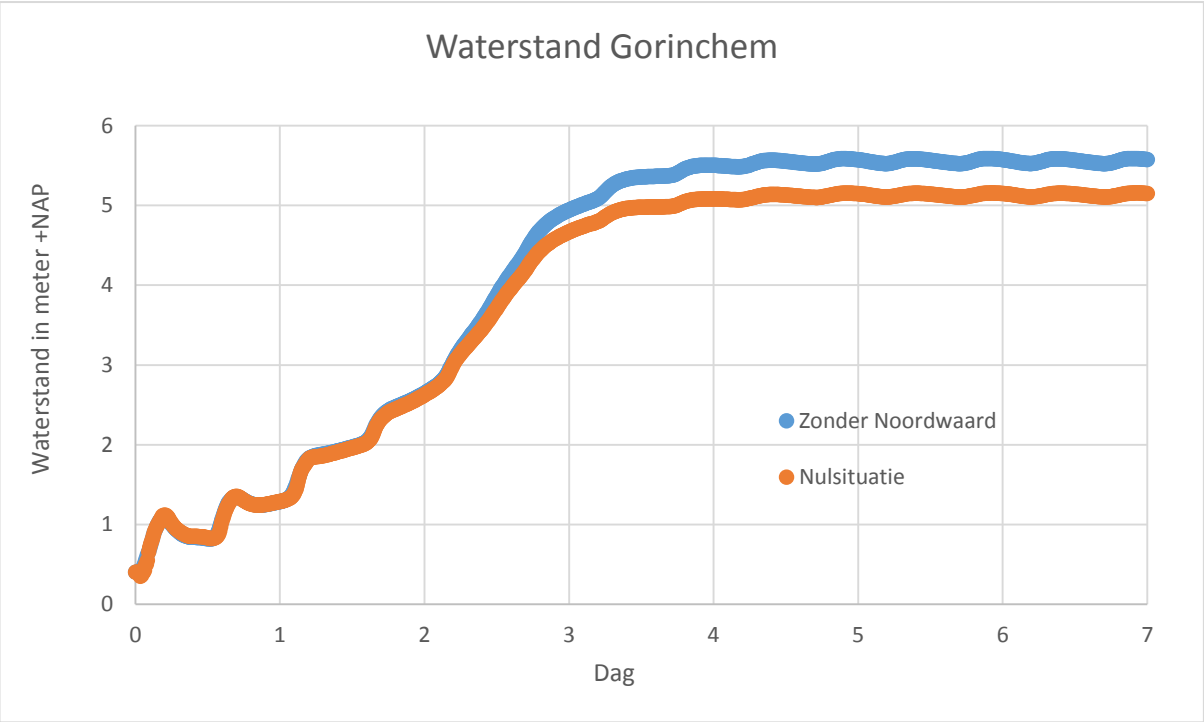
Bijlage 9: Vegetatiekaart nulsituatie



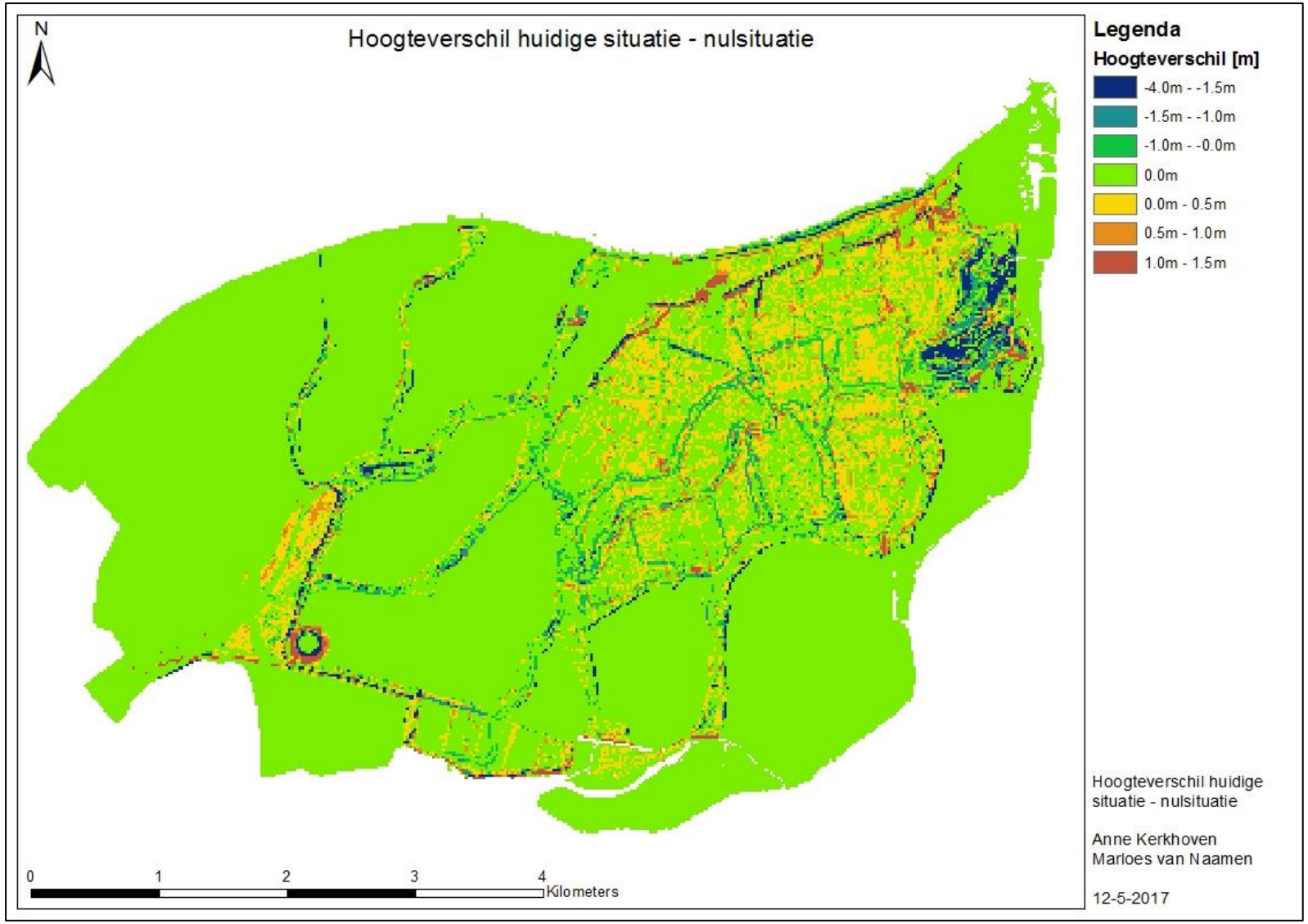
Bijlage 10: Overzicht overgang WAQUA vegetatiestructuurtypen naar juiste vegetatiestructuurtypen

WAQUA vegetatiestructuurtypen	Gebruikte vegetatiestructuurtypen
Open water	Plas/ slikkige plaat
Akker	Akkers
Productiegras	Productiegrasland
Natuurlijk gras	Natuurlijk gras- en hooiland
Rietgras	Rietgras
Riet	Riet
Griend	Griend
Zachthoutooibos	Zachthoutooibos
Bos overig	Zachthoutooibos
Natte ruigte 25% water	Natte ruigte incl. 25% open water
Rietgras 25% water	Rietgras incl. 25% open water

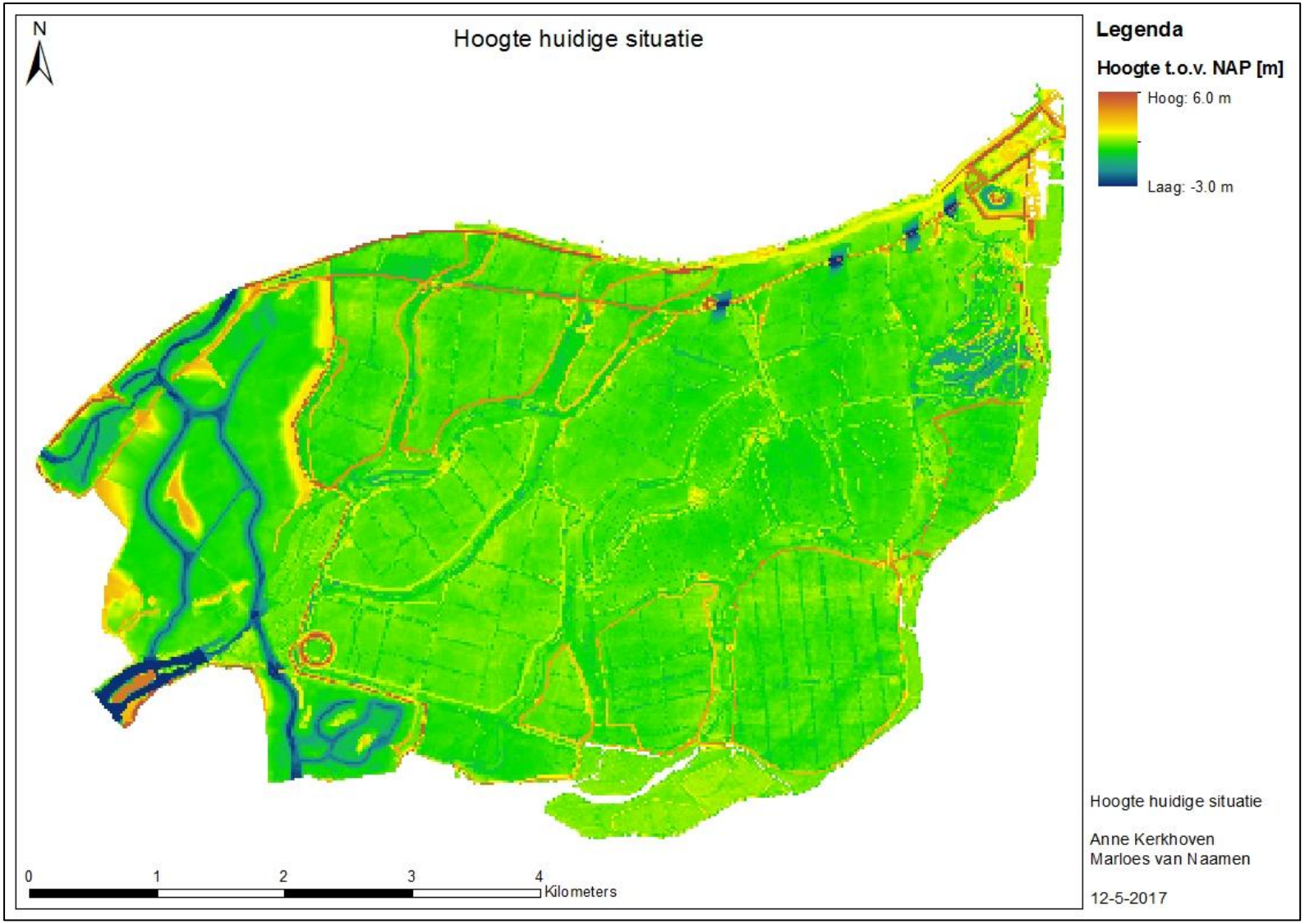
Bijlage 11: Waterstand Gorinchem nulsituatie 7 dagen



Bijlage 12: Hoogteverschil huidige situatie – nulsituatie



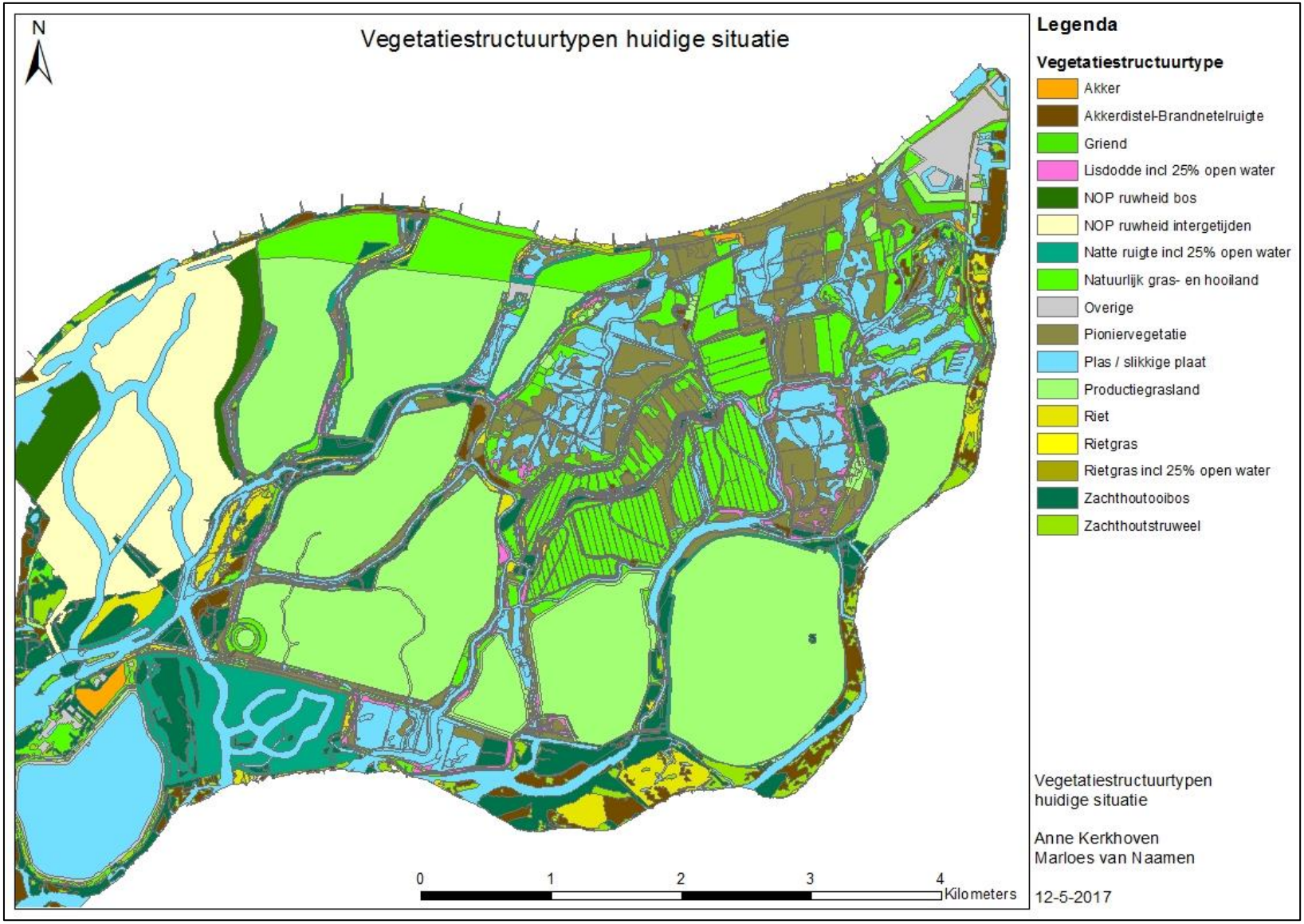
Bijlage 13: Hoogtekaart huidige situatie



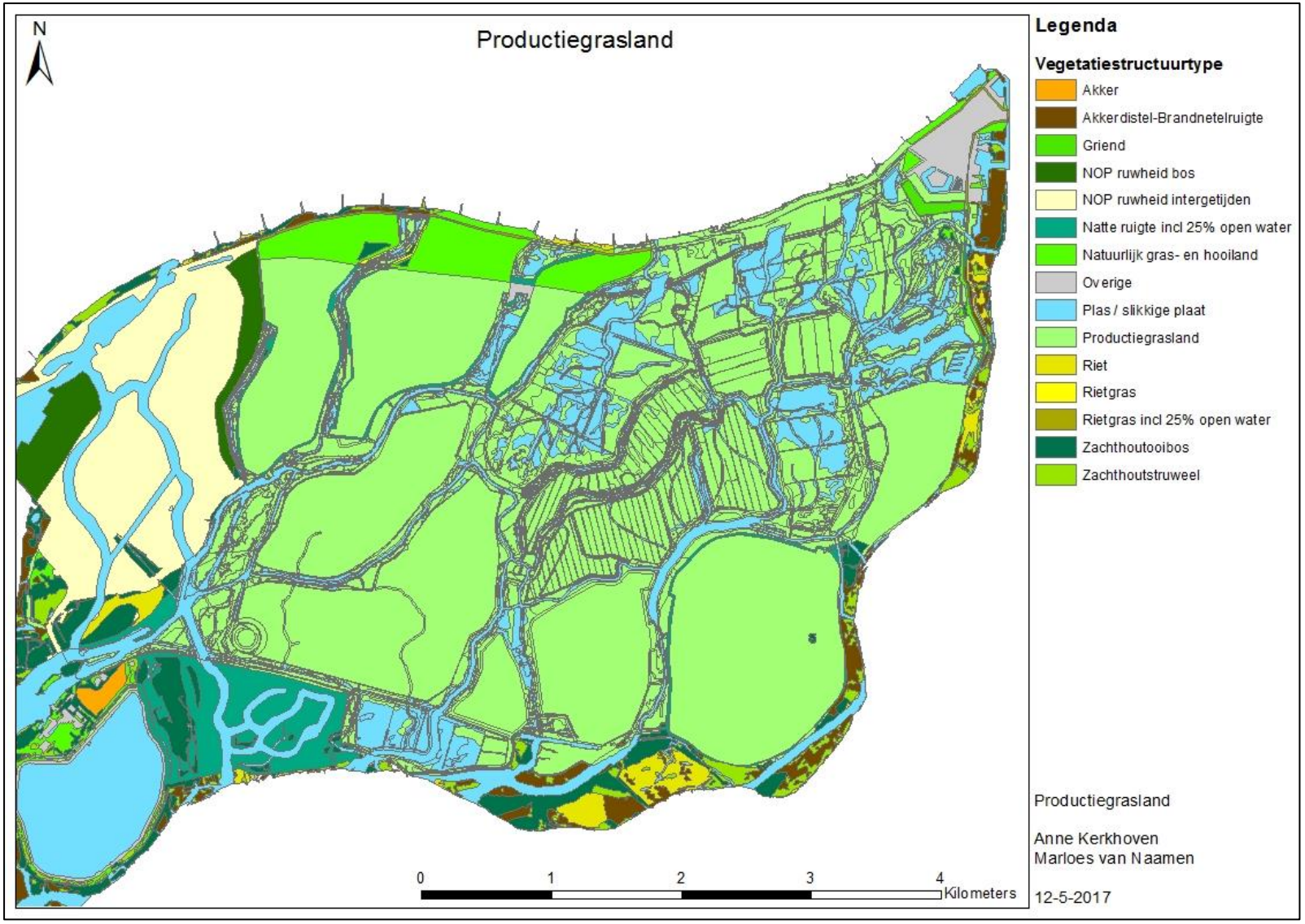
Bijlage 14: Overzicht overgang aangeleverde vegetatiestructuurtypen 2016 naar juiste vegetatiestructuurtypen

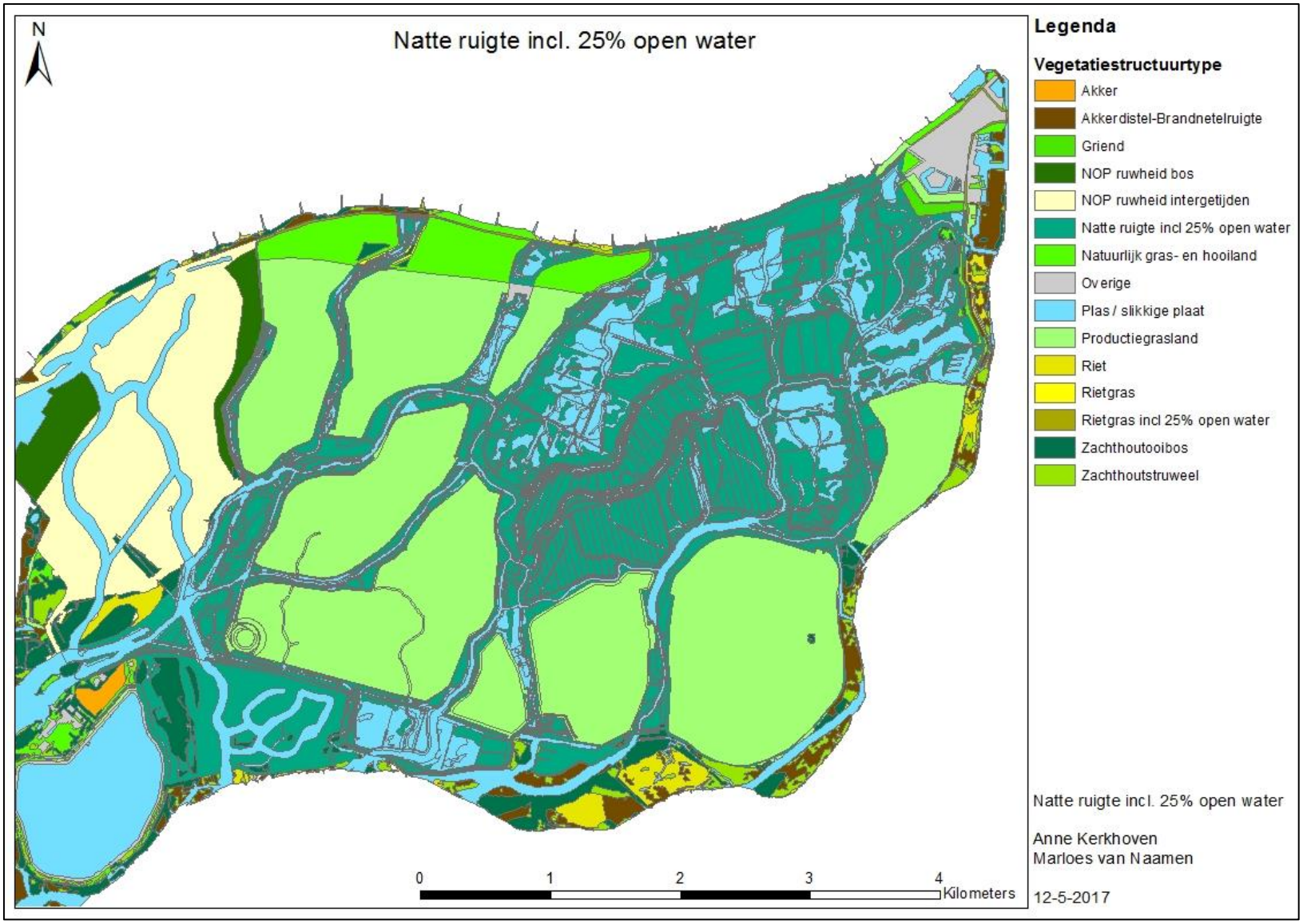
Vegetatiestructuurtypen augustus 2016	Gebruikte vegetatiestructuurtypen
Water	Plas/ slikkige plaat
Ondiep water/ ondergelopen land	Plas/ slikkige plaat
Getijdengebied: slik bedekking < 5%	Plas/ slikkige plaat
pionier moerasvegetatie; bedekking vegetatie 5-25%	Pioniervegetatie
moerasvegetatie; bedekking ≥ 25%	Lisdodde incl. 25% open water
riet / helofyten; vegetatiehoogte ≥ 1 m	Riet
bekade polders: kale grond; bedekking < 5%	Akker
pionier vegetatie; bedekking vegetatie 5-25%	Pioniervegetatie
lage (kruidige) vegetatie / grasland	Natuurlijk gras- hooiland
hoge kruidige vegetatie/ ruigte: vegetatiehoogte ≥ 0,5 m	Akkerdistel-brandnetelruigte
Struweel	Zachthoutstruweel
Bos	Zachthoutooibos

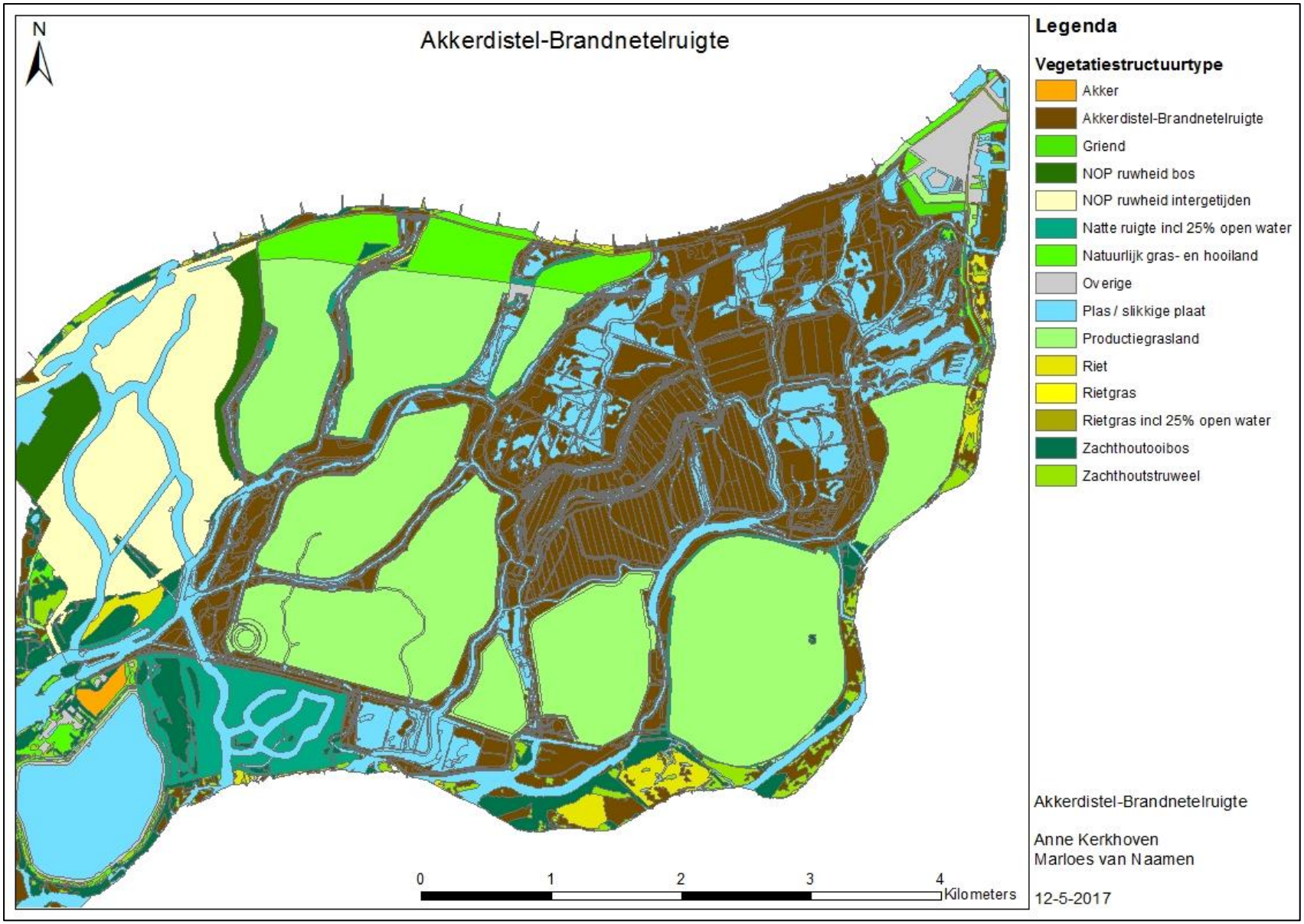
Bijlage 15: Vegetatiekaart huidige situatie

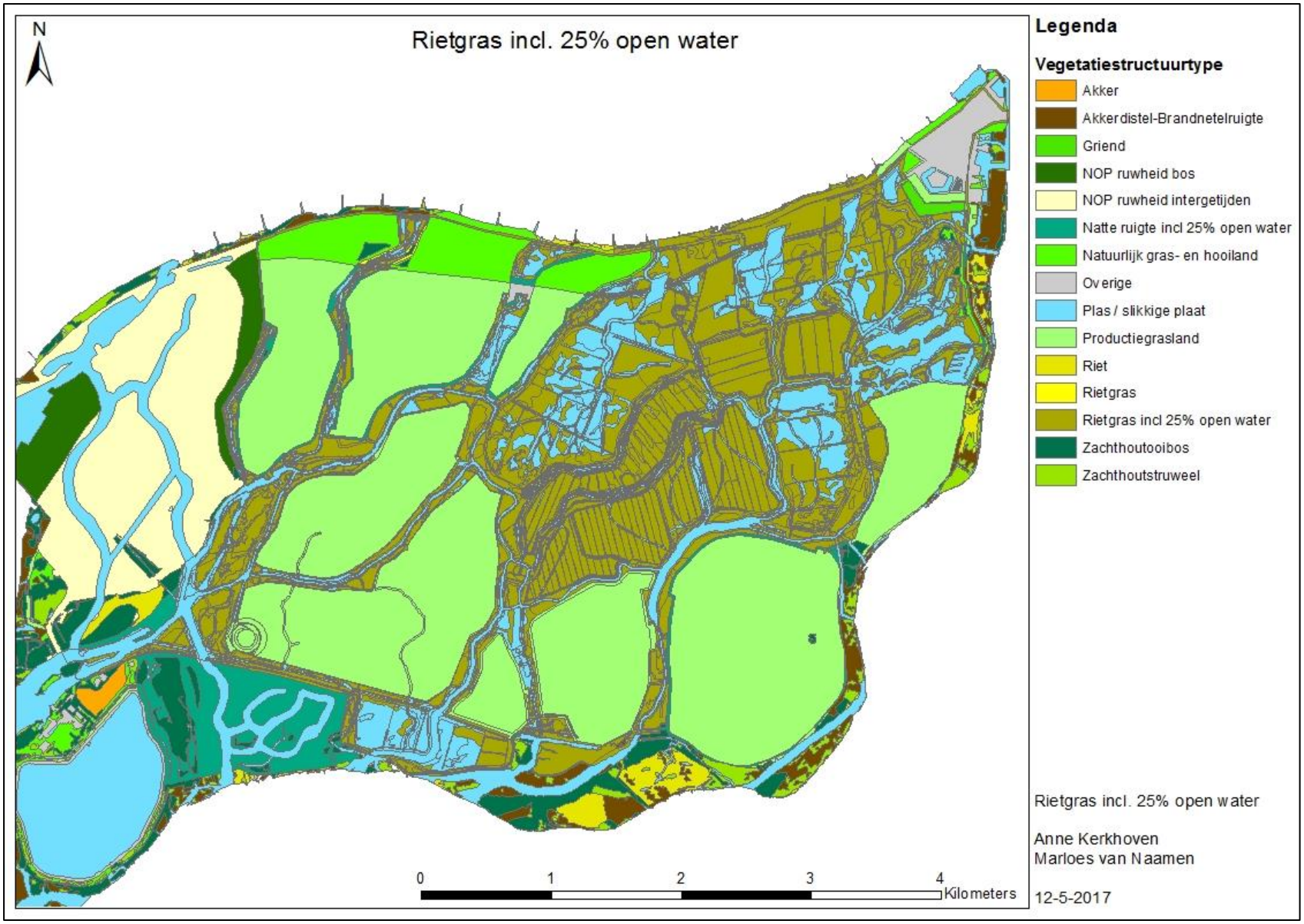


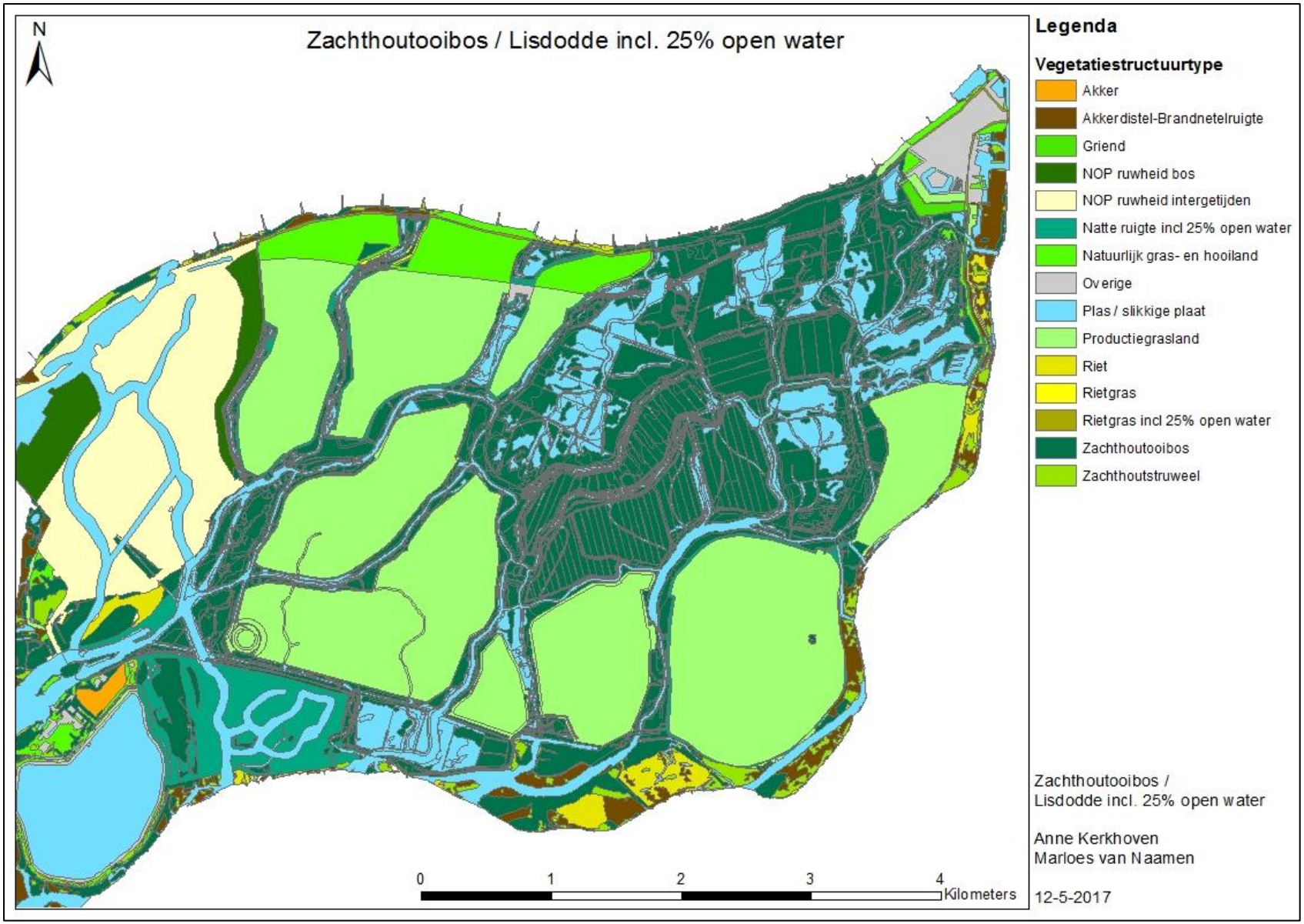
Bijlage 16: Kaarten gevoeligheidsanalyse beheergebied



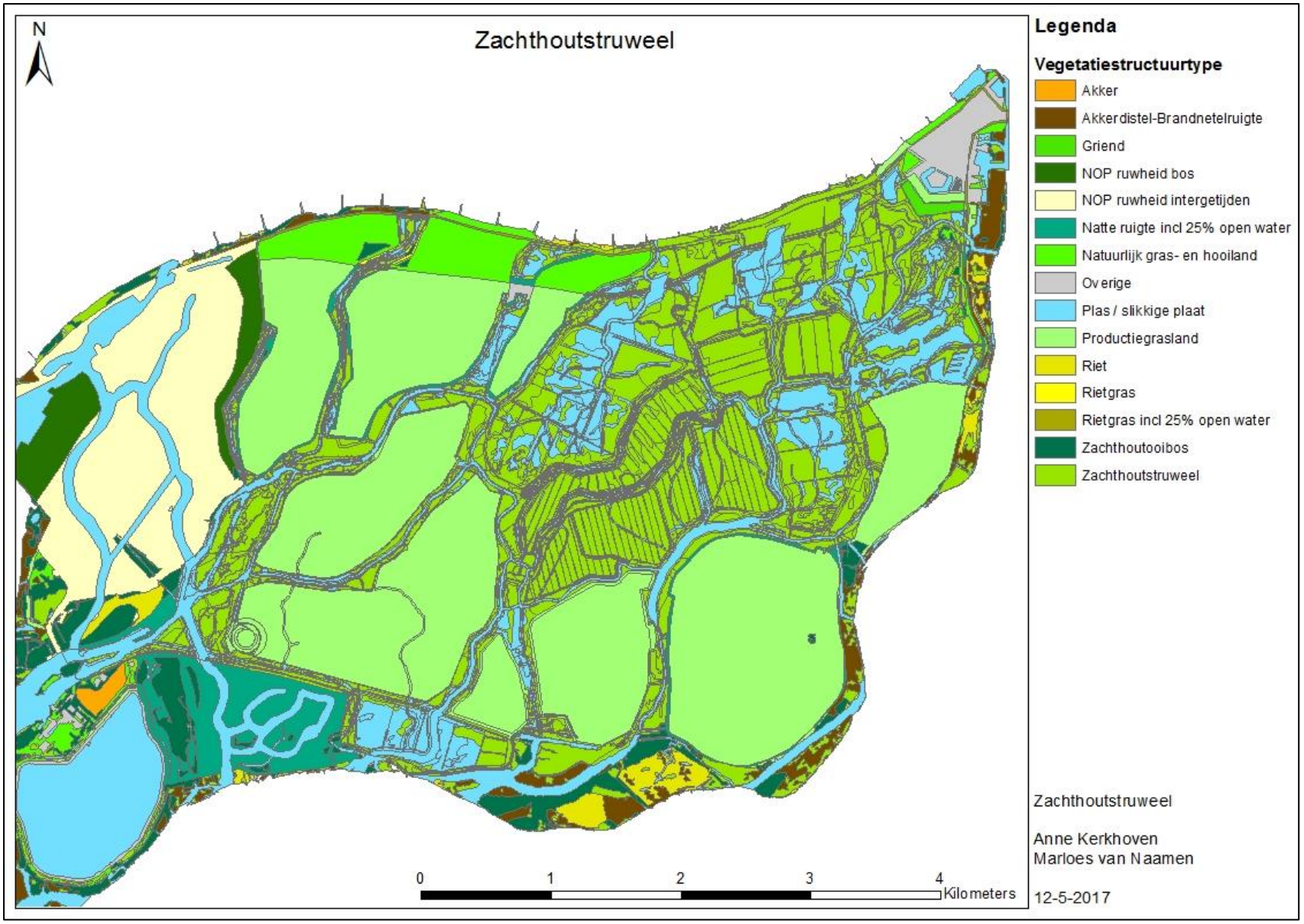

N
Natte ruigte incl. 25% open water
Legenda
Vegetatiestructuurtype
Akker
Akkerdistel-Brandnetelruigte
Griend
NOP ruwheid bos
NOP ruwheid intergetijden
Natte ruigte incl 25% open water
Natuurlijk gras- en hooiland
Overige
Plas / slikkige plaat
Productiegrasland
Riet
Rietgras
Rietgras incl 25% open water
Zachthoutooibos
Zachthoutstruweel
0 1 2 3 4 Kilometers
Natte ruigte incl. 25% open water
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
12-5-2017

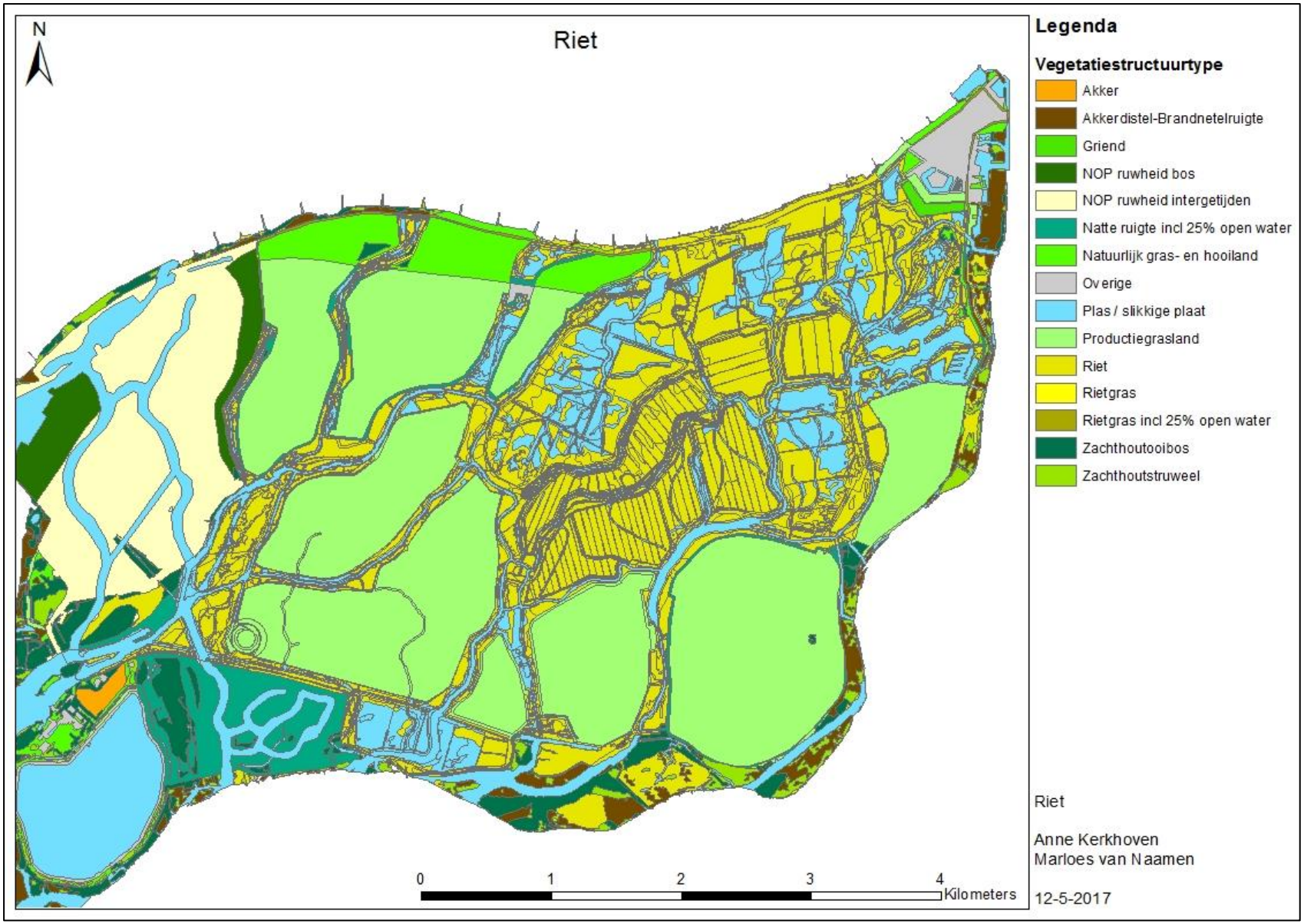

Akkerdistel-Brandnetelruigte
N
Legenda
Vegetatiestructuurtype
Akker
Akkerdistel-Brandnetelruigte
Griend
NOP ruwheid bos
NOP ruwheid intergetijden
Natte ruigte incl 25% open water
Natuurlijk gras- en hooiland
Overige
Plas / slikkige plaat
Productiegrasland
Riet
Rietgras
Rietgras incl 25% open water
Zachthoutooibos
Zachthoutstruweel
0
1
2
3
4
Kilometers
Akkerdistel-Brandnetelruigte
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
12-5-2017


Rietgras incl. 25% open water
N
Legenda
Vegetatiestructuurtype
Akker
Akkerdistel-Brandnetelruigte
Griend
NOP ruwheid bos
NOP ruwheid intergetijden
Natte ruigte incl 25% open water
Natuurlijk gras- en hooiland
Overige
Plas / slikkige plaat
Productiegrasland
Riet
Rietgras
Rietgras incl 25% open water
Zachthoutooibos
Zachthoutstruweel
0
1
2
3
4
Kilometers
Rietgras incl. 25% open water
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
12-5-2017

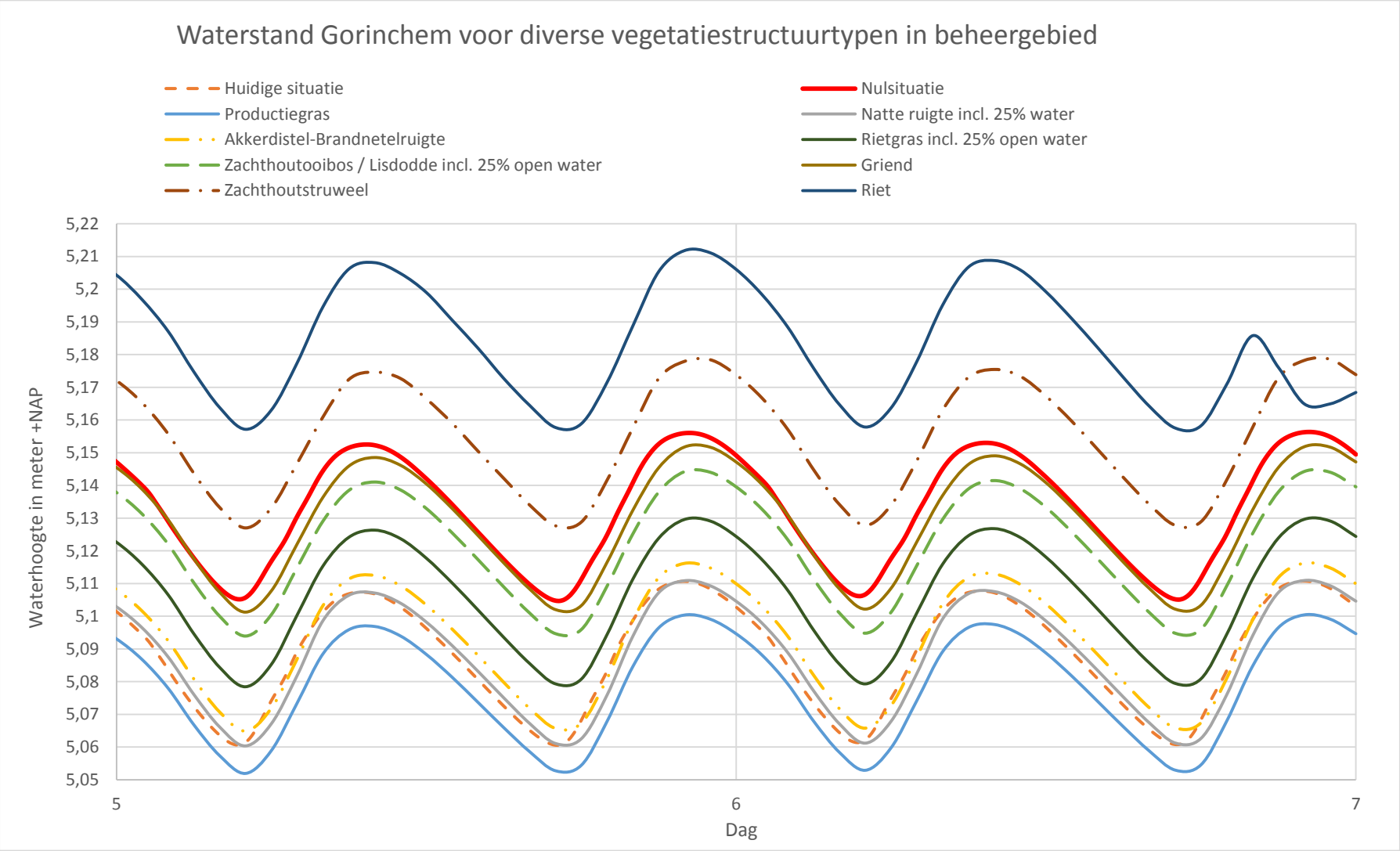

Zachthoutooibos / Lisdodde incl. 25% open water
N
Legenda
Vegetatiestructuurtype
Akker
Akkerdistel-Brandnetelruigte
Griend
NOP ruwheid bos
NOP ruwheid intergetijden
Natte ruigte incl 25% open water
Natuurlijk gras- en hooiland
Overige
Plas / slikkige plaat
Productiegrasland
Riet
Rietgras
Rietgras incl 25% open water
Zachthoutooibos
Zachthoutstruweel
0
1
2
3
4
Kilometers
Zachthoutooibos /
Lisdodde incl. 25% open water
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
12-5-2017

N
Griend
Legenda
Vegetatiestructuurtype
Akker
Akkerdistel-Brandnetelruigte
Griend
NOP ruwheid bos
NOP ruwheid intergetijden
Natte ruigte incl 25% open water
Natuurlijk gras- en hooiland
Overige
Plas / slikkige plaat
Productiegrasland
Riet
Rietgras
Rietgras incl 25% open water
Zachthoutooibos
Zachthoutstruweel
0
1
2
3
4
Kilometers
Griend
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
12-5-2017

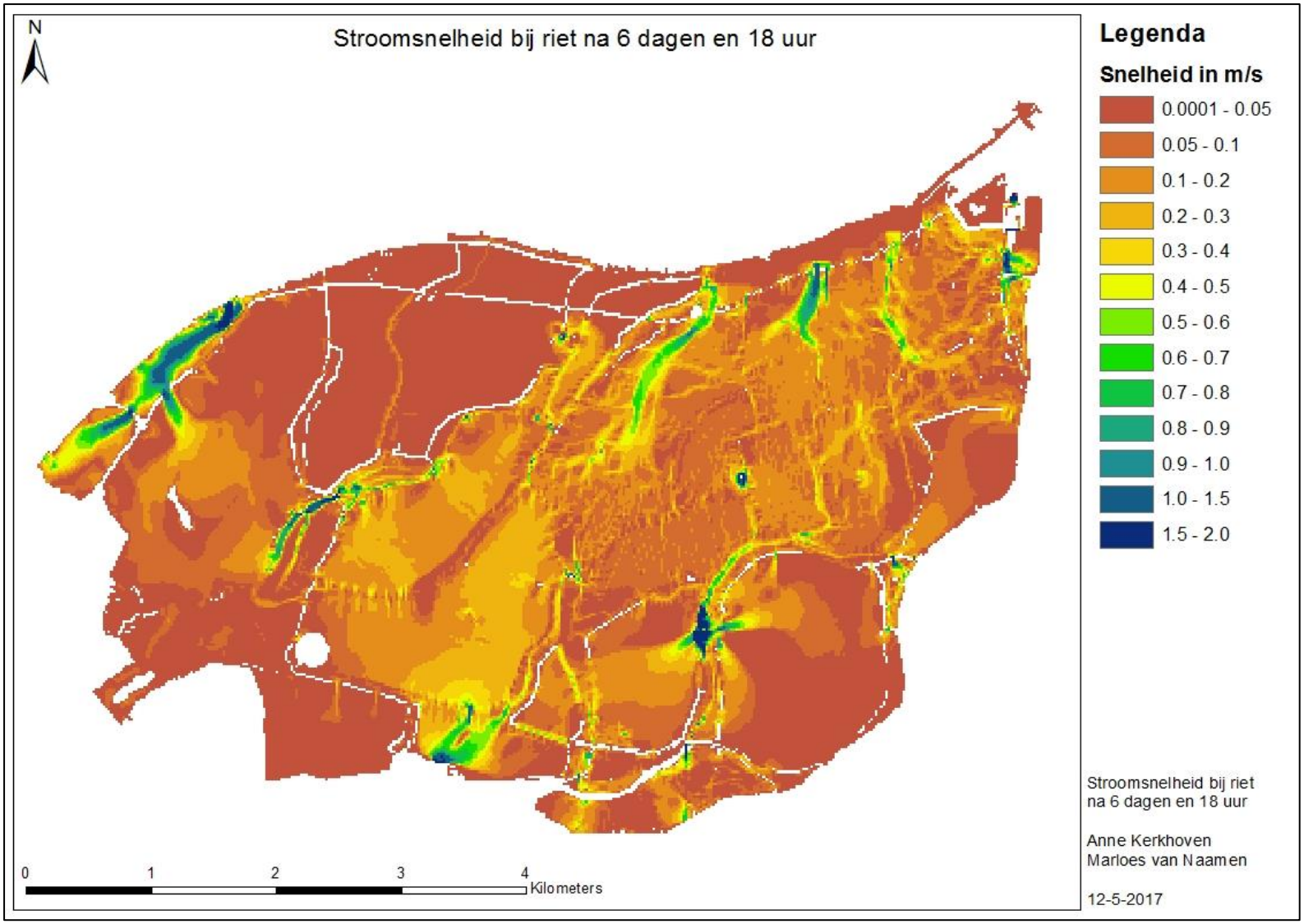

Zachthoutstruweel
N
Legenda
Vegetatiestructuurtype
Akker
Akkerdistel-Brandnetelruigte
Griend
NOP ruwheid bos
NOP ruwheid intergetijden
Natte ruigte incl 25% open water
Natuurlijk gras- en hooiland
Overige
Plas / slikkige plaat
Productiegrasland
Riet
Rietgras
Rietgras incl 25% open water
Zachthoutooibos
Zachthoutstruweel
0
1
2
3
4
Kilometers
Zachthoutstruweel
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
12-5-2017

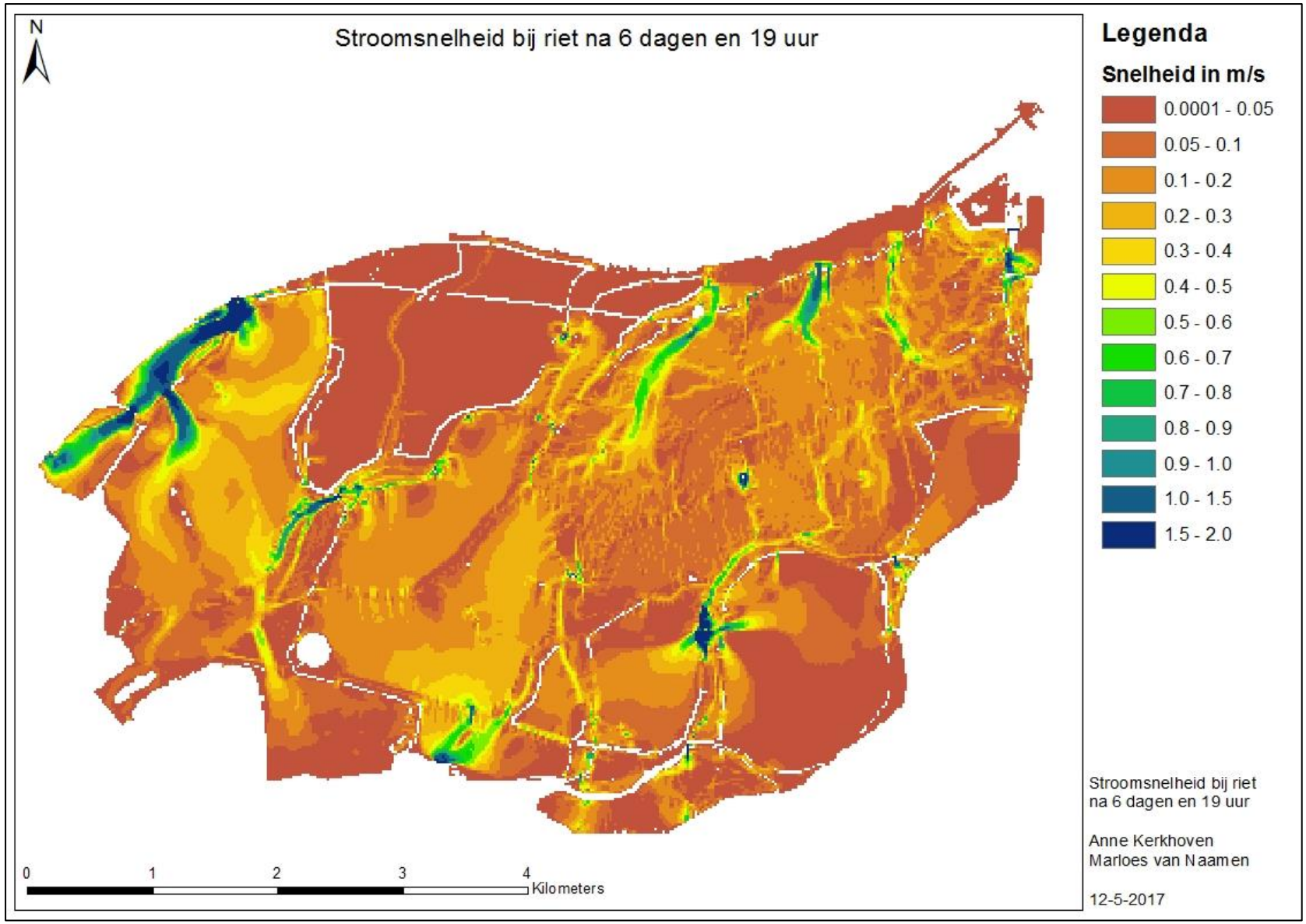

N
Riet
Legenda
Vegetatiestructuurtype
Akker
Akkerdistel-Brandnetelruigte
Griend
NOP ruwheid bos
NOP ruwheid intergetijden
Natte ruigte incl 25% open water
Natuurlijk gras- en hooiland
Overige
Plas / slikkige plaat
Productiegrasland
Riet
Rietgras
Rietgras incl 25% open water
Zachthoutooibos
Zachthoutstruweel
0
1
2
3
4
Kilometers
Riet
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
12-5-2017

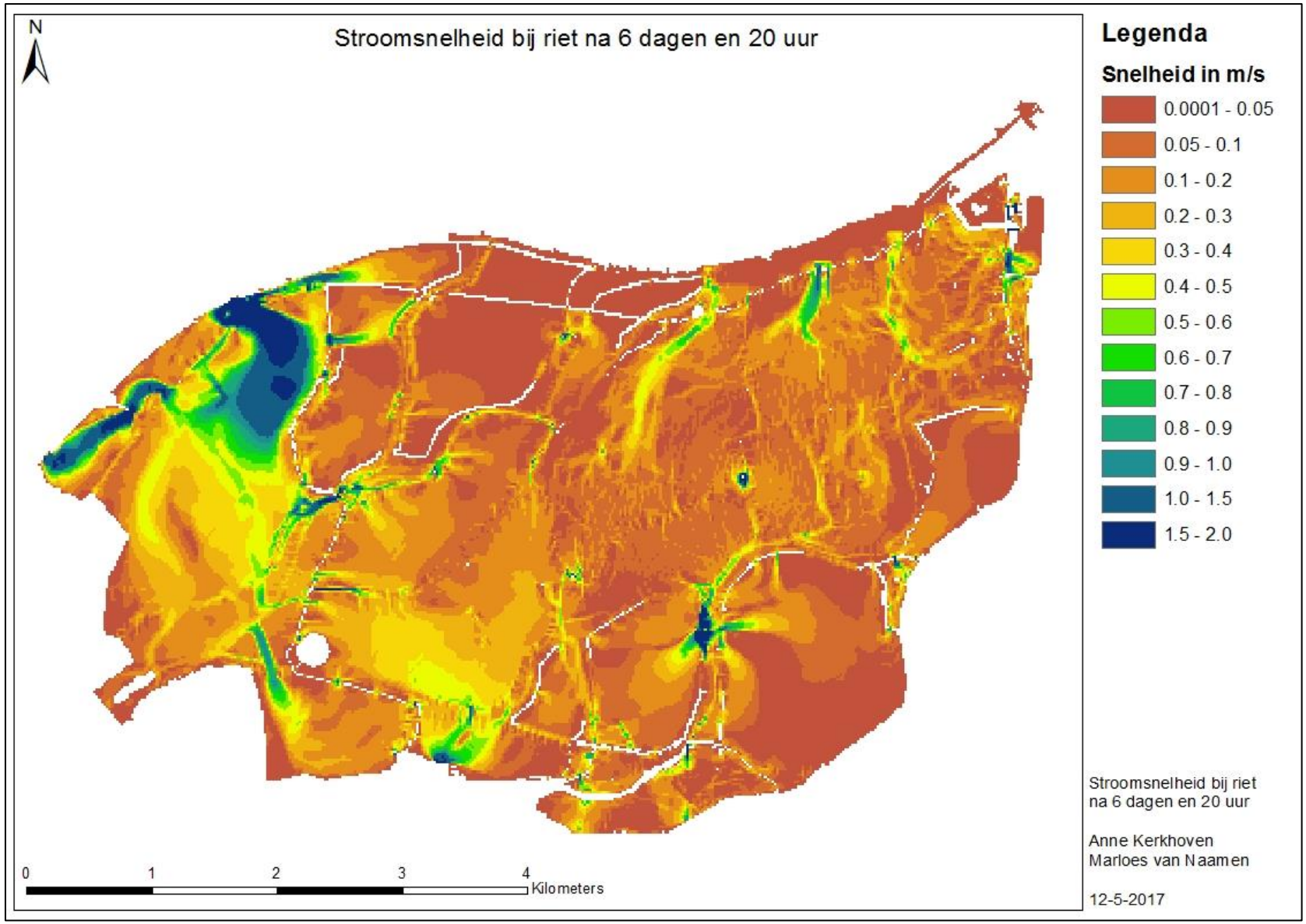
Bijlage 17: Grafiek waterstand Gorinchem voor diverse vegetatiestructuurtypen in beheergebied



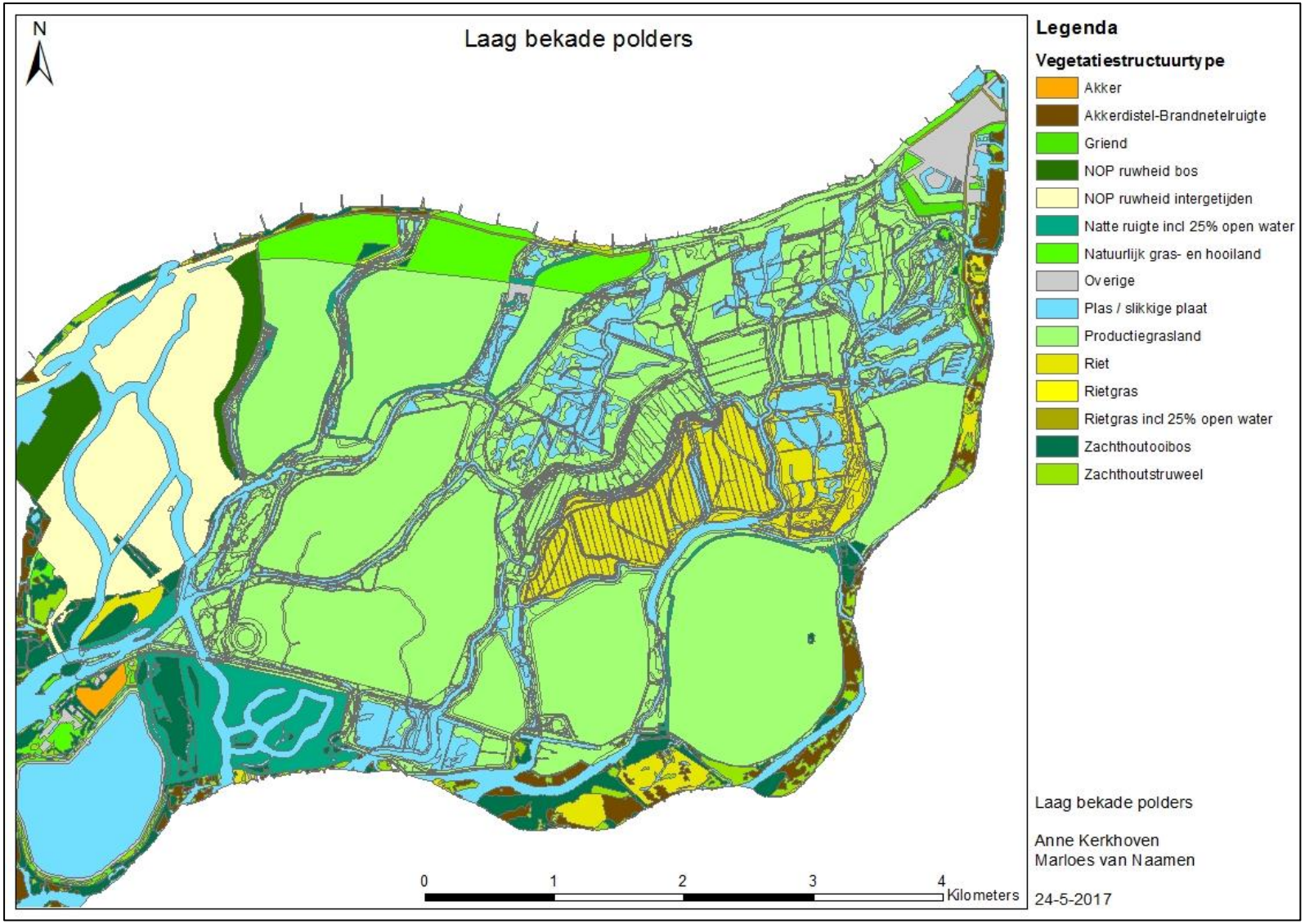
Bijlage 18: Stroomsnelheid scenario riet

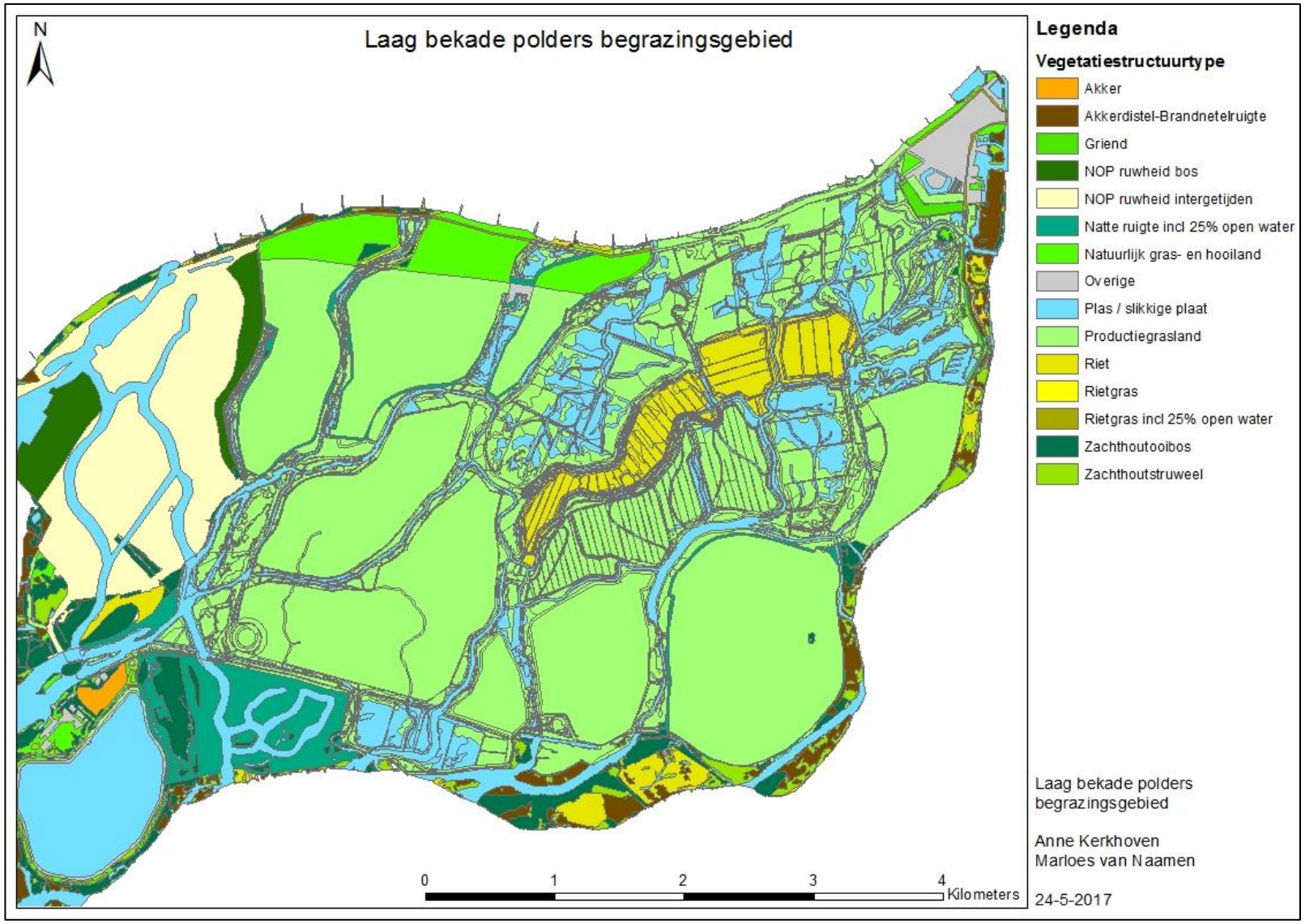


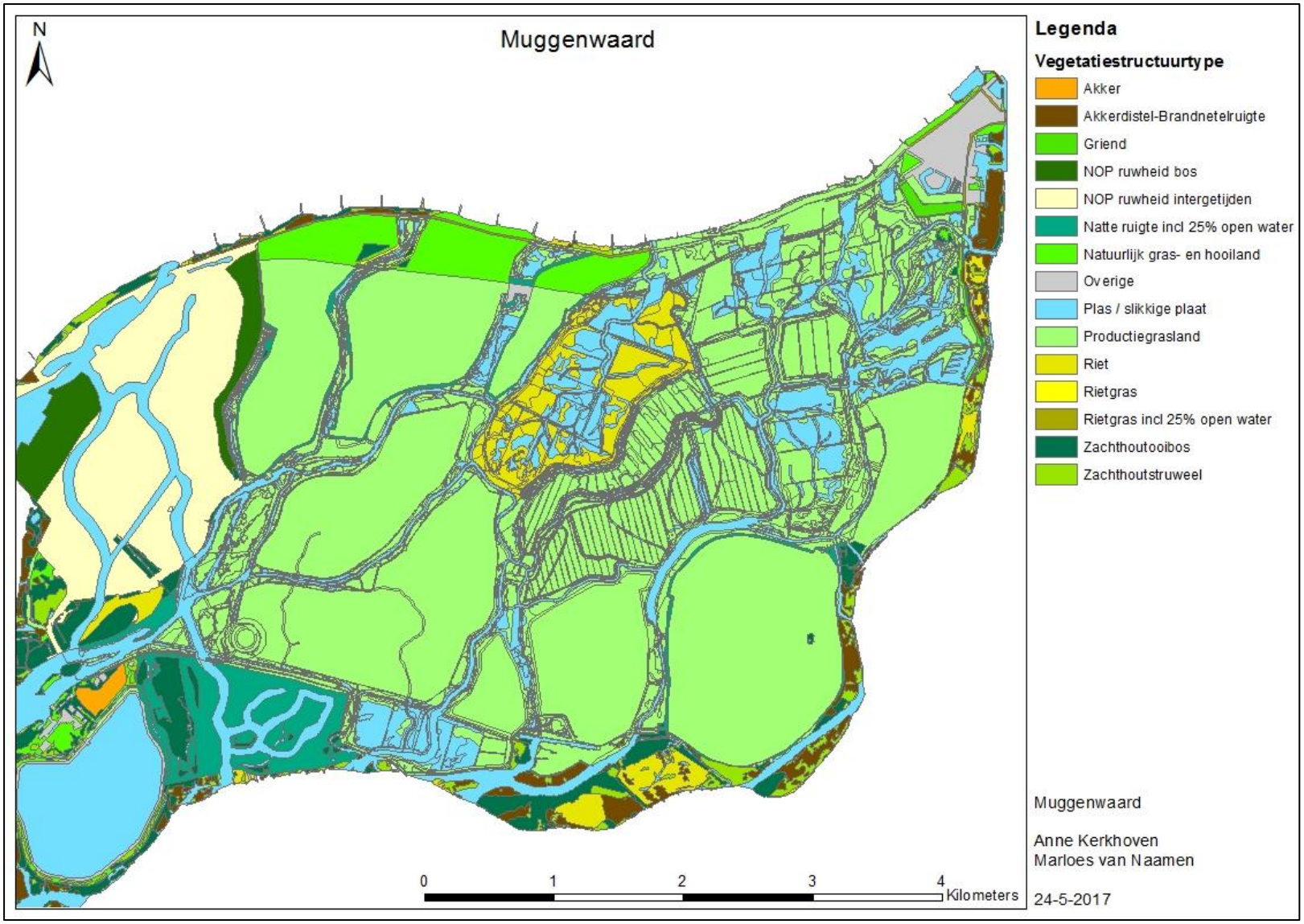

N
Stroomsnelheid bij riet na 6 dagen en 19 uur
Legenda
Snelheid in m/s
0.0001 - 0.05
0.05 - 0.1
0.1 - 0.2
0.2 - 0.3
0.3 - 0.4
0.4 - 0.5
0.5 - 0.6
0.6 - 0.7
0.7 - 0.8
0.8 - 0.9
0.9 - 1.0
1.0 - 1.5
1.5 - 2.0
0 1 2 3 4
Kilometers
Stroomsnelheid bij riet
na 6 dagen en 19 uur
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
12-5-2017

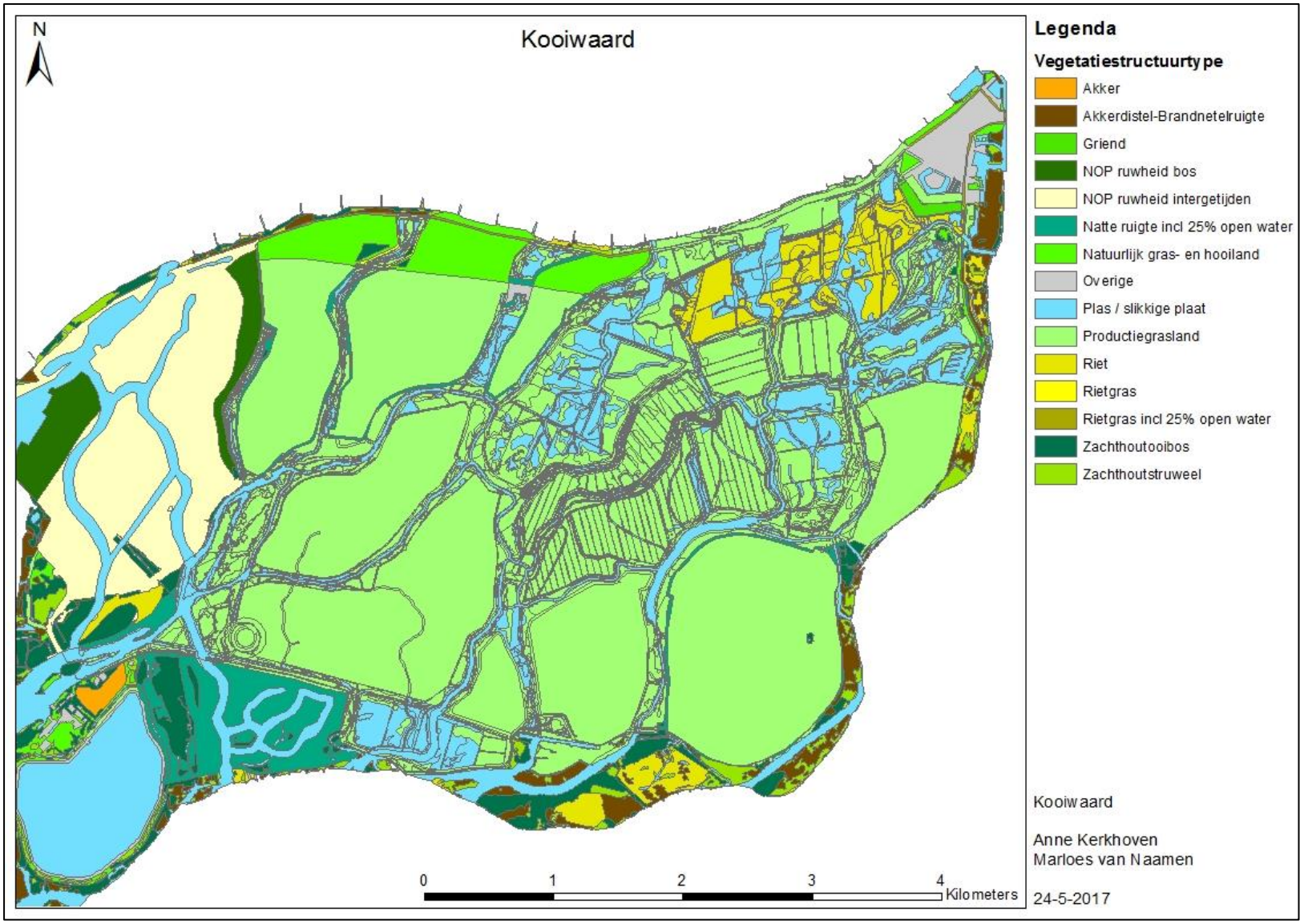

N
Stroomsnelheid bij riet na 6 dagen en 20 uur
Legenda
Snelheid in m/s
0.0001 - 0.05
0.05 - 0.1
0.1 - 0.2
0.2 - 0.3
0.3 - 0.4
0.4 - 0.5
0.5 - 0.6
0.6 - 0.7
0.7 - 0.8
0.8 - 0.9
0.9 - 1.0
1.0 - 1.5
1.5 - 2.0
0 1 2 3 4
Kilometers
Stroomsnelheid bij riet
na 6 dagen en 20 uur
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
12-5-2017

Bijlage 19: Kaarten invloed deelgebieden

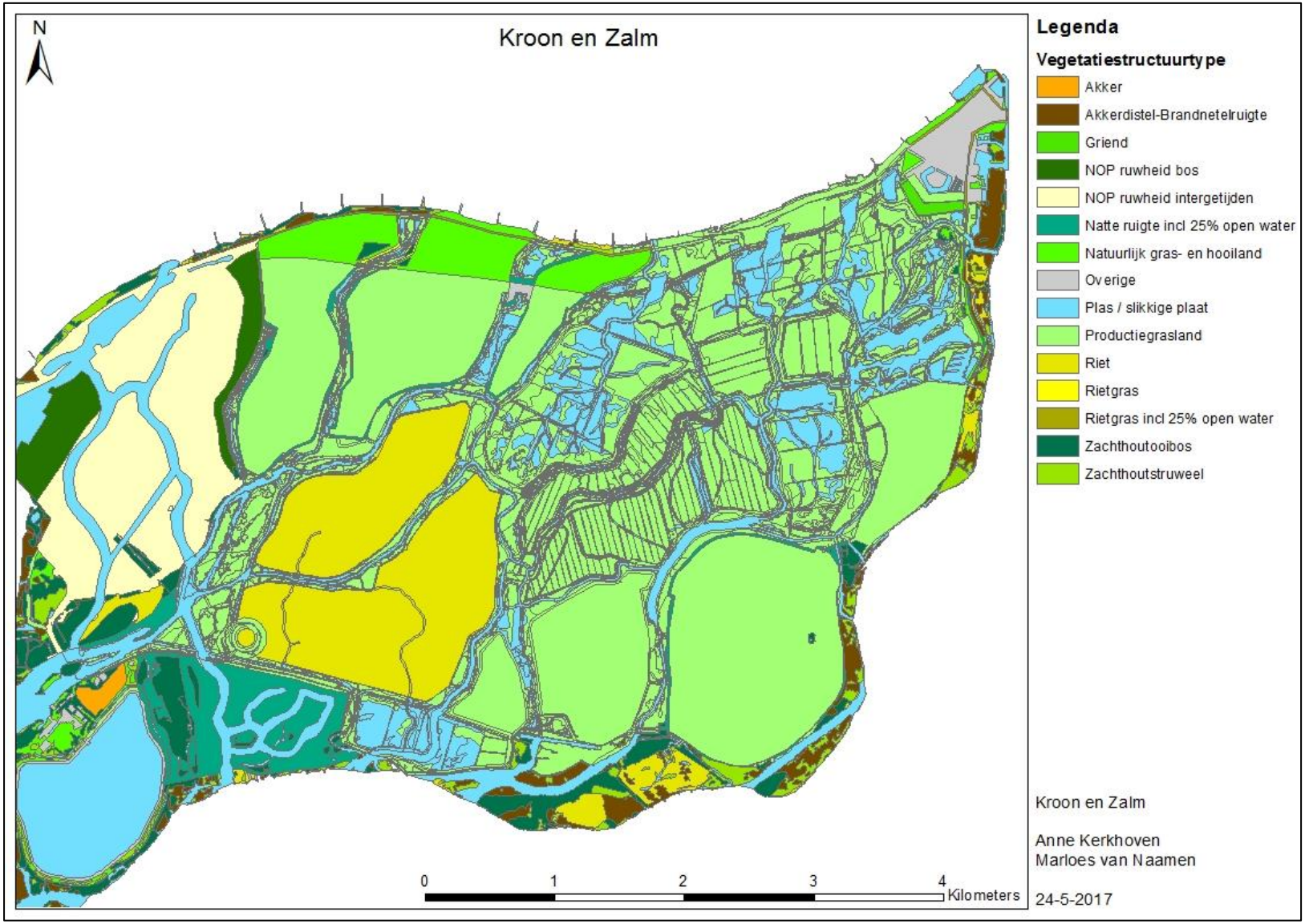


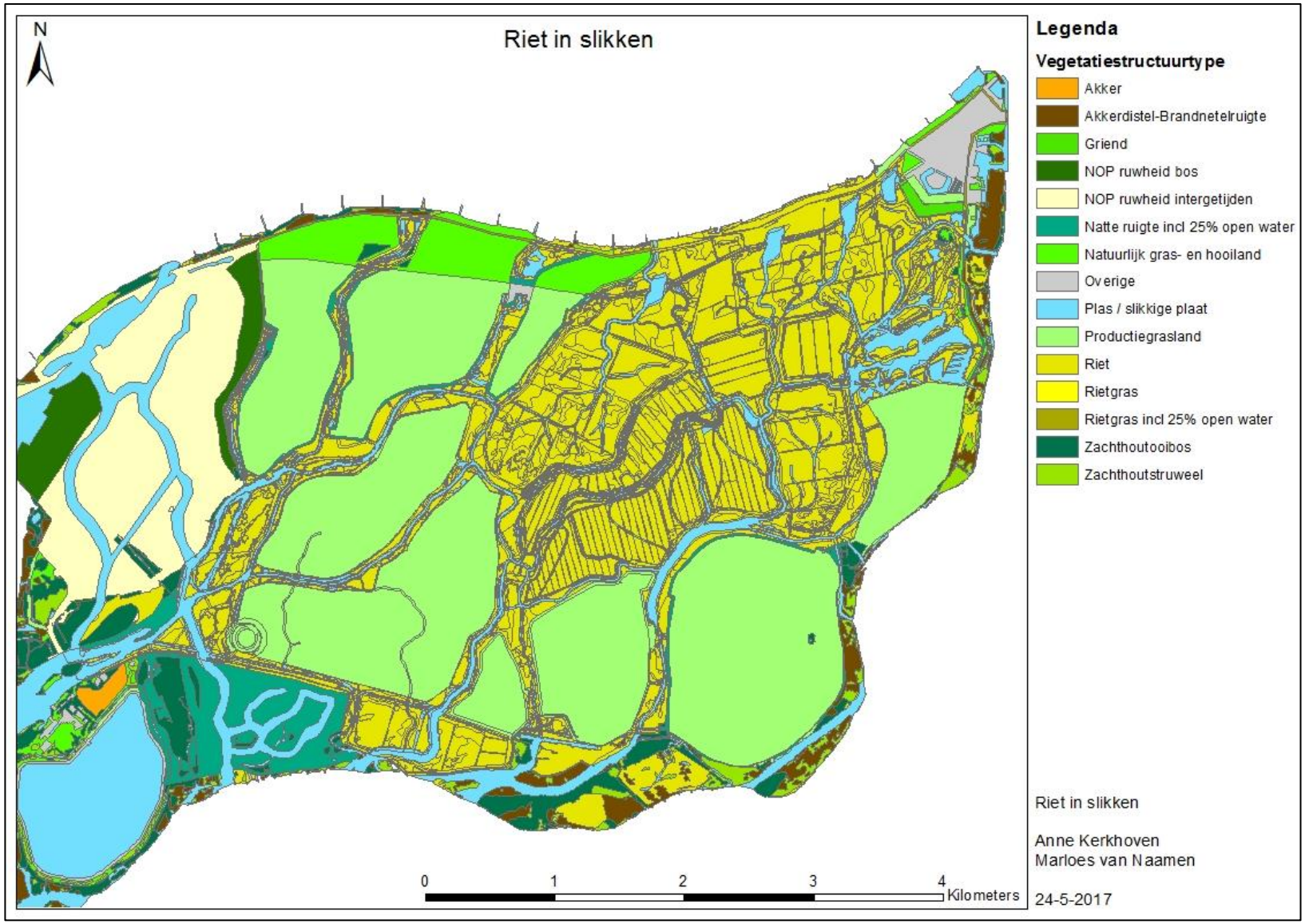

Laag bekade polders begrazingsgebied
N
Legenda
Vegetatiestructuurtype
Akker
Akkerdistel-Brandnetelruigte
Griend
NOP ruwheid bos
NOP ruwheid intergetijden
Natte ruigte incl 25% open water
Natuurlijk gras- en hooiland
Overige
Plas / slikkige plaat
Productiegrasland
Riet
Rietgras
Rietgras incl 25% open water
Zachthoutooibos
Zachthoutstruweel
0
1
2
3
4
Kilometers
Laag bekade polders begrazingsgebied
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
24-5-2017

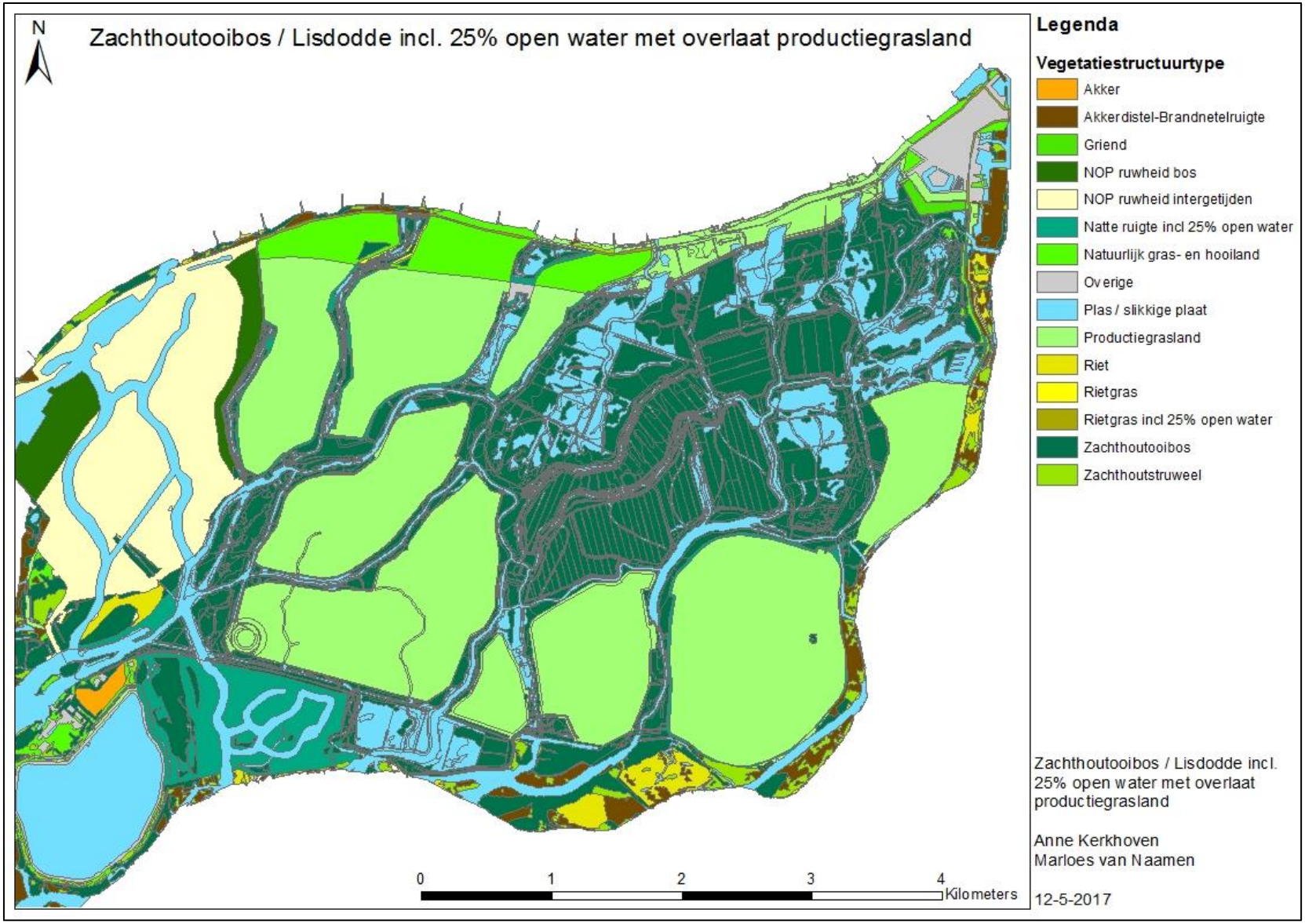

Muggenwaard
N
Legenda
Vegetatiestructuurtype
Akker
Akkerdistel-Brandnetelruigte
Griend
NOP ruwheid bos
NOP ruwheid intergetijden
Natte ruigte incl 25% open water
Natuurlijk gras- en hooiland
Overige
Plas / slikkige plaat
Productiegrasland
Riet
Rietgras
Rietgras incl 25% open water
Zachthoutooibos
Zachthoutstruweel
0 1 2 3 4 Kilometers
Muggenwaard
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
24-5-2017


Kooiwaard
N
Legenda
Vegetatiestructuurtype
Akker
Akkerdistel-Brandnetelruigte
Griend
NOP ruwheid bos
NOP ruwheid intergetijden
Natte ruigte incl 25% open water
Natuurlijk gras- en hooiland
Overige
Plas / slikkige plaat
Productiegrasland
Riet
Rietgras
Rietgras incl 25% open water
Zachthoutooibos
Zachthoutstruweel
0 1 2 3 4
Kilometers
Kooiwaard
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
24-5-2017

Bijlage 20: Kaarten overige scenario's




N
Riet in slikken
Legenda
Vegetatiestructuurtype
Akker
Akkerdistel-Brandnetelruigte
Griend
NOP ruwheid bos
NOP ruwheid intergetijden
Natte ruigte incl 25% open water
Natuurlijk gras- en hooiland
Overige
Plas / slikkige plaat
Productiegrasland
Riet
Rietgras
Rietgras incl 25% open water
Zachthoutooibos
Zachthoutstruweel
0 1 2 3 4 Kilometers
Riet in slikken
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
24-5-2017


Zachthoutooibos / Lisdodde incl. 25% open water met overlaat productiegrasland
N
Legenda
Vegetatiestructuurtype
Akker
Akkerdistel-Brandnetelruigte
Griend
NOP ruwheid bos
NOP ruwheid intergetijden
Natte ruigte incl 25% open water
Natuurlijk gras- en hooiland
Overige
Plas / slikkige plaat
Productiegrasland
Riet
Rietgras
Rietgras incl 25% open water
Zachthoutooibos
Zachthoutstruweel
0 1 2 3 4 Kilometers
Zachthoutooibos / Lisdodde incl. 25% open water met overlaat productiegrasland
Anne Kerkhoven
Marloes van Naamen
12-5-2017