

Risicogestuurd Maaibeheer

Toetsing van maaistrategieën in beken met
het Dottermodel

Ralf Linneman

6-7-2017

Colofon

Periode: 10-4-2017 tot 23-6-2017

Universiteit Twente

Dr. ir. D.C.M. Augustijn (afstudeerdocent)

053 - 489 4510
d.c.m.augustijn@utwente.nl

Universiteit Twente
Faculteit Construerende Technische Wetenschappen
Afdeling Waterbeheer
Drienerlolaan 5, Gebouw Horst
Postbus 217
7500 AE Enschede

UNIVERSITY OF TWENTE.

Deltares

ir. K.D. Berends (ondersteunend vanuit Deltares)

053 – 489 2073
k.d.berends@utwente.nl
koen.berends@deltares.nl



Waterschap Rijn en IJssel

Dr. J.P.M. Lenssen (dagelijkse begeleider)

031 - 436 9726
j.lenssen@wrij.nl

Waterschap Rijn en IJssel
Unit Kennis & Advies
Liemersweg 2
Postbus 148
7000 AC Doetinchem



Student

R.H. Linneman

Student Civiele Techniek
06 - 24 38 69 44
r.h.linneman@student.utwente.nl

Jacobusgang 48
7511 NZ Enschede

Voorwoord

Dit rapport beschrijft het afstudeeronderzoek dat ik heb uitgevoerd ter afronding van mijn bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. In dit rapport zijn verschillende maaistrategieën getoetst op waterveiligheid en ecologische waarde voor de Grote Beek. Dit onderzoek is uitgevoerd van april tot en met juli 2016.

Binnen dit project wil ik een aantal mensen bedanken. Allereerst mijn begeleider bij het Waterschap Rijn en IJssel. John Lenssen wil ik ontzettend bedanken voor het bieden van de mogelijkheid om alle werkzaamheden van het waterschap te verkennen. Ik heb van hem alle vrijheid gekregen om te werken aan mijn afstudeeronderzoek. Ook wil ik het Waterschap Rijn en IJssel zelf bedanken voor het aanbieden van deze interessante en actuele opdracht. Verder wil ik graag Koen Berends van Deltares bedanken voor zijn adequate hulp bij het aanpassen van het Dottermodel. Zijn feedback was van zeer bruikbare waarde. Daarnaast wil ik ook graag mijn begeleider vanuit de Universiteit Twente, Denie Augustijn hartelijk bedanken voor de feedback sessies waarin het onderzoek zijn vorm kreeg zoals het nu voor u ligt. Tot slot wil ik mijn mede-stagiair bij het Waterschap Rijn en IJssel Taric Schrader bedanken voor de vele gezellige en boeiende veldwerkdagen.

Coevorden 5 juli 2017,

Ralf Linneman

Samenvatting

Gedurende deze thesis is een onderzoek uitgevoerd naar de effecten van diverse maaistrategieën voor de Grote Beek op het traject tussen de stuw Kemperman en stuw Bedelbrug. De hoofdvraag in dit onderzoek is: *“Hoeveel en hoe vaak moet er gemaaid worden zodat opstuwing door vegetatiegroei binnen een vooraf gestelde limiet blijft?”*. Huidige risicogestuurde tools, zoals het MaaiBOS, bieden niet de mogelijkheid om de waterstand onder invloed van vegetatiegroei te modelleren.

Hiertoe is het Dottermodel ontwikkeld. Het Dottermodel is een model dat bestaat uit drie kleinere modellen. Het eerste model is het vegetatie groeimodel dat de ontwikkeling van de begroeiingsgraad over de tijd beschrijft. Hierna volgt het begroeiing-ruwheidsmodel dat de begroeiingsgraad vertaalt naar een ruwheid in de vorm van een Manning n waarde. Tot slot bepaald het verhanglijnmodel op basis van de ruwheid de waterstand over het traject.

Allereerst is er een onzekerheidsanalyse uitgevoerd voor het Dottermodel. Hierbij wordt duidelijk dat de variatie in waterstand het meest afhankelijk is van de vegetatie parameters groeisnelheid, maximale begroeiingsgraad en de lengte van het groeiseizoen.

Daarna is het traject Kemperman – Bedelbrug nader onderzocht. Hierbij is er gekeken naar de dominante soorten, hun eigenschappen en de distributie van deze vegetatiesoorten. Gele Plomp en Pijlkruid zijn de dominantie soorten in het traject.

Voor de bepaling van de groeicurve voor het traject Kemperman – Bedelbrug is het Dottermodel in omgekeerde richting gebruikt. Eerst is op basis van de debietmetingen, de bovenstroomse en de benedenstroomse waterstandmetingen de ruwheid, in de vorm van een Manning n waarde, over de tijd bepaald. Hierna is een begroeiing-ruwheidsmodel opgesteld met een relatie tussen de Manning n waarde (n), de begroeiingsgraad (ϕ) en het debiet (Q):

$$n = 0.033 + 0.2127 * \left(\frac{\phi}{Q}\right)$$

Dit begroeiing-ruwheidsmodel is ook uitgezet tegen de beschikbare gegevens voor het bovenstroomse traject. Hierbij is een grote mate van overeenkomst gevonden waarmee kan worden geconcludeerd dat het begroeiing-ruwheidsmodel breder toepasbaar is dan enkel op het traject Kemperman – Bedelbrug. Met behulp van dit begroeiingsgraad-ruwheidsmodel is een groeicurve opgesteld voor het traject Kemperman – Bedelbrug. Vervolgens zijn diverse maaistrategieën uitgevoerd en getoetst. De toetsing van de maaistrategieën is uitgevoerd op basis van de aspecten waterveiligheid en ecologische waarde. Hierbij werd duidelijk dat deze aspecten conflicterend zijn. Een betere waterveiligheid vraagt om meer maaionderhoud waarbij veel vegetatie verwijderd wordt en een verbetering van de ecologische waarde vraagt juist om het zo veel mogelijk laten staan van vegetatie.

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden dient er een afweging gemaakt te worden tussen de waterveiligheid en de ecologische waarde. Het Waterschap Rijn en IJssel heeft als primaire taak het voorkomen van inundatie. Met dit als belangrijkste taak kan geconcludeerd worden dan het twee keer maaien van de watergang waarvan éénmaal het talud wordt meegenomen de best passende strategie is. Een strategie die voor 2017 op de planning staat.

Lijst met symbolen

SYMBOOL	EENHEID	BESCHRIJVING
u	ms^{-1}	Stroomsnelheid
t	s	Tijd
g	ms^{-2}	Zwaartekrachtversnelling
x	m	Afstand langs de beek
f	—	Ruwheid
h	m	Waterdiepte
n	$sm^{-1/3}$	Manning coëfficiënt
ϕ	—	Begroeiingsgraad
i_b	—	Bodemverhang
h	m	Waterdiepte
R	m^2	Hydraulische straal
k	—	Maximale begroeiingsgraad
r	—	Groeisnelheid
m	—	Maaifactor
Q	m^3s^{-1}	Debiet
C	$\frac{1}{m^{1/2}}s^{-1}$	Coefficient van Chézy

Inhoudsopgave

Colofon	ii
Voorwoord	iii
Samenvatting.....	iv
Lijst met symbolen	v
1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doel en onderzoeksvragen	1
1.3 Methodologie	2
1.4 Afbakening.....	3
1.5 Leeswijzer.....	4
2 Achtergrond	5
2.1 Risicogestuurd maaibeheer	5
2.2 Dottermodel	5
2.3 Watergangonderhoud.....	8
2.3.1 Beschikbare apparatuur	8
2.3.2 Methoden	8
2.3.3 Maaimoment	10
2.4 Ecologische waarde volgens Ecologische KwaliteitsRatio	10
2.5 Grote Beek	11
2.5.1 Traject Kemperman – Bedelbrug.....	12
2.5.2 Beschikbare gegevens.....	14
3 Gevoeligheidsanalyse Dottermodel	15
3.1 Parameter keuze	15
3.2 Uitgangssituatie	15
3.3 Variatie bepaling.....	16
3.4 Resultaten	17
4 Traject eigenschappen Grote Beek.....	18
4.1 Vegetatie soorten	18
4.2 Distributie van vegetatie	19
4.3 Lay-out van traject.....	19
5 Opstellen groeicurve op basis van waargenomen ruwheidstoename.....	20
5.1 Ruwheidsontwikkeling over groeiseizoen in 2016	20

5.2	Vertaling van ruwheid naar begroeiingsgraad	21
5.3	Groeicurve fitten aan begroeiingsgraad.....	25
6	Toetsing maaistrategieën	28
6.1	Bepaling maaistrategieën.....	28
6.2	Toetsing waterveiligheid.....	29
6.3	Toetsing ecologische waarde.....	30
7	Toepassing groeicurve op Grote Beek.....	31
8	Discussie	32
9	Conclusie.....	33
10	Aanbevelingen	34
11	Bibliografie	35
	 Bijlagen	 37
1.	Afwateringseenheden traject Kemperman – Bedelbrug.....	37
2.	Invloed parameter variatie op waterdiepte.....	38
3.	Onderhoudspakket Grote Beek 2017	39

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Vegetatiegroei in beken zorgt voor een toenemende ruwheid, dit leidt tot opstuwing van het water. Deze opstuwing verlaagt de afvoercapaciteit van een beek. Om te voorkomen dat de vegetatie ten tijde van een afvoerpiek inundatie tot gevolg heeft wordt deze gemaaid. Dit maaien gebeurt op het moment op een preventieve wijze. Met deze preventieve aanpak wordt een groot deel van de vegetatie meerdere malen per groeiseizoen weggemaaid. Het volledig wegmaaien van de vegetatie heeft een negatief effect op de flora en fauna (van Vossen & Verhagen, 2009). In dit onderzoek zullen verschillende maaistrategieën worden getoetst op zowel waterveiligheid als ecologie. Het Waterschap Rijn en IJssel monitort de ecologische waarde van watergangen aan de hand van de Ecologische KwaliteitsRatio (EKR) (Waterschap Rijn en IJssel, 2015b) en streeft er naar deze te verhogen.

Centraal in dit onderzoek staat de Grote Beek in het beheersgebied van het Waterschap Rijn en IJssel. Deze beek scoort laag op de EKR en heeft veel potentie voor een hogere ecologische waarde (Waterschap Rijn en IJssel, 2015b). Een mogelijkheid om de EKR te verhogen is door meer vegetatie te laten staan tijdens een maaibeurt. Een manier waarop dit gedaan kan worden is door het zogenaamde stroombaanmaaien toe te passen. Bij het stroombaanmaaien wordt een baan van de vegetatie weggemaaid met behulp van een maaiboot, de taluds worden niet gemaaid. Echter zijn de gevolgen hiervan op de waterstand onbekend. Dit onderzoek richt zich op het bepalen van een maaistrategie waarbij zowel de waterveiligheid als de ecologische waarde verbeterd ten opzichte van de huidige situatie. De effecten van verschillende maaistrategieën op de waterstand worden geïnventariseerd met behulp van het Dottermodel, dit model wordt beschreven in hoofdstuk 2.2.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

De hoofdvraag in dit onderzoek luidt:

Hoeveel en hoe vaak moet er gemaaid worden zodat opstuwing door vegetatiegroei binnen een vooraf gestelde limiet blijft?

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden is deze opgedeeld in deelvragen. Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van het Dottermodel voor de verschillende input parameters dient er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd te worden. Hieruit volgt de eerste deelvraag:

1. Wat is de gevoeligheid van het model voor de verschillende parameters?

Om de eigenschappen van zowel het traject als de aanwezige vegetatie goed vast te leggen, en onderscheid tussen de effecten in variatie van deze eigenschappen te kunnen maken, is de volgende deelvraag opgesteld, die opgedeeld kan worden in meerdere sub vragen:

2. Wat zijn de eigenschappen van het traject in het jaar 2016?

- 2a. Welke soorten vegetatie komen voor in de Grote Beek?
- 2b. Hoe is de vegetatie verspreid in de Grote Beek?
- 2c. Wat zijn de lay-out eigenschappen van het traject?

Het Dottermodel modelleert de vegetatiegroei door middel van een Malthusiaanse groeicurve. Om voor de situatie van de Grote Beek de vegetatiegroei te kunnen modelleren zullen de parameters van de Malthusiaanse groeicurve bepaald moeten worden aan de hand van de waargenomen ruwheidstoename. Deze parameters zijn: de groeisnelheid r en de maximale begroeiingsgraad k . Hieruit volgt de tweede deelvraag:

3. *Welke waarde van r en k in de Malthusiaanse groeicurve past het beste bij de waargenomen ruwheidsontwikkeling in het traject van de Grote Beek?*

Met behulp van het Dottermodel zullen verschillende maaistrategieën getoetst worden. De opstuwing tijdens een piekafvoer in combinatie met de aanwezige begroeiing, zal worden getoetst aan de maximaal toegestane opstuwing. Om een keuze te maken welke maaistrategie het meest geschikt is, zal ook de ecologische waarde worden meegenomen. Dit leidt tot de volgende deelvraag:

4. *Wat is het effect van verschillende maaistrategieën op de waterdiepte en de ecologische waarde?*
- 4a. *Wat is de beste maaistrategie voor het traject in de Grote Beek met betrekking tot de waterveiligheid?*
- 4b. *Wat is de beste maaistrategie voor het traject in de Grote Beek met betrekking tot de ecologische waarde?*

De groeicurve die bepaald is bij deelvraag 3 is onder andere afhankelijk van de eigenschappen van het traject die worden onderzocht in deelvraag 2. Om te onderzoeken of de groeicurve toegepast kan worden voor de gehele Grote Beek zal een direct aangrenzend bovenstrooms traject bekeken worden.

5. *Is de gevonden groeicurve toepasbaar voor de gehele Grote Beek?*

1.3 Methodologie

De methodologie verschilt voor elke deelvraag, en zal per deelvraag apart behandeld worden.

Gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyse van het Dottermodel zal worden gedaan door de verschillende inputparameters te variëren en de effecten van deze variatie op de waterstand te vergelijken. De range waarin de parameters gevarieerd worden is per parameter verschillend. Deze variatie zal worden bepaald aan de hand van beschikbare data over de variatie in de betreffende parameter.

Traject eigenschappen Grote Beek

Voor het bepalen van de eigenschappen van het traject in de Grote Beek zal per deelvraag een verschillende methodiek worden toegepast. Voor het bepalen welke vegetatiesoorten aanwezig zijn in het traject zal enkel worden gekeken naar de dominante soorten. Dit zal worden gedaan door het traject af te lopen en de dominante soorten vast te leggen. Voor het bepalen van de mate van spreiding van de vegetatie over het traject zal gedurende dezelfde wandeling de homogeniteit worden geregistreerd. De laatste subvraag zal worden beantwoord op basis van de data in de geo-database van het Waterschap Rijn en IJssel. Gegevens over bodembreedte, bodemhelling, taludhoek en lengte van het traject zullen worden opgezocht.

Voor het vaststellen van de bodembreedte zullen veldmetingen plaatsvinden omdat de data in de geo-database veelal niet correspondeert met de situatie in het veld.

Groeicurve bepaling aan de hand van ruwheidstoename

Met behulp van het Dottermodel kan worden bepaald wat de Manning coëfficiënt in de beek is voor elk meetmoment. Voor een aantal meetmomenten zal deze Manning n waarde bepaald worden. Met behulp van veldmetingen zijn de begroeiingspercentages vastgesteld gedurende het groeiseizoen. De met het model bepaalde Manning coëfficiënt zal gekoppeld worden aan het geschatte begroeiingspercentage en vervolgens zal naar de literatuur worden gekeken welke relatie tussen de Manning coëfficiënt en het begroeiingspercentage het beste correspondeert met de waarnemingen.

Nadat dit bepaald is zal er voor de Grote Beek een groeisnelheid (r) worden opgesteld door een Malthusiaanse groeicurve te fitten aan de gemeten vegetatieontwikkeling. Voor het bepalen van het maximale begroeiingspercentage (parameter k) zal worden gekeken naar de literatuur.

Toetsing van maaistrategieën

Eerst zullen de verschillende maaistrategieën worden opgesteld. Er zal gevarieerd worden in de methode van maaien, het maaien van de taluds zal worden gecombineerd met stroombaanmaaien waarin de baanbreedte wordt gevarieerd. Deze strategieën worden verder toegelicht in paragraaf 2.3. Ook zal er gevarieerd worden in het aantal maaibeurten gedurende een jaar. Gekeken zal worden naar de effecten indien 1, 2 of 3 maal per jaar gemaaid wordt. Als laatste zal het moment van maaien gevarieerd worden. De invloed van vroeg, of juist laat, maaien in het groeiseizoen zal worden bekeken. Ook zal het huidige maairegiem worden getoetst.

De maaistrategieën zullen worden getoetst door de waterstand die het Dottermodel geeft te vergelijken met de maximaal toelaatbare waterstand. Deze maximaal toelaatbare waterstand wordt bepaald met behulp van de hoogtekaart in de geo-database van het Waterschap Rijn en IJssel. Het Waterschap Rijn en IJssel heeft als standaard voor de maximale waterstand, de waterstand waarbij 5% van het omliggende maaiveld inundeert. Deze waarde zal ook aangehouden worden voor de toetsing van de maaistrategieën. Ook wordt de invloed van de maaistrategieën op de ecologische score bekeken. Gekeken zal worden naar de gemiddelde begroeiingsgraad over een groeiseizoen. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 2.4.

Toepassingsbereik groeicurve Grote Beek

Voor het direct aangrenzende bovenstroomse traject van Kemperman – Bedelbrug zijn op een gelijke wijze veldmetingen uitgevoerd. Ook zijn er continue debiet en pijlmetingen beschikbaar voor het jaar 2016. Voor dit traject, genaamd Broekstraat – Kemperman, zal de ruwheid worden bepaald met behulp van het Dottermodel voor de dagen waarvoor er begroeiingsgraad gegevens beschikbaar zijn. Met behulp van deze gegevens zal worden bepaald of de groeicurve ook geschikt is voor een groter deel van de Grote Beek.

1.4 Afbakening

In dit onderzoek zal er enkel gekeken worden naar de opstuwing als gevolg van vegetatie. Meetgegevens die gebruikt worden voor de Grote Beek zijn enkel beschikbaar voor het jaar

2016 en beslaan slechts één groeiseizoen. Variatie tussen groeiseizoenen is een reële factor die meespeelt in de bepaling van de groeicurves over meerdere jaren dit wordt echter niet meegenomen in dit onderzoek.

De intentie om gegevens in 2017 te verzamelen en te gebruiken in dit onderzoek is er. Echter kon vanwege de lage afvoer van de Grote Beek dit niet worden uitgevoerd.

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft het Dottermodel en de achterliggende theorie. Hierna volgen de deelvragen waarbij elke deelvraag in een apart hoofdstuk beschreven is. Hoofdstuk 8 bediscussieert het gedane onderzoek en de methoden, gevolgd door de conclusie in Hoofdstuk 9 en de aanbevelingen in Hoofdstuk 10.

2 Achtergrond

In dit hoofdstuk zal achtergrondinformatie worden behandeld. Eerst wordt er gekeken naar risicogestuurd maaibeheer en hoe dit in de praktijk momenteel wordt toegepast. Daarna zal het Dottermodel behandeld worden. Vervolgens worden de mogelijkheden met betrekking tot maaionderhoud besproken gevolgd door een korte toelichting op de EKR bepaling. Tot slot wordt de Grote Beek beschreven met een toespitsing op het traject Kemperman – Bedelbrug.

2.1 Risicogestuurd maaibeheer

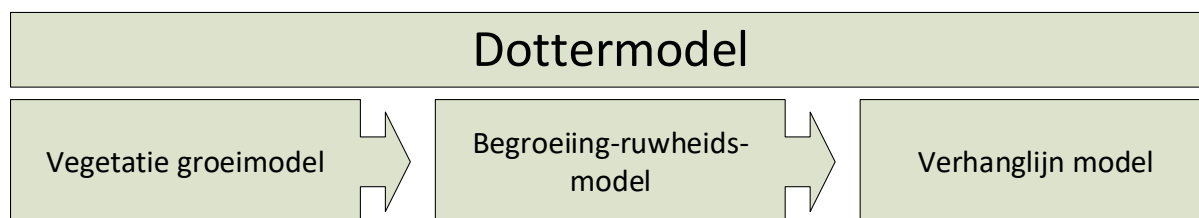
Risicogestuurd maaibeheer wordt toegepast voor watergangen waar veel vegetatiegroei plaatsvindt. Deze vegetatiegroei zal gedurende het groeiseizoen leiden tot een afname van de afvoercapaciteit, met als risico dat ingeval van een piekafvoer de afvoercapaciteit niet meer voldoende groot is en er inundatie optreedt. Kijkend naar risicogestuurd onderhoud van watergangen valt één werkwijze op: het Maai BeslissingsOndersteunend Systeem (MaaiBOS) (Waterschap De Dommel, 2014), ontwikkeld door Jeroen Tempelaars destijds werkzaam als hydroloog bij Waterschap De Dommel. Bij het MaaiBOS wordt de relatie tussen de waterstand en het debiet gemonitord. Verschuift deze relatie op een negatieve wijze waardoor de afvoercapaciteit niet meer voldoende is, dan kan worden besloten om de vegetatie te maaien. Met deze methode kan dus real-time gemonitord worden of de afvoercapaciteit van een watergang voldoende is, en of er eventueel ingegrepen dient te worden. Een nadeel van deze manier van monitoring is dat de methode alleen met real-time informatie werkt en dus verschillende maaistrategieën hiermee niet getoetst kunnen worden. Met MaaiBOS kan alleen gemonitord worden en bepaald worden wanneer er ingegrepen dient te worden. Het is niet realistisch om het MaaiBOS toe te passen voor het gehele beheersgebied van Waterschap Rijn en IJssel. Indien dit wel uitgevoerd wordt is er een risico dat alle watergangen gelijktijdig onderhouden dienen te worden, hiervoor is te weinig materieel aanwezig. Het plannen van beekonderhoud is een taak die niet kan worden uitgevoerd met het MaaiBOS.

Niet overal wordt het MaaiBOS toegepast. In situaties waar dit niet gebeurt, wordt gemaaid op basis van een planning. Deze planning komt tot stand op basis van ervaring van het onderhoudspersoneel en beschikbaarheid van het maaimaterieel.

Een wenselijke stap is om de vegetatiegroei gedurende een groeiseizoen te kunnen modeleren en onder invloed van deze vegetatietoename de opstuwing te berekenen. Op basis van de verwachte afvoercapaciteitsafname kan een planning worden gemaakt. Ook de toetsing van diverse maaistrategieën kan een waardevolle toevoeging zijn op het verbeteren van het maaibeheer. Hiertoe is het Dottermodel ontworpen.

2.2 Dottermodel

Om de opstuwing van water door vegetatie te modeleren wordt het Dottermodel gebruikt. Dit model, ontwikkeld door Deltares (Deltares, 2017), berekent de waterdiepte gedurende een tijdsperiode afhankelijk van de ruwheid. De ruwheid is afhankelijk van een vegetatiegroeimodel (Figuur 1). Het model is in eerste instantie ontworpen om de invloed van plaatselijk dichte vegetatie op de opstuwing te modeleren (van den Eertwegh, 2017). Echter kan het model ook gebruikt worden in situaties waarbij er gerekend wordt met een gemiddelde begroeiingsgraad of ruwheidswaarde.



Figuur 1 - Het Dottermodel in een stroomdiagram

Zoals in Figuur 1 weergegeven bestaat het Dottermodel uit drie kleinere modellen. Deze drie modellen zullen kort worden behandeld om zo de werking van het Dottermodel toe te lichten.

Vegetatie groeimodel

Het vegetatie groeimodel beschrijft de ontwikkeling van de begroeiingsgraad over de tijd. De begroeiingsgraad kan op meerdere manier geïnterpreteerd worden. Zo kan het de gemiddelde begroeiingsgraad in het dwarsprofiel beschrijven of de gemiddelde bedekkingsgraad van het wateroppervlak. In dit verslag zal het vegetatie groeimodel gebruikt worden om de gemiddelde bedekkingsgraad van de vegetatie aan het wateroppervlak te beschrijven. Verondersteld wordt dat de bedekkingsgraad aan het wateroppervlak een direct verband heeft met de begroeiingsgraad in het dwarsprofiel. Er is voor deze werkwijze gekozen omdat het waarnemen van de bedekkingsgraad aan het wateroppervlak eenvoudiger uit te voeren is voor een traject in vergelijking met de bepaling van een gemiddelde begroeiingsgraad over het dwarsprofiel.

De begroeiingsgraad wordt gemodelleerd als een Malthusiaanse groeicurve (Malthus, 1798):

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = r(t)\phi \left(\frac{k - \phi}{k} \right) - m\phi \quad (1)$$

In deze vergelijking is een maaitem toegepast, de term m . Hiermee kan een factor worden opgelegd waarmee de vegetatie verminderd na het uitvoeren van maaionderhoud.

Begroeiing-ruwheidsmodel

De vegetatie wordt gemodelleerd als effect op de gemiddelde ruwheid in de watergang. Pitlo en Griffioen (Pitlo & Griffioen, 1991) vonden een verband tussen de Manning coëfficiënt en de begroeiingsgraad:

$$n = 0.033(1 - \phi)^{-1} \quad (2)$$

Deze empirische relatie beschrijft het verband tussen de Manning coëfficiënt en de begroeiingsgraad in het dwarsprofiel. Deze interpretatie is niet gelijk aan de manier van waarnemen die gehanteerd wordt in dit onderzoek.

Verhanglijnmodel

Voor het bepalen van de waterdiepte maakt het Dottermodel gebruik van de Bélanger vergelijking (Bélanger, 1828) met de aanname van een prismatisch kanaal met uniforme en constante stroming:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{(gi_b + f)}{(g - \frac{u^2}{h})} \quad (3)$$

De vergelijking beschrijft de stuwkromme die ontstaat in een beek door een toename van de weerstand. De vergelijking wordt numeriek opgelost met een benedenstrooms bekende waterstand als randvoorwaarde.

In het Dottermodel zijn meerdere ruwheidsvergelijkingen ingebouwd die toegepast kunnen worden. De belangrijkste vergelijkingen zullen hier kort worden toegelicht.

Chézy

De formule van Chézy ontwikkeld door Antoine de Chézy in 1775 (Chow, 1956). De bodem- en wandruwheid wordt bepaald als coëfficiënt C . Deze formule is ontwikkeld voor het bepalen van de gemiddelde stroomsnelheid in een watergang waarbij de wanden en bodem bestaan uit beton, metaal, zand of steen.

$$f = -\frac{gu^2}{C^2R} \quad (4)$$

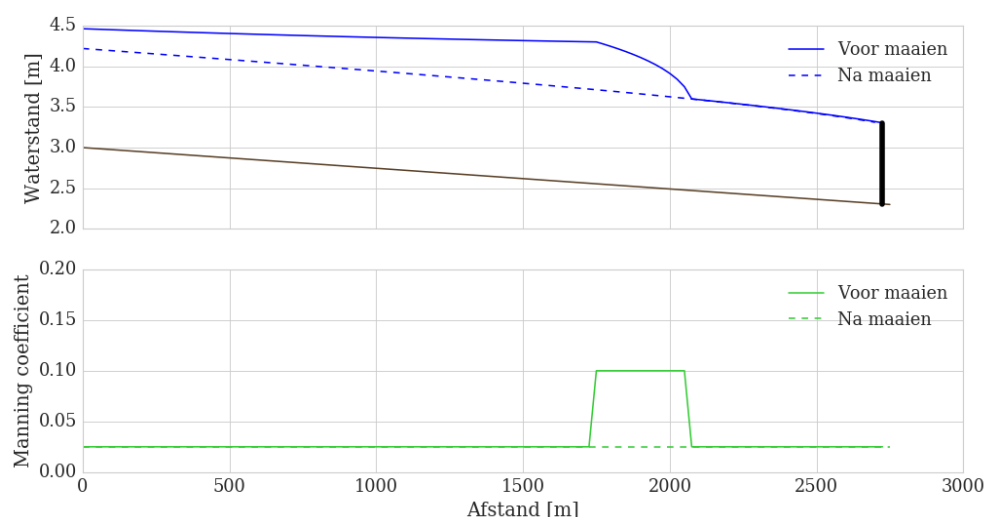
Manning

In 1889 ontwikkelde Robert Manning een formule die sterk lijkt op de vergelijking van Chézy. In de Manning formule wordt de wand- en bodemruwheid uitgedrukt als de Manning coëfficiënt n (Chow, 1956).

$$f = -\frac{g(un)^2}{R^{4/3}} \quad (5)$$

Het begroeiing-ruwheidsmodel gaat uit van een relatie tussen de Manning coëfficiënt n en de begroeiingsgraad. In het verhanglijnenmodel wordt gekozen om de ruwheid met de formule van Manning (Vergelijking 5) te beschrijven.

De output die het Dottermodel levert is een waterstand over het gehele traject, voor elke tijdstap (Figuur 2).



Figuur 2 - Output Dottermodel, één tijdstap voor het maaionderhoud en één tijdstap na het maaionderhoud. Hierbij is niet gebruik gemaakt van een homogene ruwheidstoename over het gehele traject maar van een plaatselijke ruwheidstoename

2.3 Watergangonderhoud

In dit hoofdstuk zullen de mogelijkheden voor maaimethoden worden toegelicht. Eerst zal er gekeken worden naar de beschikbare apparatuur en aan de hand hiervan kunnen diverse maaimethoden worden opgesteld. Maaistrategieën zullen in Hoofdstuk 6 worden opgesteld door te variëren in de methode en maaimoment.

2.3.1 Beschikbare apparatuur

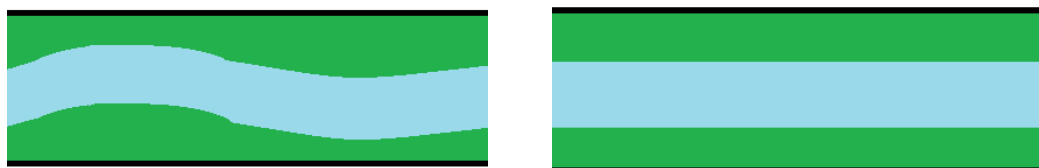
Waterschap Rijn en IJssel besteed een deel van de maaierwerkzaamheden uit aan diverse firma's. Zo wordt het maaionderhoud waarbij een maaiboot wordt gebruikt uitbesteed. Het maaien van de taluds met behulp van een tractor is in eigen beheer van het waterschap. De maaistrategieën zullen aan de hand van de mogelijkheden van deze maaimethoden worden bepaald.

2.3.2 Methoden

Aan de hand van de beschikbare apparatuur zijn diverse maaimethoden op te stellen. Naast het volledig schonen van de watergang, dat vanuit ecologisch oogpunt vermeden dient te worden, zijn er diverse mogelijkheden waarbij een deel van de vegetatie blijft staan. De meest relevante methoden zullen in dit deel behandeld worden.

Stroombaanmaaien

Met stroombaanmaaien wordt enkel een baan gemaaid met behulp van een maaiboot. Variatie in deze methode kan nog worden toegepast door de baanbreedte te variëren, door meerdere malen het traject met de maaiboot af te leggen, of door meanderend door de watergang te maaien (Figuur 3). Dit "meanderend-maaien" kan enkel toegepast worden in situaties waarbij de te maaien baan smaller is dan de bodembreedte. Deze maaimethode heeft als doel variatie te creëren in de breedte van de overgebleven vegetatie en daarmee de variatie in de stroomsnelheid zowel in het dwarsprofiel als in het lengteprofiel te verhogen (Stowa, 2015).



Figuur 3 - Twee varianten van het stroombaanmaaien, bovenaanzicht, links; een "meanderende" maaibaan, rechts; een rechte maaibaan

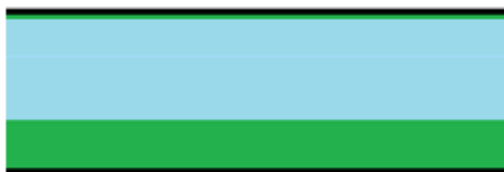
De effecten van stroombaanmaaien voor het dwarsprofiel zijn weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4 – Schematisatie van aanwezigheid van vegetatie na stroombaanmaaien

Stroombaanmaaien in combinatie met het maaien van één talud

De tweede mogelijke variatie is het combineren van het maaien van één talud met het stroombaanmaaien. In Figuur 5 is deze maaimethode schematisch weergegeven.



Figuur 5 - Schematisatie stroombaanmaaien in combinatie met maaien één talud, bovenaanzicht

Figuur 6 toont een schematisatie van de overgebleven vegetatie na het stroombaanmaaien in combinatie met het maaien van één talud.



Figuur 6 - Schematisatie van aanwezigheid van vegetatie na stroombaanmaaien in combinatie met één talud maaien

Maaien boven- of benedenstroomse vegetatie

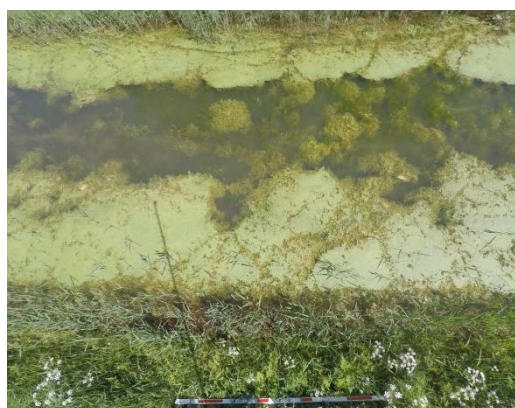
Ook kan er gekozen worden om enkel beneden- of bovenstrooms te maaien (Figuur 7). De effecten van deze maaimethode op de opstuwing zijn echter onbekend. Ook kan er enkel stroombaanmaaien worden toegepast op het boven- of benedenstroomse deel van een traject.



Figuur 7 - Schematisatie van bovenstrooms (rechts) of benedenstrooms (links) maaien

Gericht maaien

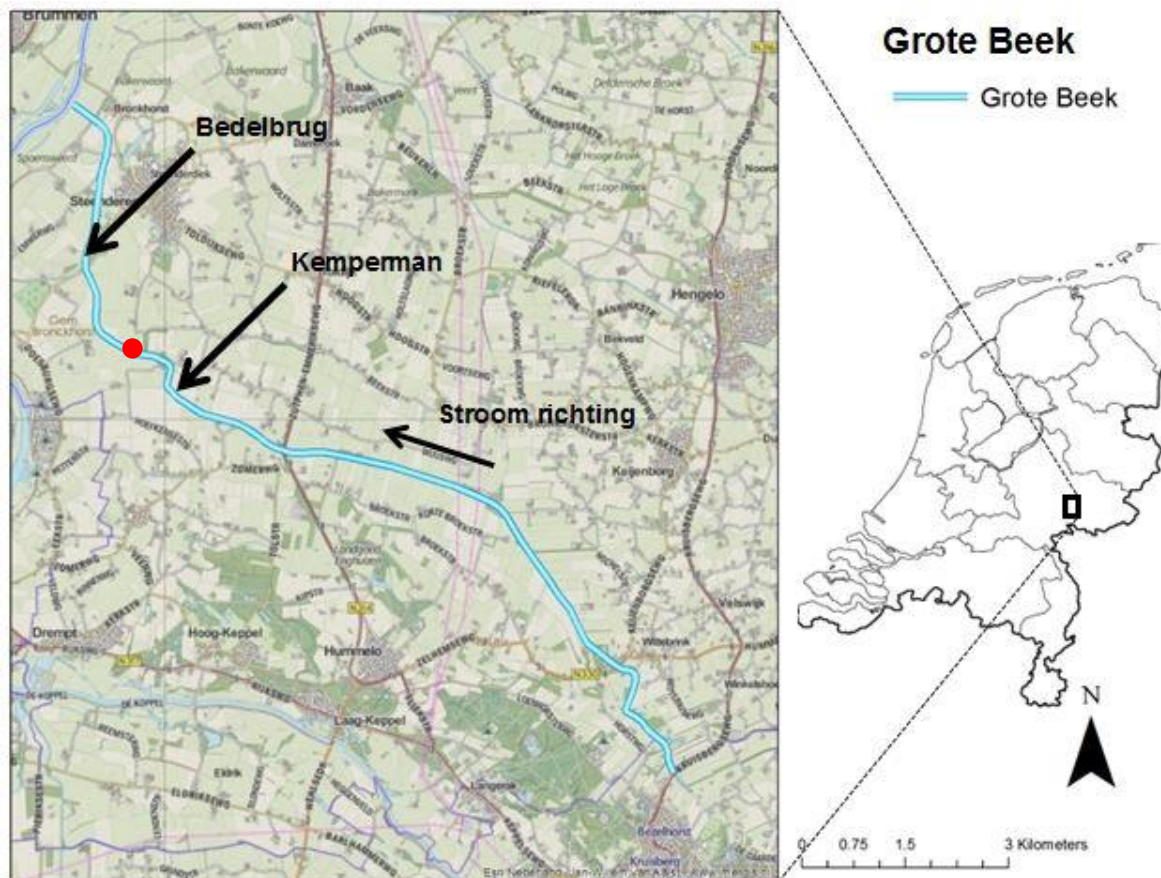
Indien er geen sprake is van een homogene verdeling van de vegetatie over de watergang maar van zogenoemde 'patches' kan er gekozen worden voor gericht maaien. Patches zijn lokale dichtbegroeide delen in een watergang die voor een plaatselijk verhoogde weerstand kunnen zorgen (Figuur 8). Het gericht maaien van deze patches kan een effectieve manier zijn om plaatselijk verhoogde weerstanden te verwijderen. Het gericht maaien van deze patch in de stroombaan kan uitgevoerd worden met behulp van een maaiboot.



Figuur 8 - Patch vorming waarbij stroombaan volledig dichtgroeit

2.5 Grote Beek

De Grote Beek is gelegen ten noordwesten van Doetinchem (Figuur 9), heeft een lengte van 20,5 km en mondt uit in de IJssel. Het waterlichaam behoort tot de KRW categorie "Rivieren" en is geclassificeerd als type R5: langzaam stromende middenloop/benedenloop op zand. De Grote Beek voldoet nog niet aan de ecologische doelstellingen maar heeft veel potentie aangezien er veel verbeterd kan worden aan de macrofauna en vispopulatie (Waterschap Rijn en IJssel, 2015a). De beek is het gehele jaar watervoerend.



Figuur 9 - Locatie Grote Beek en meetlocaties Bedelbrug en Kemperman. De rode stip geeft de locatie aan van de foto's in Figuur 12

De ecologische score van de Grote Beek is voor het laatst vastgesteld in 2015 (Waterschap Rijn en IJssel, 2015a). Hierin is te zien dat, op de aspecten macrofauna en vis, de doelen niet gehaald worden (Figuur 10). De EKR-score kan variëren tussen 0 en 1.

	Toestand 2015	Doelen
Biologie		
Macrofauna (EKR)	0,32	0,45
Overige waterflora (EKR)	0,59	0,25
Vis (EKR)	0,19	0,20

Figuur 10 - EKR-scores Grote Beek (Waterschap Rijn en IJssel, 2015a)

2.5.1 Traject Kemperman – Bedelbrug

Het traject dat centraal staat in dit onderzoek is het gedeelte van de Grote Beek tussen de meetlocaties Bedelbrug en Kemperman. De stuw Bedelbrug (Figuur 11) meet elk uur het debiet en de beneden- en bovenstroomse waterstand, deze zijn live te volgen op de site van het Waterschap Rijn en IJssel (waterdata.wrij.nl). De stuw Kemperman (Figuur 11) meet enkel de beneden- en bovenstroomse waterstand, ook deze data is live te volgen.



Figuur 11 - links: Stuw Bedelbrug, rechts: Stuw Kemperman

Voor aanvang van het groeiseizoen is de Grote Beek geheel kaal en is het water erg troebel. Er kunnen nog enkele vegetatieresten aanwezig zijn uit het vorige groeiseizoen. Tijdens het groeiseizoen neemt de begroeiing langzaam toe en neemt de troebelheid af (Figuur 12).



Figuur 12 - Vegetatie ontwikkeling Grote Beek, foto's genomen op: 4 mei, 15 mei, 23 mei en 1 juni 2017. De locatie van de foto's is in Figuur 10 aangegeven met een rode stip

In het Dottermodel wordt de Grote Beek als trapezium geschematiseerd (Figuur 13).



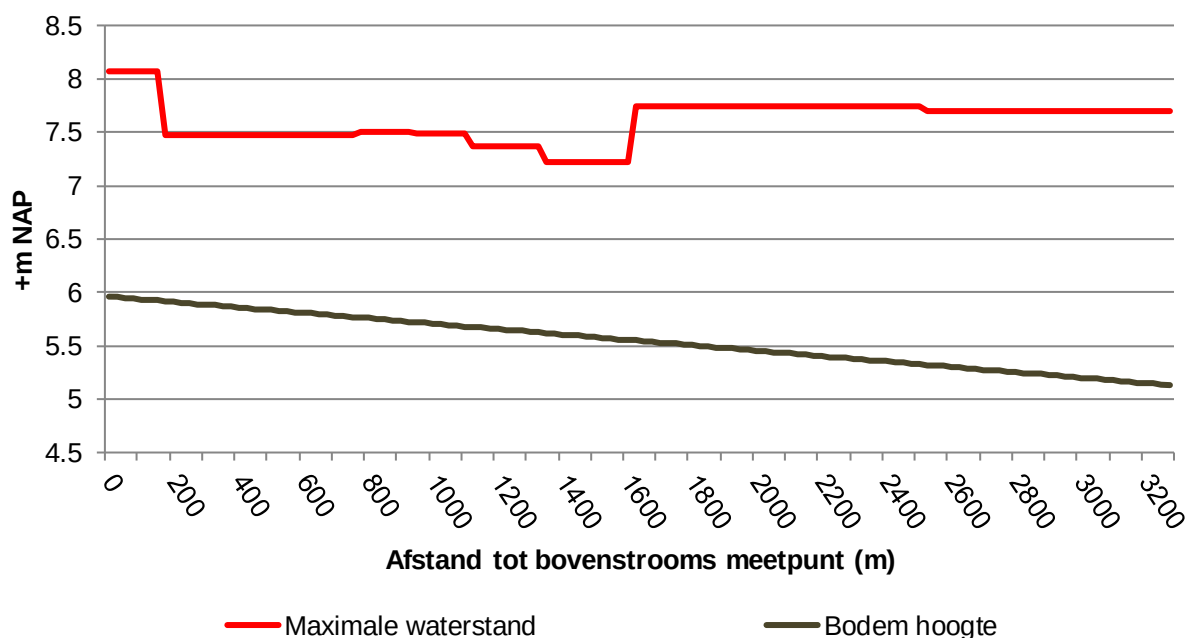
Figuur 13 - Schematisatie van Grote Beek, dwarsprofiel

De bodembreedte in het traject varieert van 6 meter ter hoogte van stuw Kemperman en loopt op tot 7 meter ter hoogte van stuw Bedelbrug. De taludhoek is over het gehele traject en aan beide zijden van de watergang gelijk onder een hoek van $33,7^\circ$. De bodemhoogte van het benedenstroomse punt (stuw Bedelbrug) is +5,13 mNAP en op het meest bovenstroomse punt (stuw Kemperman) +5,96 mNAP. Dit leidt tot een gemiddeld verhang over het traject van 0,000253 over een lengte van 3280 meter (0,253 m/km).

In 2016 werd de volgende maaistrategie toegepast:

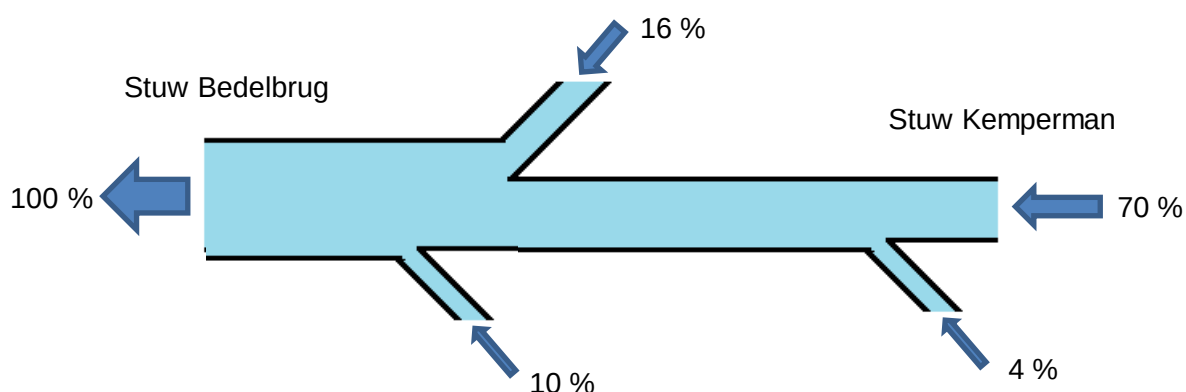
- 19-20 juni, stroombaanmaaieren met een volledige baanbreedte (Figuur 4)
- 28 juli, maaieren van 1 talud

Voor het bepalen van de maximaal toelaatbare waterstand op het traject Kemperman – Bedelbrug hanteert het Waterschap Rijn en IJssel de volgende methode: de maximaal toelaatbare waterstand wordt verkregen door de waterstand te nemen waarbij 5% van het omliggende maaiveld inundeert. Deze waarde voor de waterstand (Figuur 14) is voor de afwateringseenheden die snijden met het traject bepaald (zie Bijlage 1). Per afwateringseenheid kan met een tool in ArcMap genaamd AHNtools10 een percentage inundatie van het aangrenzende land worden vastgesteld door een waterstand in te voeren en die over een hoogte kaart te leggen. Met behulp van iteratie wordt dan de waterstand gevonden waarbij 5% van het omliggende maaiveld inundeert.



Figuur 14 - Maximale waterstand en bodemhoogte traject Kemperman – Bedelbrug

Het traject heeft vanaf de afvoer bij Bedelbrug enkele punten waarbij er laterale instroom plaatsvindt. Zo stromen de Kleine Beek (10%), Afwatering van de Hazenbrink (4%) en de Rode Beek (16%) in (Figuur 15). Bij het bovenstroomse waterpeil meetpunt Kemperman stroomt 70% van het totaal debiet het traject in. De aanname wordt gemaakt dat de percentages constant zijn.



Figuur 15 - Laterale instroom traject Kemperman – Bedelbrug, percentages van benedenstrooms debiet

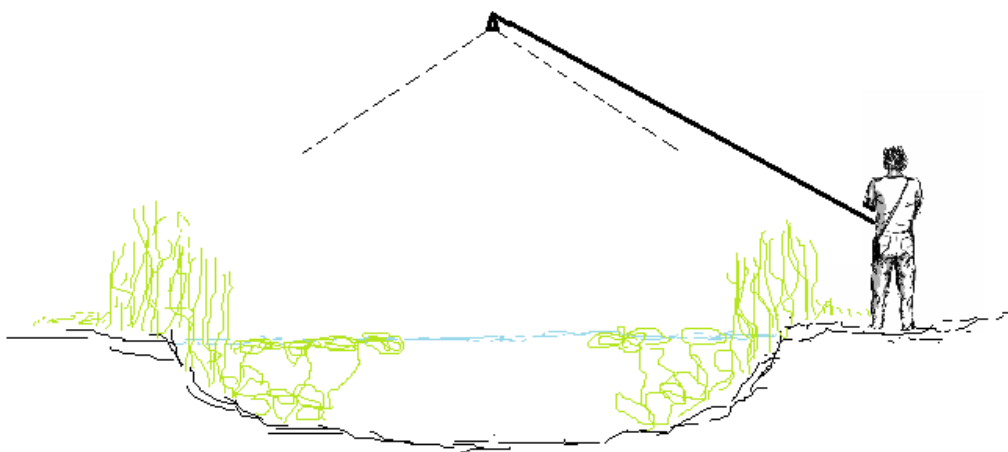
Het ontwerp van de Grote Beek is gebaseerd op een afvoer die 1 keer in de 10 jaar voorkomt, een zogenaamde T10 afvoer. Deze standaard is bepaald aan de hand van de het type landgebruik van het aanliggende land, in dit geval grasland (Provincie Gelderland, 2016). Een T10 afvoer correspondeert met een $10,48 \text{ m}^3/\text{s}$ debiet (Roelofs, 2017) benedenstrooms ter hoogte van stuw Bedelbrug.

2.5.2 Beschikbare gegevens

De volgende gegevens zijn beschikbaar voor het jaar 2016:

- Debiet voor stuw Bedelbrug, daggemiddelden
- Pijlmetingen bovenstrooms van stuw Bedelbrug, daggemiddelden
- Pijlmetingen benedenstrooms van stuw Kemperman, daggemiddelden
- Begroeiingsgraad schattingen

De begroeiingsgraad metingen zijn uitgevoerd door Pieter van Dijk (van Dijk, 2016) en zijn gemaakt met behulp van een GoPro camera bevestigd aan lange uitschuifbare stok (Figuur 16). Op een groot aantal punten langs het traject zijn foto's gemaakt waarmee met behulp van het programma Paint.net de begroeiingsgraad is geschat. Hieruit is een gemiddelde geschat voor het gehele traject.



Figuur 16 - Schematisatie begroeiingsgraad schattingen met behulp van een GoPro aan een lange stok

3 Gevoeligheidsanalyse Dottermodel

In dit hoofdstuk zal een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd voor het Dottermodel met de Grote Beek als uitgangspunt. De inzichten die hierbij verkregen worden zullen verderop in dit verslag gebruikt worden. Eerst zullen de parameters waarvoor de gevoeligheid wordt getoetst bepaald worden. Hierna zal de Ausgangssituatie geschetst worden, gevolgd door het opstellen van de ranges waarin de betreffende parameters gevarieerd zullen worden. Tot slot zal de uitkomst van de toetsing worden weergegeven.

3.1 Parameter keuze

Het Dottermodel voert de berekeningen uit op basis van een aantal inputparameters. Deze inputparameters volgen uit de formules waaruit het Dottermodel is opgesteld en zijn in te delen in twee groepen, watergangeigenschappen en vegetatie-eigenschappen. De watergang-eigenschappen bestaan uit de volgende parameters:

- Bodembreedte
- Verhang
- Benedenstroomse waterdiepte

De vegetatie-eigenschappen bestaan uit verschillende parameters:

- Groeisnelheid
- Maximale bedekkingsgraad
- Lengte van het groeiseizoen

Het begin van het groeiseizoen is ook van invloed op het maaimoment. Een vroege start van het groeiseizoen zal er voor zorgen dat maaionderhoud ook vroeg in het seizoen uitgevoerd dient te worden. Echter heeft deze parameter geen effect op de hoogte van waterstand, enkel op het moment dat deze bereikt wordt. Hierdoor zal deze parameter niet worden meegenomen in de gevoeligheidsanalyse.

3.2 Ausgangssituatie

Voor het uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse dient een Ausgangssituatie te worden vastgesteld. Iedere parameter zal onafhankelijk van de andere parameters worden gevarieerd. De invloed hiervan op de bovenstroomse waterstand zal worden vastgelegd en onderling vergeleken. De initiële waarden van de parameters die gevarieerd worden zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 - Parameterwaarden in Ausgangssituatie

Parameter naam	Parameter in Dottermodel	Initiële waarde
<i>Bodembreedte</i>	<i>b</i>	6,5 m
<i>Bodem verhang</i>	<i>i_b</i>	0,000253
<i>Benedenstroomse waterdiepte</i>	<i>h</i>	1,50 m
<i>Groeisnelheid</i>	<i>r</i>	0,07
<i>Maximale bedekkingsgraad</i>	<i>k</i>	0,7
<i>Lengte groeiseizoen</i>	—	4 maanden

Naast de parameters die gevarieerd worden voor de gevoeligheidsanalyse zijn er nog een aantal andere parameters die niet gevarieerd worden maar wel van belang zijn voor het gebruik van het Dottermodel. Zo wordt er niet gemaaid, wordt de vegetatie als homogeen beschouwd en heeft het traject een lengte van 3,28 kilometer. Het piekdebiet dat de watergang moet verwerken is vastgesteld op 10,48 m³/s. Verder heeft het talud een hellingshoek van 33,7 graden, is de bovenstroomse bodemhoogte vastgesteld op +5,96 mNAP en start het groeiseizoen in de maand april.

3.3 Variatie bepaling

De ranges waarin de parameters gevarieerd worden zijn gebaseerd op de variaties zoals die ook in de praktijk kunnen worden aangetroffen. Zo varieert de breedte van het traject van de Bedelbrug - Kemperman 1 meter. De mate van variatie die zal worden gebruikt voor de bodembreedte is vastgesteld op plus en min 10 en 5 procent ten opzichte van de uitgangssituatie.

Over de variatie in het verhang binnen één traject is binnen het Waterschap Rijn en IJssel weinig bekend. Echter is het gemiddelde verhang van een traject vrij nauwkeurig vast te stellen door metingen van de boven- en benedenstroomse bodemhoogte in combinatie met de lengte van het traject. Op basis van deze veronderstelling wordt het bodemverhang met plus en min 10 en 5 procent gevarieerd ten opzichte van de uitgangssituatie.

In de praktijk wordt de benedenstroomse waterdiepte veelal gestuurd door het laten zakken of ophalen van de stuwklep. Het bereik van de stuwklep is afhankelijk van het type stuw. De waterstand ter hoogte van Stuw Bedelbrug kan gevarieerd worden tussen de 1,1 meter en 1,5 meter diepte. Deze waarden zullen gebruikt worden voor de gevoeligheidsanalyse.

Over de maximale begroeiingsgraad van een watergang is weinig kennis beschikbaar. Dit wordt mede veroorzaakt doordat periodiek onderhoud aan de watergang plaatsvindt waardoor de vegetatie nooit haar maximale begroeiingspercentage zal bereiken. Door de variatie vast te stellen op plus en min 20, 15, 10 en 5 procent ten opzichte van de uitgangssituatie wordt een groot deel van de range bestreken. Ook de groeisnelheid van de vegetatie is een lastig vast te stellen parameter. Ook hiervoor zal een variatie van plus en min 20, 15, 10 en 5 procent ten opzichte van de uitgangssituatie gebruikt worden.

Voor de variatie in de lengte van het groeiseizoen is momenteel het Dottermodel een beperkende factor. In het model kan slechts de maand van de start van het groeiseizoen en het einde van het groeiseizoen worden aangegeven. Hierdoor is er gekozen om deze parameter met slechts plus en min één maand te variëren.

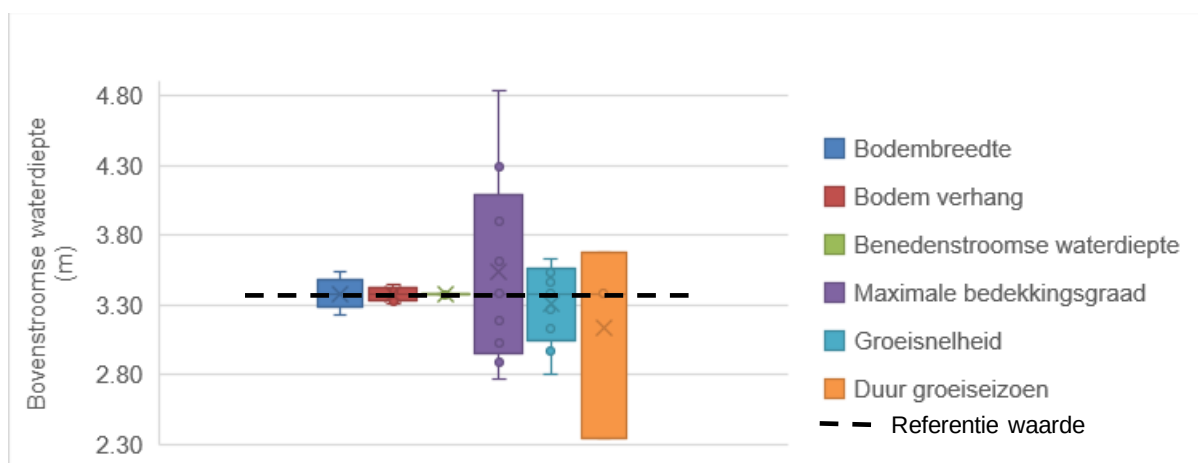
Een overzicht van de variantie is weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 - Overzicht parameter variantie

Parameter naam	Variantie
<i>Bodembreedte</i>	5,9 - 6,2 - 6,5 - 6,8 - 7,1
<i>Bodem verhang</i>	0,000228 – 0,000240 – 0,000253 – 0,000266 – 0,000278
<i>Benedenstroomse waterdiepte</i>	1,1 – 1,2 – 1,3 – 1,4 – 1,5
<i>Groeisnelheid</i>	0,056 – 0,06 – 0,063 – 0,067 – 0,07 – 0,073 – 0,077 – 0,08 – 0,084
<i>Maximale bedekkingsgraad</i>	0,56 – 0,6 – 0,63 – 0,67 – 0,7 – 0,73 – 0,77 – 0,8 – 0,84
<i>Lengte groeiseizoen</i>	4 – 5 – 6

3.4 Resultaten

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn weergegeven in Figuur 17. De referentie waarde is 3,35 m.



Figuur 17 - Overzicht invloed van variatie op bovenstroomse waterdiepte

Zoals te zien is in Figuur 17 hebben de watergangeigenschappen bodembreedte, bodemverhang en de benedenstroomse waterdiepte weinig invloed op de bovenstroomse waterdiepte. Wat juist opvalt, is de grote gevoeligheid van het Dottermodel voor de vegetatieparameters groeisnelheid, de duur van het groeiseizoen en de maximale bedekkingsgraad.

Uit de gevoeligheidsanalyse komt naar voren dat de vegetatieparameters waarmee het model het verloop van de stuwkromme berekent zeer veel invloed hebben op dit verloop. Het is dus belangrijk om tijd en aandacht te besteden aan het vaststellen van deze parameterwaarden. Echter dient opgemerkt te worden dat de duur van het groeiseizoen doorgaans weinig variatie vertoont en dus niet aannemelijk is dat deze één volledige maand zal variëren. Juist de parameter die moeilijk vast te stellen is, de maximale begroeiingsgraad, heeft veel invloed op het verloop van de bovenstroomse waterdiepte. Een uitgebreid overzicht van de invloed van de parametervariatie is te vinden in Bijlage 2.

4 Traject eigenschappen Grote Beek

In dit hoofdstuk zullen de aanwezige vegetatiesoorten in het traject Kemperman – Bedelbrug besproken worden. Ook is de distributie van deze verschillende vegetatie soorten van belang voor een representatieve modellering. De gegevens zijn verzameld door veldwerk uit te voeren. Tot slot worden de lay-out eigenschappen van het traject gegeven.

4.1 Vegetatie soorten

In het traject Kemperman – Bedelbrug zijn vier soorten vegetatie overheersend. Deze zullen ieder worden besproken van meest voorkomend naar minst voorkomend.

Gele Plomp is de meest overheersende vegetatiesoort aanwezig in het traject (Figuur 18). De Gele Plomp heeft grote elliptische drijfbladeren met gele bloemen die tot 10 cm boven het wateroppervlak kunnen uitsteken. Ook heeft de Gele Plomp vele ondergedoken bladeren die doorschijnend zijn (Flora van Nederland). Vooral deze ondergedoken bladeren zorgen voor een weerstand voor het passerende water. De drijfbladeren zijn verbonden met de wortelstok via dunne luchtkanalen die voor weinig weerstand zorgen.



Figuur 18 - Gele Plomp, drijfbladeren en ondergedoken bladeren duidelijk zichtbaar



Figuur 19 – links: Pijlkruid, rechts: Gele Plomp

Naast de Gele Plomp komt er in de Grote Beek vooral Pijlkruid voor (links op Figuur 19). Deze plant heeft enkele kleine drijfbladeren waarbij de vorm lijkt op een pijl. In stilstaand water kunnen deze bladeren zich ook tot enkele centimeters boven de waterlijn ontwikkelen. In stromend water ontwikkelt het Pijlkruid voornamelijk ondergedoken lijnvormige bladeren (Flora van Nederland). Deze bladeren zijn relatief slap en zullen onder invloed van stroming eenvoudig 'meewaaien'.

De soorten Gele Plomp en Pijlkruid zijn veruit de meest voorkomende soorten in het traject Kemperman – Bedelbrug. Gedurende het veldwerk zijn ook de soorten Watermunt en Sterrekroos aangetroffen. Echter was dit in zulke kleine hoeveelheden dat dit niet van invloed is op de opstuwing en weerstand. De taluds aan weerszijde van de beek zijn veelal bedekt met Riet of Liesgras.

4.2 Distributie van vegetatie

In het gehele traject is de vegetatie gelijkmatig verdeeld waarbij Gele Plomp en Pijlkruid elkaar afwisselen (Figuur 18 en Figuur 19). Echter is er een uitzondering. Over een lengte van 500 meter zijn begin 2017 de taluds versterkt. Hierbij is slib uit de watergang gebruikt om de ruimte tussen de nieuwe verstevigingen en het oude talud op te vullen. Het resultaat is dat over deze lengte van 500 meter nauwelijks vegetatie aanwezig is.



Figuur 20 - Links: Bijna volledig onbegroeide watergang, Rechts: Bijna volledige kaal talud

Omdat het onderhoud uitgevoerd is na afloop van het groeiseizoen in 2016 wordt de aanname gemaakt dat de vegetatie over het gehele traject homogeen verdeeld was. Echter voor de toetsing van maaistrategieën zal gebruik worden gemaakt van distributie zoals hierboven beschreven. Voor bepaling van de ruwheid zal de situatie in 2016 toegepast worden (homogene begroeiing) en voor de toetsing van de maaistrategieën zal de situatie in 2017 toegepast worden in het Dottermodel (niet homogene begroeiing).

4.3 Lay-out van traject

Een kort overzicht van alle trajecteigenschappen is weergegeven in tabel 4.

Tabel 4 - Lay-out eigenschappen traject Kemperman - Bedelbrug

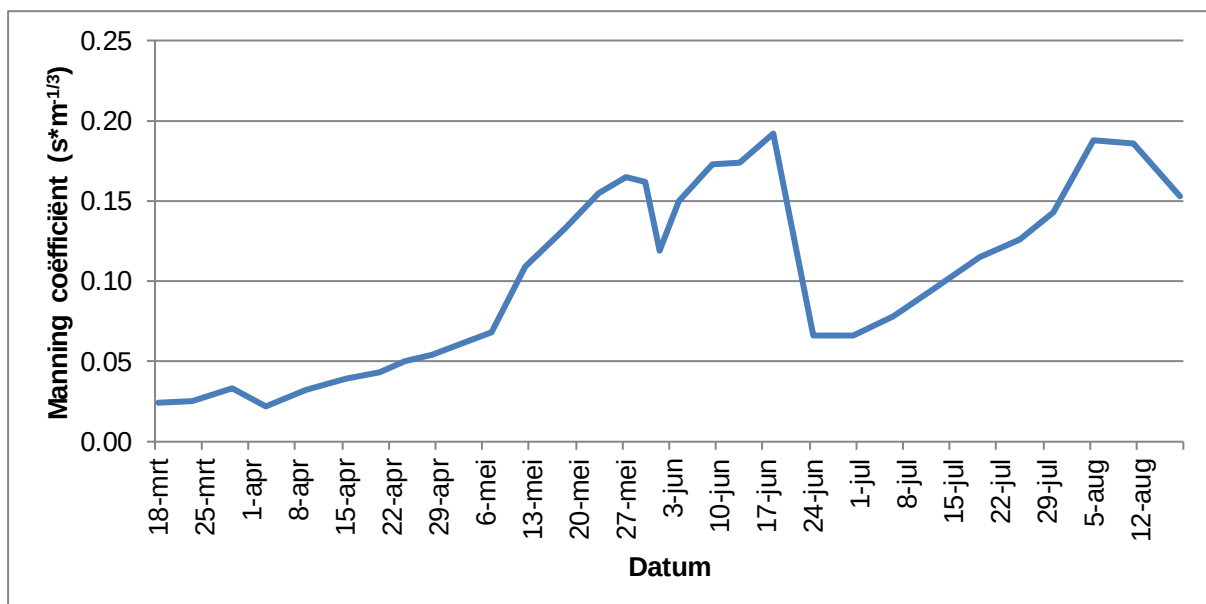
Parameter naam	Parameter in Dottermodel	Waarde
<i>Bodembreedte</i>	b	6 -7 m
<i>Bodem verhang</i>	i_b	0,000253
<i>Benedenstroomse waterdiepte</i>	h	1,10-1,50 m
<i>Lengte groeiseizoen</i>	—	5 maanden
<i>Maximale bedekkingsgraad</i>	k	0,7
<i>Groeisnelheid voor maaien</i>	r	0,07
<i>Talud hoek</i>		33,7
<i>Lengte traject</i>		3280 m

5 Opstellen groeicurve op basis van waargenomen ruwheidstoename

In dit hoofdstuk zal een groeicurve worden bepaald op basis van de metingen die verricht zijn in het jaar 2016. Het Dottermodel zoals weergegeven in Figuur 1 zal in omgekeerde richting worden toegepast. Allereerst zal de ruwheid over verloop van tijd worden bepaald met behulp van het verhanglijnmodel. Vervolgens zal deze ruwheid worden vertaald naar een begroeiingsgraad, met behulp van het begroeiing-ruwheidsmodel. Tot slot zal over het verloop in de tijd van deze begroeiingsgraad een groeicurve worden gefit, het vegetatie groeimodel.

5.1 Ruwheidsontwikkeling over groeiseizoen in 2016

Gebruikmakend van een itererend proces is met behulp van het Dottermodel de Manning coëfficiënt bepaald (Figuur 21). Deze Manning n waarde is een gemiddelde waarde voor het gehele traject. In de bepaling van de Manning coëfficiënt is ook rekening gehouden met de laterale instroom. Door de gemodelleerde bovenstroomse waterstand te fitten aan de gemeten waterstand, met als uitgangspunt een homogene ruwheid, zijn de waardes zoals weergegeven in Figuur 21 bepaald.



Figuur 21 - Manning coëfficiënt bepaald met behulp van het Dottermodel op basis van de beschikbare gegevens van het traject Kemperman – Bedelbrug in 2016

Het maaien van de stroombaan op 19-20 juni is duidelijk terug te zien in de forse daling in Manning coëfficiënt. Echter het maaien van het talud op 28 juli is niet terug te zien in de ruwheid van de beek. Dit kan verklaard worden door de lage waterstand in die periode van het jaar (0,8 m). Hierdoor heeft het maaien van het talud geen direct effect, mogelijk is er wel effect zodra de waterstand toeneemt. Rond 1 juni vond er een heftige regenbui plaats in het gebied waardoor de afvoer sterk toenam. Het effect van de piekafvoer, te zien in Figuur 21, is dat de gemiddelde ruwheid in de beek tijdelijk afneemt. Dit kan verklaard worden door twee factoren. Ten eerste kan de ruwheidsafname verklaard worden door het meebuigen van de

vegetatie door de toename van het debiet en daarmee een stijging van de stroomsnelheid (Verschoren et al., 2015). Ten tweede neemt de gemiddelde ruwheid in de beek af door een verhoogde waterstand dat leidt tot een toename in het doorstroomprofiel. Door het plotseling stijgen van de waterstand overstroomt de aanwezige vegetatie. Dit effect is echter afhankelijk van het type vegetatie.

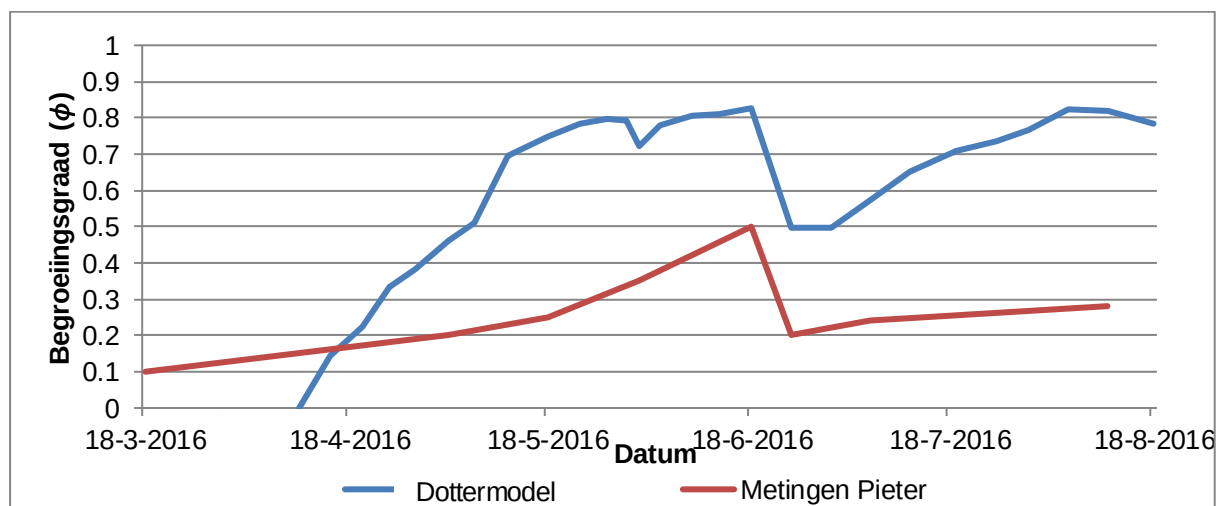
De waargenomen waarden van de Manning coëfficiënt variëren tussen de 0,02 en 0,20 $\text{s m}^{-1/3}$. In de literatuur is veel te vinden over Manning coëfficiënt metingen in het veld. Zo verrichten De Doncker et al. (2009) metingen in de rivier de Aa in België over een traject van 1,4 kilometer. Aan de hand van de Manning vergelijking en de Bresse methode werd de Manning coëfficiënt bepaald. Hierbij vonden ze waarden die varieerden van 0,05 tot 0,55 $\text{s m}^{-1/3}$ gedurende een groeiseizoen.

Ook Verschoren et al. (2017) hebben veldmetingen verricht. Zij deden dit in de Zwarte Nete en de Desselse Nete, beide gelegen in België. Voor de bepaling van de Manning coëfficiënt gebruikten zij 3 methoden: één op basis van bedekkingsgraad van het wateroppervlak, één op basis van biomassametingen en één op basis van de Manning vergelijking. Verschoren et al. vonden waardes variërend tussen 0,03 en 0,26 $\text{s m}^{-1/3}$ voor de methode op basis van de Manning vergelijking. Waardes op basis van de biomassa metingen tussen 0,03 en 0,20 $\text{s m}^{-1/3}$ en waardes variërend tussen 0,02 en 0,30 $\text{s m}^{-1/3}$ voor de bepaling op basis van bedekkingsgraad.

Hieruit kan worden opgemaakt dat een de Manning coëfficiënt veelal varieert tussen 0,02 en 0,55 $\text{s m}^{-1/3}$. Een range die goed overeenkomt met de Manning coëfficiënt range bepaald voor het traject Kemperman – Bedelbrug.

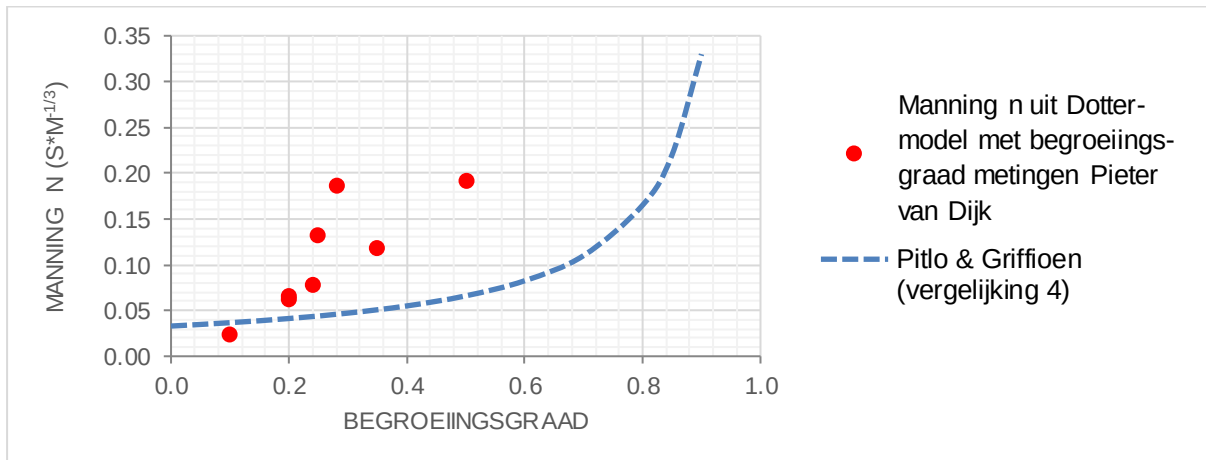
5.2 Vertaling van ruwheid naar begroeiingsgraad

Voor het bepalen van de begroeiingsgraad aan de hand van de Manning coëfficiënt maakt het Dottermodel gebruik van de relatie die Pitlo en Griffioen vonden naar aanleiding van veldmetingen (Vergelijking 4). Wanneer deze vergelijking toegepast wordt op de in Hoofdstuk 5.1 bepaalde waarden voor de Manning coëfficiënt en vergeleken wordt met de veldmetingen uitgevoerd door Pieter van Dijk (zie paragraaf 2.5.2) in opdracht van Waterschap Rijn en IJssel toont deze weinig overeenkomst. Er is sprake van een grove overschatting indien gebruik gemaakt wordt van de vergelijking van Pitlo en Griffioen (Vergelijking 4) in het Dottermodel (Figuur 22).



Figuur 22 - Begroeiingsgraad op basis van Pitlo & Griffioen en veldmetingen

Wanneer de begroeiingsgraad uitgezet wordt tegen de Manning coëfficiënt voor de metingen van Pieter van Dijk en de Pitlo & Griffioen vergelijking wordt de overschatting duidelijk zichtbaar (Figuur 23). Voor gelijke waarden van de Manning coëfficiënt worden door Pitlo & Griffioen hogere begroeiingsgraden geschat vergeleken met de waarnemingen door Pieter van Dijk. De relatie opgesteld door Pitlo & Griffioen lijkt dus niet geschikt voor toepassing in het traject Kemperman – Bedelbrug.

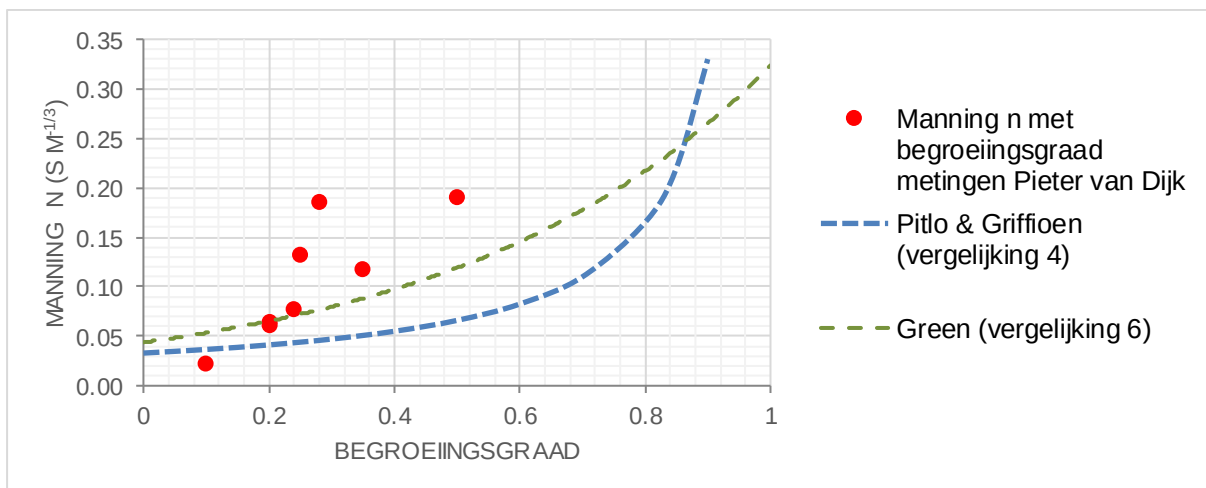


Figuur 23 - De Manning coëfficiënt uitgezet tegen de begroeiingsgraad met hierin de Pitlo & Griffioen vergelijking en de veldmeting uitgevoerd door Pieter van Dijk

Een mogelijkheid is om een andere vergelijking te gebruiken die het verband beschrijft tussen de gemeten Manning coëfficiënt en de begroeiingsgraad (Figuur 24). Verschoren et al. bepaalde op basis van een groot aantal veldmetingen uitgevoerd door Green (Green, 2005) een relatie tussen de Manning coëfficiënt en de begroeiingsgraad van het wateroppervlakte (Verschoren, et al., 2017, p. 30):

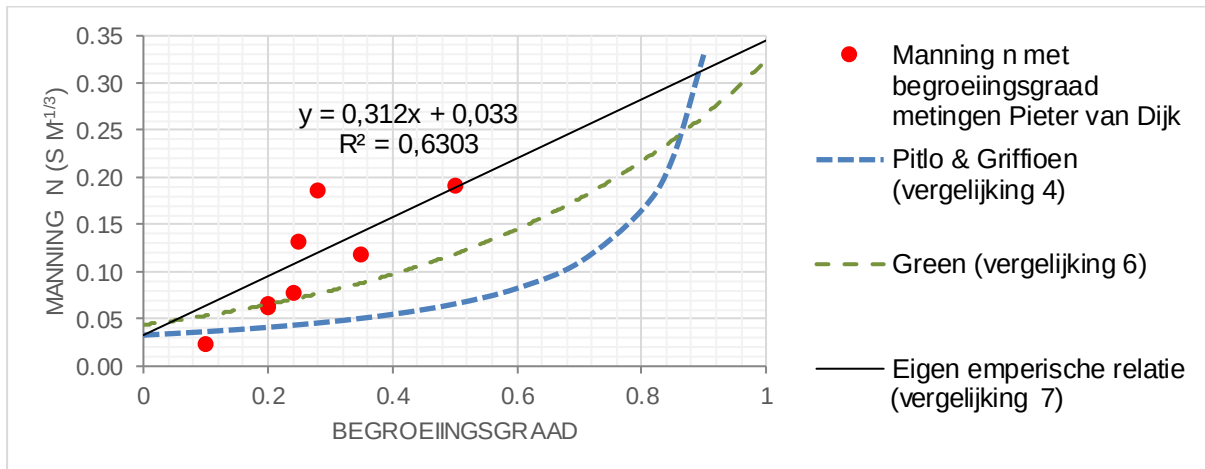
$$n = 0.0438 \exp (2.00 * \phi) \quad (6)$$

Hierbij dient echter wel opgemerkt te worden dat de door Verschoren et al. opgestelde relatie geen rekening houdt met de vegetatie samenstelling en de verticale en horizontale verdeling van de vegetatie. Dit geldt ook voor de relatie opgesteld door Pitlo & Griffioen.



Figuur 24 - De Manning coëfficiënt uitgezet tegen de begroeiingsgraad met hierin de Pitlo & Griffioen vergelijking, de vergelijking van Green en de veldmeting uitgevoerd door Pieter van Dijk

Zowel de vergelijking van Green als die van Pitlo & Griffioen zijn empirische vergelijkingen. De omstandigheden waaronder deze vergelijkingen zijn samengesteld zullen afwijken van de situatie in de Grote Beek. Een mogelijkheid om het verband tussen de Manning coëfficiënt en de begroeiingsgraad te bepalen voor de Grote Beek is door gebruik te maken van de metingen gedaan door Pieter van Dijk. Hieruit kan een eigen empirische relatie bepaald worden (Figuur 25).



Figuur 25 - Opstellen van eigen empirische relatie tussen de Manning coëfficiënt en de begroeiingsgraad

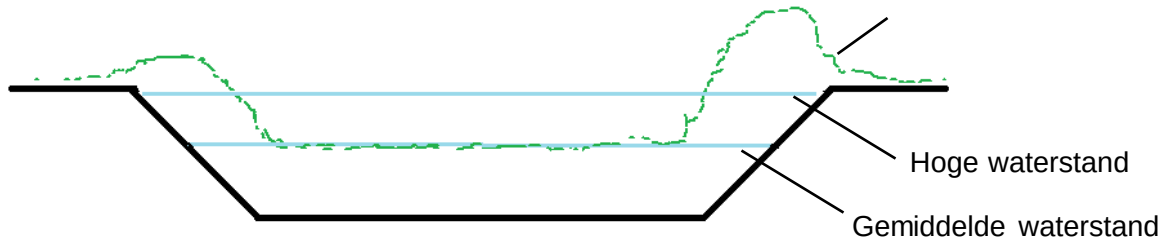
Bij het opstellen van de empirische relatie is gekozen om gebruik te maken van de vele metingen uitgevoerd door Pitlo & Griffioen waarbij gevonden is dat een onbegroeide watergang een Manning coëfficiënt heeft van 0,033 (Pitlo & Griffioen, 1991). Hieruit volgt dan de volgende vergelijking:

$$n = 0.312 * \phi + 0.033 \quad (7)$$

De relatie tussen de Manning coëfficiënt en de begroeiingsgraad waargenomen door Pieter van Dijk vertoont echter geen goede fit, de R^2 -waarde bedraagt slecht 0,6303 (Figuur 25). Mogelijk is de keuze voor een lineaire vergelijking niet de juiste geweest.

Het is echter voor de hand liggender dat de weerstand in een watergang niet enkel afhankelijk van de begroeiingsgraad. Bij hoge stroomsnelheden zal de weerstand afnemen door het “meewaaïen” van de vegetatie (Verschoren, et al., 2015). Deze herconfiguratie van vegetatie heeft een groter vrij doorstromingsoppervlak tot gevolg. De mate van het “meewaaïen” van de vegetatie is afhankelijk van het type vegetatie. Voor de twee dominante soorten, Gele Plomp en Pijlkruid, is dit waarschijnlijk wel van toepassing. De ondergedoken bladeren van de Gele Plomp zijn zeer flexibel en zullen onder invloed van toenemende stroming vervormen. De ondergedoken bladeren van het Pijlkruid zullen eenvoudig buigen. Voor riet en liesgras is dit echter minder het geval. Het afnemen van de weerstand door toenemende stroomsnelheden is hierdoor niet van toepassing op alle aanwezige vegetatiesoorten.

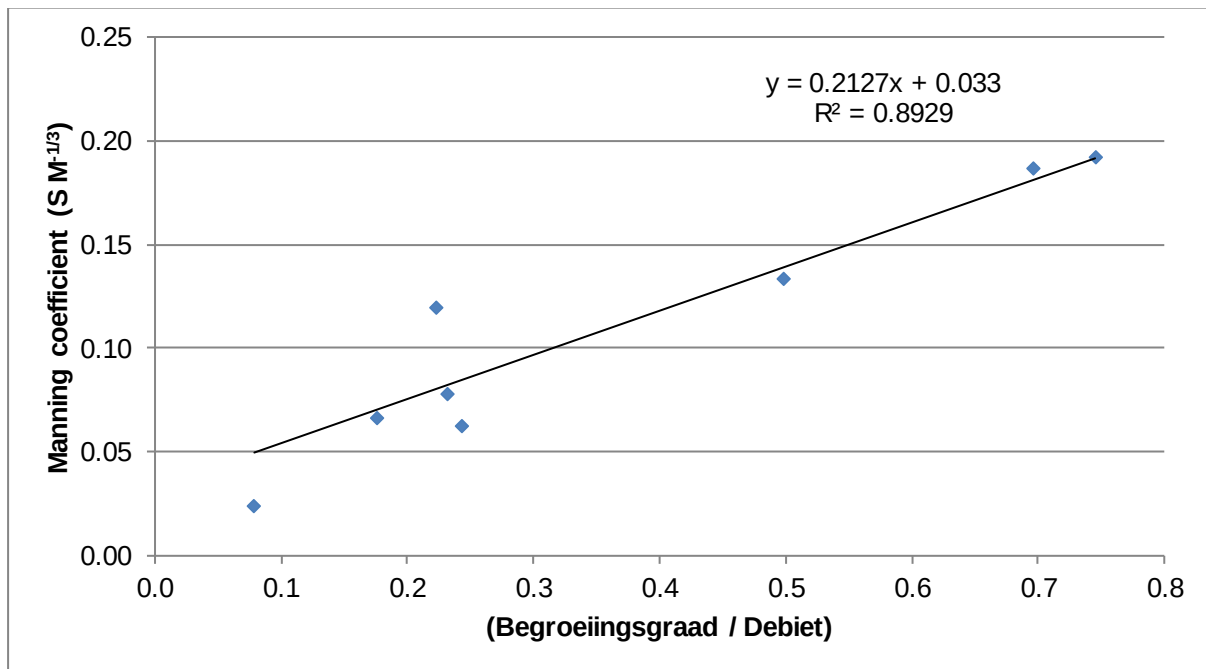
Ook zal de gemiddelde weerstand in de watergang afnemen doordat de vegetatie overstroomt (Figuur 26). Tijdens een periode van hoogwater zal de aanwezige vegetatie een kleiner percentage innemen van het doorstroomoppervlak. De vegetatie aanwezig in het traject Kemperman – Bedelbrug groeit enkel tot aan het wateroppervlak. Uitgezonderd voor het riet en liesgras op het talud, dit groeit wel tot boven de waterspiegel.



Figuur 26 - Overstroming van vegetatie en toename van het vrije doorstroomoppervlak

Het is aannemelijk dat de Manning coëfficiënt niet enkel afhankelijk is van de begroeiingsgraad maar ook van het doorstroomoppervlak en de stroomsnelheid. Deze twee laatste termen vormen samen het debiet. Indien het debiet wordt meegenomen in de relatie tussen de Manning coëfficiënt en de begroeiingsgraad door de begroeiingsgraad te delen door het debiet ontstaat de vergelijking (Figuur 27):

$$n = 0.033 + 0.2127 * \left(\frac{\phi}{Q}\right) \quad (8)$$

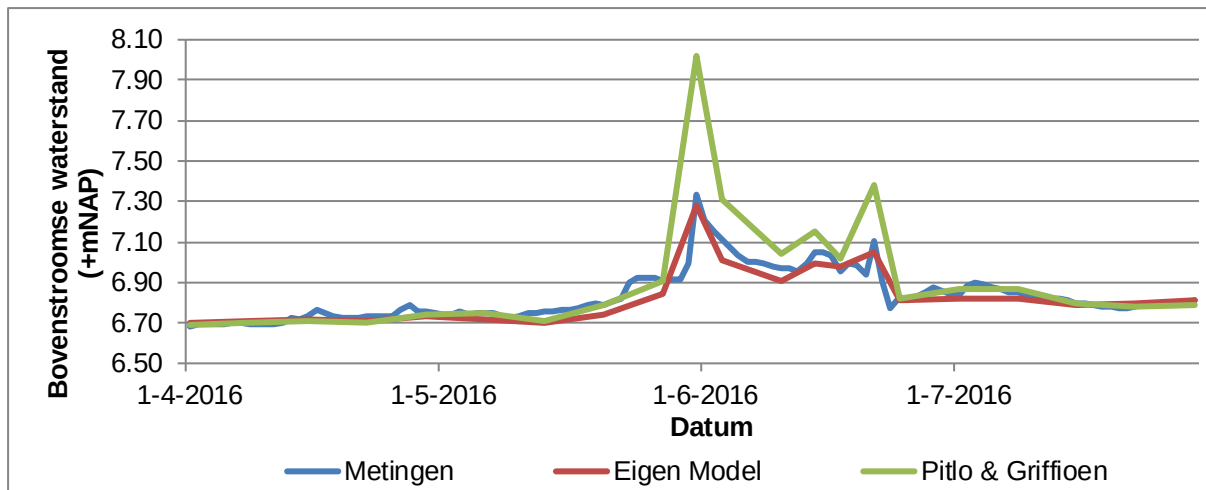


Figuur 27 - Relatie tussen de Manning coëfficiënt en de begroeiingsgraad/ debiet

Deze relatie vertoont een betere fit ($R^2 = 0,8929$) in vergelijking met de eerder opgestelde relatie waarbij het debiet niet wordt meegenomen (Vergelijking 7). Hier dient echter te worden opgemerkt dat de opgestelde relatie gebaseerd is op een klein aantal metingen en enkel geldig is voor het traject Kemperman – Bedelbrug. Ook dient vermeld te worden dat deze relatie enkel geldig is bij een snel toenemende waterstand. In geval van een geleidelijk toenemende waterstand zal de vegetatie niet overstromen maar meegroeien met de langzaam stijgende waterstand.

Het doel van het model is de waterstand modelleren aan de hand van de opgelegde begroeiingsgraad met behulp van het vegetatie groeimodel. In Figuur 28 zijn de gemeten waterstanden uitgezet tegen de gemodelleerde waterstanden. Hierin is te zien dat ten tijde

van een snel toenemende bovenstroomse waterstand, veroorzaakt door een piek in de afvoer, het eigen model (Vergelijking 8) beter overeenkomt met de gemeten waterstanden in vergelijking met het model van Pitlo & Griffioen (Vergelijking 4).



Figuur 28 - De gemeten waterstand, de waterstand gemodelleerd met Pitlo & Griffioen (Vergelijking 4) en de waterstand gemodelleerd met de eigen vergelijking (Vergelijking 8)

Omdat de maaistrategieën gericht zijn op enkel de Grote Beek en in geval van een plotselinge piekafvoer, zal gebruik gemaakt worden van de eigen vergelijking. Deze relatie (Vergelijking 8) wordt in het Dottermodel toegepast.

5.3 Groeicurve fitten aan begroeiingsgraad

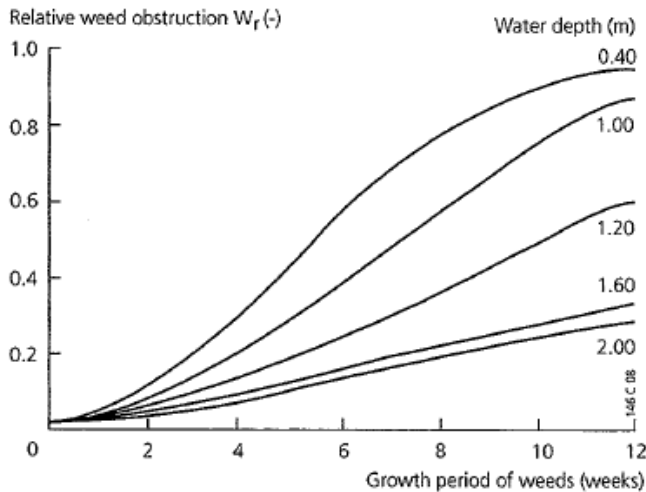
Het fitten van de Malthusiaanse groeicurve aan de hierboven bepaalde begroeiingsgraad-ontwikkeling zal gebeuren per 'onverstoord' tijdspad. Met een 'onverstoord' tijdspad wordt hier bedoeld een groeiperiode die niet wordt verstoord door het maaien van de watergang. In de situatie van het traject Bedelbrug – Kemperman is het groeiseizoen hiermee op te splitsen in twee perioden:

1. Van 9-4-2016 tot 18-6-2016
2. Van 24-6-2016 tot 5-8-2016

Tussen periode 1 en 2 vindt het maaien van de watergang plaats. Hierbij wordt een ruime hersteltijd toegepast vanwege het achterblijvende maaisel dat over verloop van een aantal dagen wordt afgevoerd door het onderhoudsteam. Door het ophalen van de stuwklep bij stuw Kemperman en daarna snel verlagen van dezelfde stuwklep ontstaat er tijdelijke verhoging van het debiet.

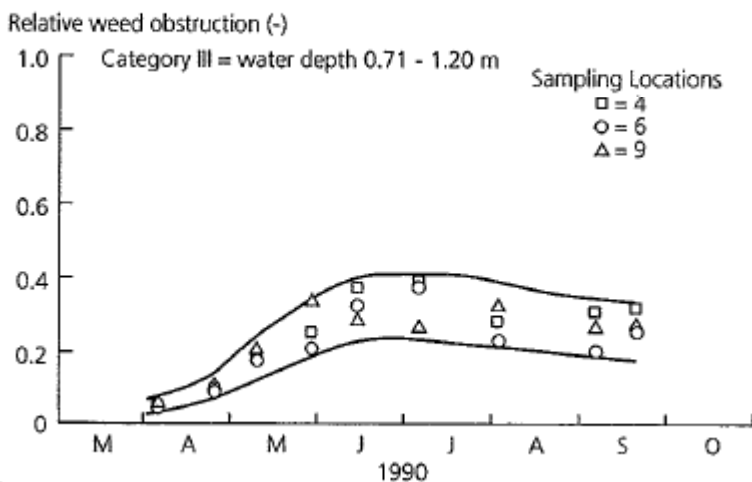
Maximale begroeiingsgraad

Omdat de maximale begroeiingsgraad in de Grote Beek nooit gehaald wordt door periodiek onderhoud aan de watergang kan op basis van de meetgegevens niet de maximale begroeiingsgraad bepaald worden. Radermacher (1970) deed onderzoek naar de relatieve vegetatie-obstructie in watergangen. Hierbij vond hij een relatie tussen de gemiddelde waterdiepte van een watergang en de relatieve vegetatie-obstructie (Figuur 29). Hieruit komt naar voren dat de waterdiepte invloed heeft op de groeisnelheid van de vegetatie. Door deze variatie in groeisnelheid is na 12 weken een grote variatie ontstaan in de begroeiingsgraad.



Figuur 29 - Vegetatieontwikkeling afhankelijk van de waterdiepte met een bodembreedte van 0,6 m en een bodemhelling van 0,05% (Radermacher, 1970)

Ook Querner deed onderzoek naar de invloed van de diepte van de watergang op de maximale begroeiingsgraad (Querner, 1993). Hierbij vond hij voor dieptes variërend tussen 0,71 en 1,20 m waarden die niet groter waren dan 0,4 relatieve vegetatieobstructie (Figuur 30). Querner voerde zijn veldwerk uit in 1990 in het huidige beheersgebied van Waterschap Vechtstromen.



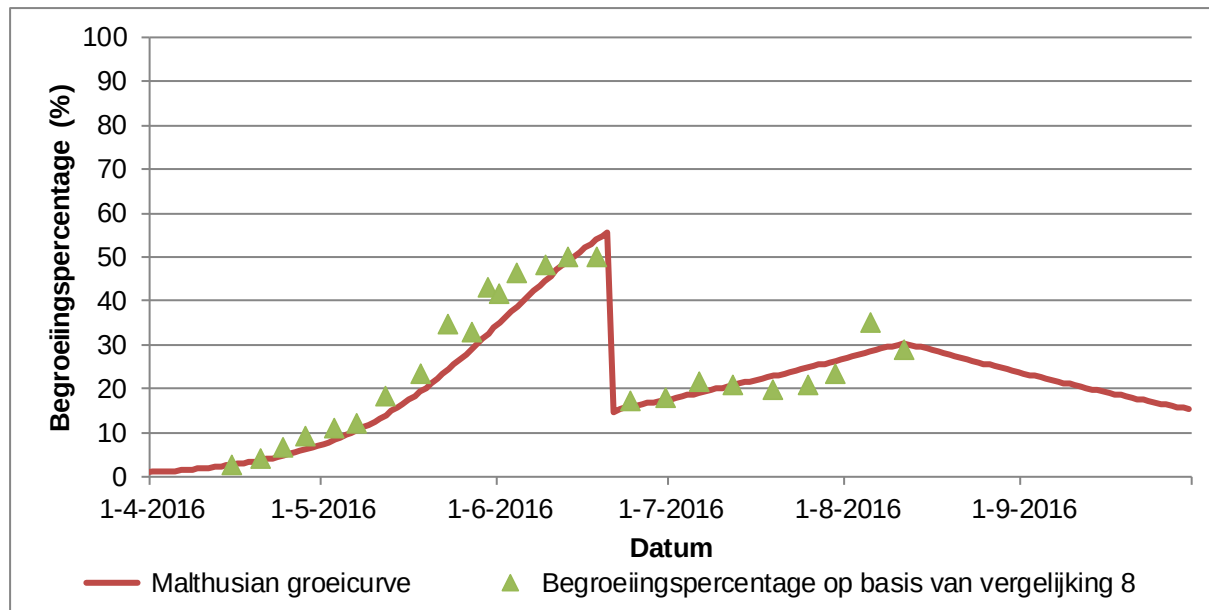
Figuur 30 - Veldmetingen Querner voor watergangen met een diepte tussen de 0.71 en 1.20 m

Voor zowel het onderzoek van Radermacher als het onderzoek van Querner dient opgemerkt te worden dat de vegetatiesoorten mogelijk verschillend zijn aan die van de vegetatiesoorten in dit onderzoek. In beide onderzoeken zijn de groeiomstandigheden niet gedocumenteerd, deze zullen waarschijnlijk anders zijn in vergelijking met dit onderzoek. De bevindingen van Radermacher en Querner dienen met enige voorzichtigheid toegepast te worden. De bevindingen van Radermacher en Querner zijn voorgelegd aan het onderhoudsteam, naar aanleiding van dit gesprek is ervoor gekozen om de maximale begroeiingsgraad (k) een waarde te geven van 0,7.

Groeisnelheid

Met behulp van een Excel rekensheet is de groeisnelheid bepaald voor de twee genoemde perioden. Voor een aantal momenten gedurende het groeiseizoen is met behulp van het

Dottermodel de Manning n coëfficiënt bepaald. Vervolgens is als maximale begroeiingsgraad 0,7 toegepast en gebruik gemaakt van Vergelijking 8, die de relatie tussen de Manning coëfficiënt en de begroeiingsgraad gedeeld door het debiet beschrijft.



Figuur 31 - Resultaat van het fitten van een groeicurve

Het resultaat van de fit van de Mathusiaanse groeicurve is weergegeven in Figuur 31. De bepaalde groeisnelheid (r) is variabel per sectie. Voor sectie 1 is deze 0,07 en voor sectie 2 0,02 (Tabel 5).

Tabel 5 – Groeisnelheid en juistheid van fit van de verschillende secties

	van	tot	Groeisnelheid	R^2
Sectie 1	9-4-2016	18-6-2016	0,07	0,98
Sectie 2	24-6-2016	5-8-2016	0,02	0,65

De mate van juistheid van de fit is bepaald door de R^2 te bepalen. Voor sectie 1 is de R^2 -waarde hoog, wat een goede fit betekent (Tabel 5). Voor sectie 2 toont de fit een mindere overeenkomst. Wat opvalt, is dat na het maaien de vegetatie nauwelijks meer toeneemt. Verandering in groeiomstandigheden is een mogelijke verklaring. Ook is het mogelijk dat er een herstel periode van kracht is met betrekking tot de teruggroei.

6 Toetsing maaistrategieën

In dit hoofdstuk zullen diverse maaistrategieën getoetst worden. Dit gebeurt op twee aspecten, de waterveiligheid en de ecologische waarde. Voor de waterveiligheid wordt er getoetst op de maximaal toelaatbare waterstand (Figuur 14) en voor de ecologische waarde op de gemiddelde begroeiingsgraad over het groeiseizoen. Eerst zullen de maaistrategieën opgesteld worden, gevolgd door de toetsing op de twee aspecten. En tot slot een onzekerheidsanalyse van de meeste geschikte maaistrategie.

6.1 Bepaling maaistrategieën

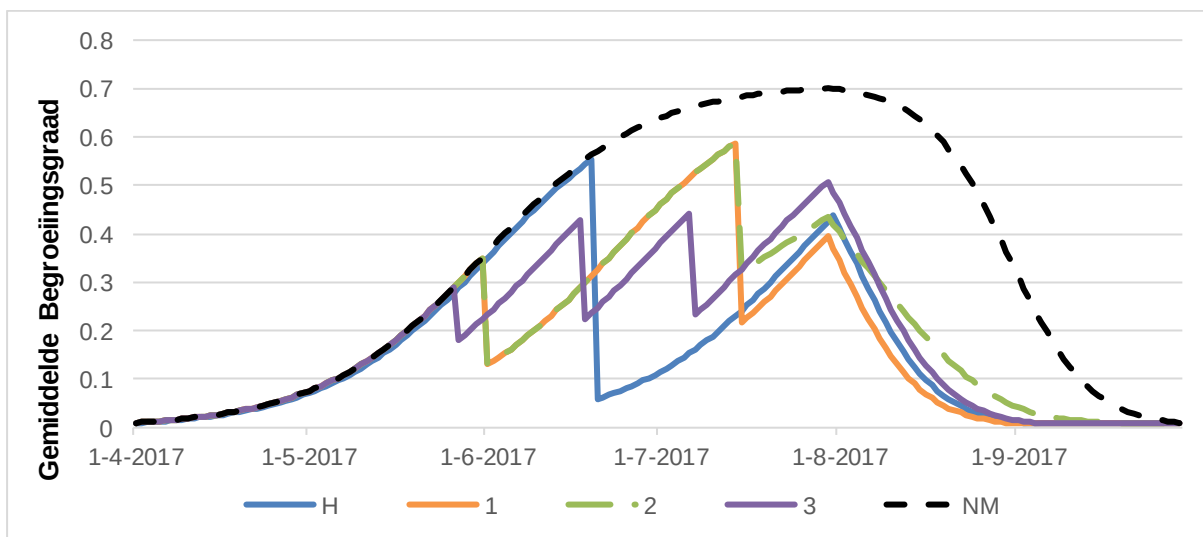
Het opstellen van verschillende maaistrategieën is uitgevoerd door te variëren in de methode en variatie in het moment van maaien. Het maaien van het talud wordt uitgevoerd om de watergang winterklaar te maken. Dit schonen van het talud heeft geen direct invloed op de ruwheid omdat het deel van de vegetatie dat gemaaid wordt zich boven de waterlinie bevindt. Bij hoge afvoeren is het mogelijk dat de effecten wel waarneembaar zijn. Vanwege de homogene verdeling over bijna het gehele traject zal de methode “gericht maaien” niet worden toegepast.

Tabel 6 – Maaistrategieën en toelichting

Maaistrategie	Maaimoment	Maaimethode	Schematisatie/ Opmerkingen
H (strategie 2016)	19 juni	Stroombaanmaaien, 100% bodembreedte, gehele traject	
	28 juli	Maaaien 1 talud	
1 Gebaseerd op geplande maai-strategie in 2017 (zie Bijlage 3)	1 juni	Stroombaanmaaien, 75 % bodembreedte, gehele traject	
	15 juli	Stroombaanmaaien, 75 % bodembreedte, gehele traject + 1 talud	
	1 september	Gehele watergang schonen	Groeiseizoen ten einde
2	1 juni	Stroombaanmaaien, 75 % bodembreedte, gehele traject	
	15 juli	Stroombaanmaaien, 75 % bodembreedte, halve traject benedenstrooms	
	1 september	Gehele watergang schonen	Groeiseizoen ten einde

3	27 mei	Stroombaanmaaïen, 60 % bodembreedte, gehele traject	
	18 juni	Stroombaanmaaïen, 60 % bodembreedte, gehele traject	
	7 juli	Stroombaanmaaïen, 60 % bodembreedte, gehele traject	
NM	Niet maaïen		

De maaistrategieën hebben verschillende uitwerking op het verloop van de begroeiings-graad over het groeiseizoen (Figuur 32).



Figuur 32 - Verloop begroeiingsgraad onder invloed van de verschillende maaistrategieën

6.2 Toetsing waterveiligheid

Voor de toetsing van de waterveiligheid wordt de waterstand die het Dottermodel produceert bij een T10 afvoer van 10,48 m³/s ter hoogte van stuw Bedelbrug. Omdat het omliggende land van 150 meter tot 1600 meter benedenstrooms van stuw Kemperman zeer gevoelig voor inundatie is het Waterschap Rijn en IJssel ook geïnteresseerd in een scenario waarbij er een bergingsgebied bovenstrooms wordt gecreëerd. Dit bergingsgebied zal ervoor zorgen dat de T10 afvoer afneemt met 15% of 25%, afhankelijk van het ontwerp van het bergingsgebied. De toetsing zal voor elke maaistrategie plaatsvinden voor drie situatie: met de huidige T10 afvoer (10,48 m³/s), 15% afname van de T10 afvoer door bergingsgebied (8,9 m³/s) en 25% afname van de T10 afvoer door bergingsgebied (7,9 m³/s).

Bij de toetsing wordt bepaald voor hoeveel dagen per jaar de afvoercapaciteit onvoldoende groot is. Hiervoor wordt de gemodelleerde waterstand over het traject getoetst aan de maximaal toelaatbare waterstand. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7 - Resultaten toetsing maaistrategieën op waterveiligheid

Maaistrategie	Bergingsgebied toegepast	Aantal dagen onvoldoende afvoercapaciteit
H	Nee	365
	Ja, 15%	123
	Ja, 25%	70
1	Nee	365
	Ja, 15%	121
	Ja, 25%	81
2	Nee	365
	Ja, 15%	133
	Ja, 25%	93
3	Nee	365
	Ja, 15%	127
	Ja, 25%	91
NM	Nee	365
	Ja, 15%	151
	Ja, 25%	117

Wat opvalt, is dat geen enkele maaistrategie verbetering brengt indien er geen bergingsgebied wordt ingericht. Dit betekent dat de afvoercapaciteit ook zonder begroeiing onvoldoende is bij T10. Een mogelijke verbetering is dus het inrichten van een bergingsgebied. Een andere mogelijkheid is het ophogen van de taluds ter hoogte van het laag liggende maaiveld (Figuur 14). Een laatste mogelijkheid is het aankopen van zogenaamde inundatie rechten. Met de landeigenaren kan een compensatieregeling worden getroffen ten tijde van inundatie. Omdat het knelpunt van het traject Kemperman – Bedelbrug zich beperkt tot twee of drie landeigenaren is dit in potentie een zeer effectieve maatregel.

6.3 Toetsing ecologische waarde

Aan de hand van de begroeiingspercentages over het groeiseizoen (Figuur 32) is een gemiddelde bepaald voor het gehele groeiseizoen (Tabel 8).

Tabel 8 - Gemiddelde begroeiingsgraad verschillende maaistrategieën

	H	1	2	3	NM
Gemiddelde begroeiingsgraad	0,16	0,17	0,20	0,18	0,36

Kijkend naar criteria opgesteld in Hoofdstuk 2.4 kan worden geconcludeerd dat het wenselijk is om een constante begroeiingsgraad te creëren zonder hoge en lage pieken. Maaistrategie 3 pas het beste bij deze criteria, gevolgd door maaistrategie 1.

7 Toepassing groeicurve op Grote Beek

De in Hoofdstuk 5 opgestelde groeicurve is bepaald enkel aan de hand van de gegevens die beschikbaar zijn voor het traject Kemperman – Bedelbrug. Als verificatie kunnen de gegevens die beschikbaar zijn voor het bovenstroomse traject, Broekstraat – Kemperman worden gebruikt.

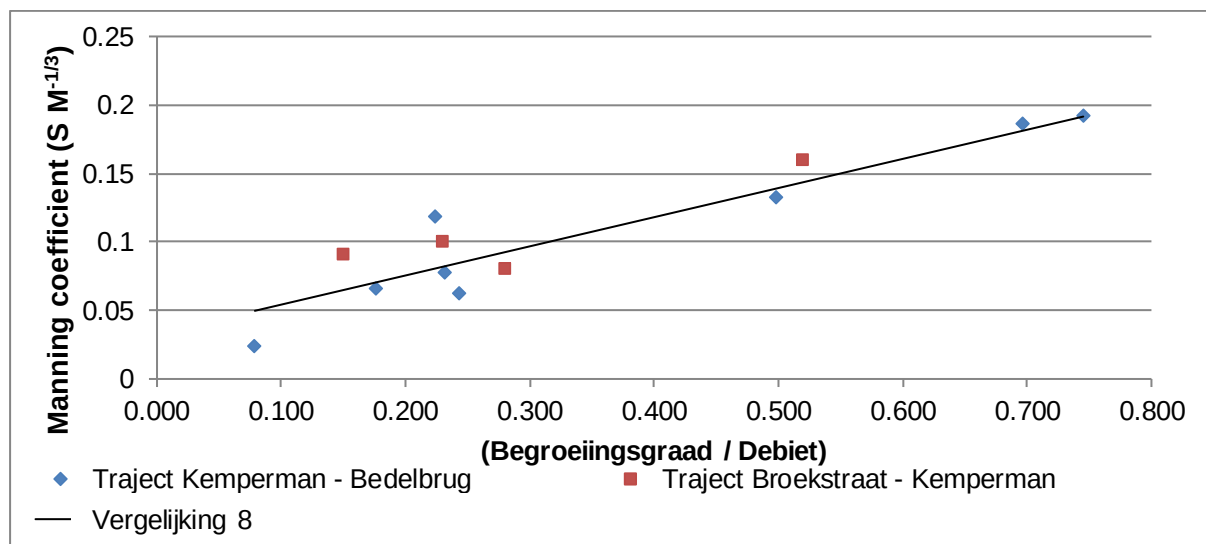
De situatie in het traject Broekstraat – Kemperman is bijna gelijk aan de situatie Kemperman – Bedelbrug (Tabel 9).

Tabel 9 - Eigenschappen traject Kemperman - Bedelbrug en traject Broekstraat - Kemperman

Parameter naam	Kemperman - Broekstraat	Broekstraat – Kemperman
Bodembreedte	6 - 7 m	6 - 5 m
Bodem verhang	0,000253	0,000291
Benedenstroomse waterdiepte	1,10 – 1,50 m	1,0 – 1,35 m
Talud hoek	33,7	33,7
Lengte traject	3280 m	2760 m

Ook de vegetatie soorten die voorkomen zijn vergelijkbaar, Gele Plomp en Pijlkruid zijn de meest voorkomende soorten.

Allereerst is de Manning coëfficiënt bepaald voor de dagen waarop begroeiingsgraad metingen zijn verricht, hiervoor is gebruik gemaakt van het Dottermodel. Net als in Figuur 27 zijn de Manning n waarden uitgezet tegen de begroeiingsgraad gedeeld door het debiet (Figuur 33).



Figuur 33 - Relatie tussen de Manning coëfficiënt en de begroeiingsgraad/ debiet voor zowel traject Kemperman - Bedelbrug als traject Broekstraat - Kemperman

Figuur 33 toont aan dat vergelijking 8 ook grote overeenkomst vertoont met de relatie tussen de Manning coëfficiënt en de begroeiingsgraad/ debiet voor het traject Broekstraat – Kemperman. Waarschijnlijk is de opgestelde vergelijking (Vergelijking 8) breder toepasbaar dan enkel voor het traject Kemperman – Bedelbrug.

8 Discussie

In vergelijking met het MaaibOS voegt het Dottermodel de mogelijkheid toe om de waterstand onder invloed van vegetatiegroei voor een geheel groeiseizoen te modelleren. Hierdoor zou het Dottermodel in de toekomst gebruikt kunnen worden voor het plannen van maaionderhoud. Echter kost het toepassen van het Dottermodel voor één watergang nu nog zeer veel tijd omdat er weinig bekend is over groeicurves en effecten van verschillende maaistrategieën.

Het bepalen van de groeicurve is een proces waarbij veel aannames gedaan moeten worden. Deze aannames, en het gebrek aan uitgebreide datasets leiden tot een grote onzekerheid in de bepaling van de ruwheid en daarmee in de gemodelleerde waterstand. Zo heeft de continue debiet meting een onbekende onzekerheid. Indien de continue debietmeting een overschatting is van het daadwerkelijke debiet zal de gevonden ruwheid een onderschatting zijn met als gevolg een onderschatting van de gemodelleerde waterstand. Andersom geldt hetzelfde, indien het debiet onderschat wordt zal dit tot een overschatting van de gemodelleerde waterstand leiden. Ook de continue waterstand meting bovenstrooms heeft een onbekende onzekerheid. Een overschatting in de continue waterstand meting bovenstrooms heeft een overschatting in de ruwheid tot gevolg. Deze overschatting in de ruwheid leidt tot een overschatting van de gemodelleerde waterstand. Een overschatting in de benedenstroomse continue waterstand meting heeft juist een omgekeerd effect bij de bepaling van de ruwheid. Een aanname in dit onderzoek is geweest dat na maaionderhoud de vegetatie dezelfde groeisnelheid heeft als voor het maaionderhoud. Echter is dit een conservatieve aanname en daardoor een grote onzekerheid. Figuur 22 en Figuur 31 laten zien dat na maaionderhoud de groeisnelheid lager is dan voor maaionderhoud. Een mogelijke verklaring hiervoor kan verandering in groeiomstandigheden zijn.

De resultaten hebben een onbekende onzekerheid door de hierboven genoemde onzekerheid in de input parameters en aannames. Voordat de resultaten en maaistrategieën direct toegepast kunnen worden zullen deze onzekerheden beter in beeld gebracht moeten worden.

Het gebrek aan gegevens is een van de grootste knelpunten in dit onderzoek. Voor de Grote Beek zijn enkel vegetatieopnames beschikbaar voor het jaar 2016. Hierdoor is een trend of algemene groeicurve voor de Grote Beek onmogelijk vast te stellen. Ook kunnen onvoorziene omstandigheden problemen veroorzaken, zo ook in 2017. Door lange aanhoudende droogte is er een gebrek aan afvoer waardoor de bepaling van weerstandswaarden niet uitgevoerd kan worden.

De vergelijking (8) wordt nu toegepast voor zeer hoge waarden voor het debiet (piekafvoer). Hiervoor zijn geen meetgegevens aanwezig. Het is dus mogelijk dat de vergelijking buiten haar bereik wordt toegepast. De maximaal toelaatbare waterstand, zoals bepaald in Figuur 14, laat toe dat een deel van het omliggende maaiveld inundeert. Er is dus een tussensituatie in de praktijk denkbaar waarbij water boven de taluds van de beek uitkomt maar nog steeds aan de maatgevende maximale waterstand voldoet. Het model houdt hier echter geen rekening mee. Binnen het Dottermodel blijft het water in een gesimuleerd “bakje”. Er is dus sprake van een overschatting van de waterstand zodra deze over het talud heen gaat.

9 Conclusie

Deze thesis heeft als doel antwoord te geven op de vraag: *“Hoeveel en hoe vaak moet er gemaaid worden zodat opstuwing door vegetatiegroei binnen een vooraf gestelde limiet blijft?”*. Hierbij was ook het verbeteren van de huidige ecologische omstandigheden een van de achterliggende gedachten.

Allereerst is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor het Dottermodel. Hierbij komt duidelijk naar voren dat de vegetatie eigenschappen als maximale begroeiingsgraad, groeisnelheid en de lengte van het groeiseizoen van zeer grote invloed zijn op de ruwheid en daarmee op de waterstand.

Vervolgens is het traject Kemperman – Bedelbrug nader onderzocht waarbij werd vastgesteld dat de dominante soorten in de watergang Gele Plomp en Pijlkruid zijn. Op de taluds komt voornamelijk Liesgras en Riet voor. De vegetatie in het traject is homogeen verdeeld met uitzondering van het gedeelte waar eind 2016 herstelwerkzaamheden zijn uitgevoerd aan het talud. In dit gedeelte was de watergang volledig onbegroeid en één talud volledig kaal. De lay-out eigenschappen van het traject variëren weinig binnen het traject.

Bij de bepaling van de Malthusiaanse groeicurve parameters r en k werd duidelijk dat deze zeer afhankelijk zijn van het begroeiingsgraad-ruwheidsmodel. Op basis van veldmetingen uitgevoerd door Pieter van Dijk en Manning is een waarde bepaling met het Dottermodel is een relatie opgesteld tussen de Manning n (n), de begroeiingsgraad (ϕ) en het debiet (Q):

$$n = 0.033 + 0.2127 * \left(\frac{\phi}{Q}\right)$$

Dit begroeiing-ruwheidsmodel is ook uitgezet tegen de beschikbare gegevens voor het bovenstroomse traject. Hierbij is een grote mate van overeenkomst gevonden waarmee kan worden geconcludeerd dat het begroeiing-ruwheidsmodel breder toepasbaar is dan enkel op het traject Kemperman – Bedelbrug. Met behulp van dit begroeiing-ruwheidsmodel is een groeicurve opgesteld voor het traject Kemperman – Bedelbrug. Voor de maximale begroeiingsgraad wordt een aanname gemaakt van 0,07. De waarde voor de groeisnelheid r is 0,07 voor maaionderhoud en 0,02 na maaionderhoud. Mogelijk is een verandering in groeiomstandigheden de oorzaak van deze afname in groeisnelheid.

Met behulp van de groeicurve zijn verschillende maaistrategieën getoetst. Hierbij werd duidelijk dat waterveiligheid en ecologische waarde conflicterende belangen hebben. Vanuit waterveiligheid oogpunt heeft een maaistrategie waarbij twee keer 75 procent van de watergang gemaaid wordt, waarbij de tweede keer één talud wordt meegenomen, de voorkeur. En vanuit ecologische waarde heeft een maaistrategie waarbij drie keer 60 procent van de watergang gemaaid wordt de voorkeur.

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden dient er een afweging gemaakt te worden tussen de waterveiligheid en de ecologische waarde. Het Waterschap Rijn en IJssel heeft als primaire taak het voorkomen van inundatie. Met dit als belangrijkste taak kan geconcludeerd worden dat het twee keer maaien van de watergang waarvan éénmaal het talud wordt meegenomen de best passende strategie is. Een strategie die voor 2017 op de planning staat.

10 Aanbevelingen

Pitlo & Griffioen gebruiken een vergelijking waarbij het vrije doorstroomoppervlak gescheiden wordt van het begroeide doorstroomoppervlak. Dit zou een mogelijke verbetering kunnen zijn ten opzichte van de huidige relatie. Echter is dit afhankelijk van de verdeling van de vegetatie in het dwarsprofiel. Een factor die in dit gehele onderzoek niet is meegenomen. Het uitvoeren van veldmetingen waarbij de begroeiing in het dwarsprofiel in kaart wordt gebracht is een waardevolle toevoeging.

Het schatten van de effecten die een rol spelen op de langzamere groei van vegetatie na een maaibeurt kunnen ook interessant zijn voor de bepaling van maaistrategieën. Zo speelt het moment van onderhoud een belangrijke rol, onderhoud laat in het seizoen kan tot effect hebben dat de groeiomstandigheden in dermate ongunstige manier zijn afgenomen dat de vegetatiegroei in zeer beperkte mate weer op gang komt. Onderzoek naar de groeisnelheid na maaionderhoud is een duidelijke kennisverbetering.

Het uitvoeren van maaionderhoud is niet het gehele groeiseizoen mogelijk. Het afvoeren van het maaisel dient uitgevoerd te worden door de stuw op te halen en te laten zakken. Echter is dit ophalen van de stuwklep enkel mogelijk bij een redelijke afvoer door het traject. Het kan voorkomen, zoals in juni 2017, dat de afvoer in de beek zo laag is dat maaisel niet afgevoerd kan worden. Een verbetering op het onderhoud van de watergang is een systeem waarbij er ook ten tijde van afvoerloosheid maaionderhoud uitgevoerd kan worden. Een maaiboot die direct het maaisel uit het water verwijdert zou hiervoor een oplossing kunnen zijn.

Nader onderzoek naar de relatie tussen de weerstand en het begroeiingspercentage in combinatie met een verhoogd debiet zou een verbetering van het begroeiing-ruwheidsmodel betekenen. Het blijven uitvoeren van vegetatie-opnamen, zeker ten tijde van verhoogd debiet, is belangrijk in de verbetering van dit model.

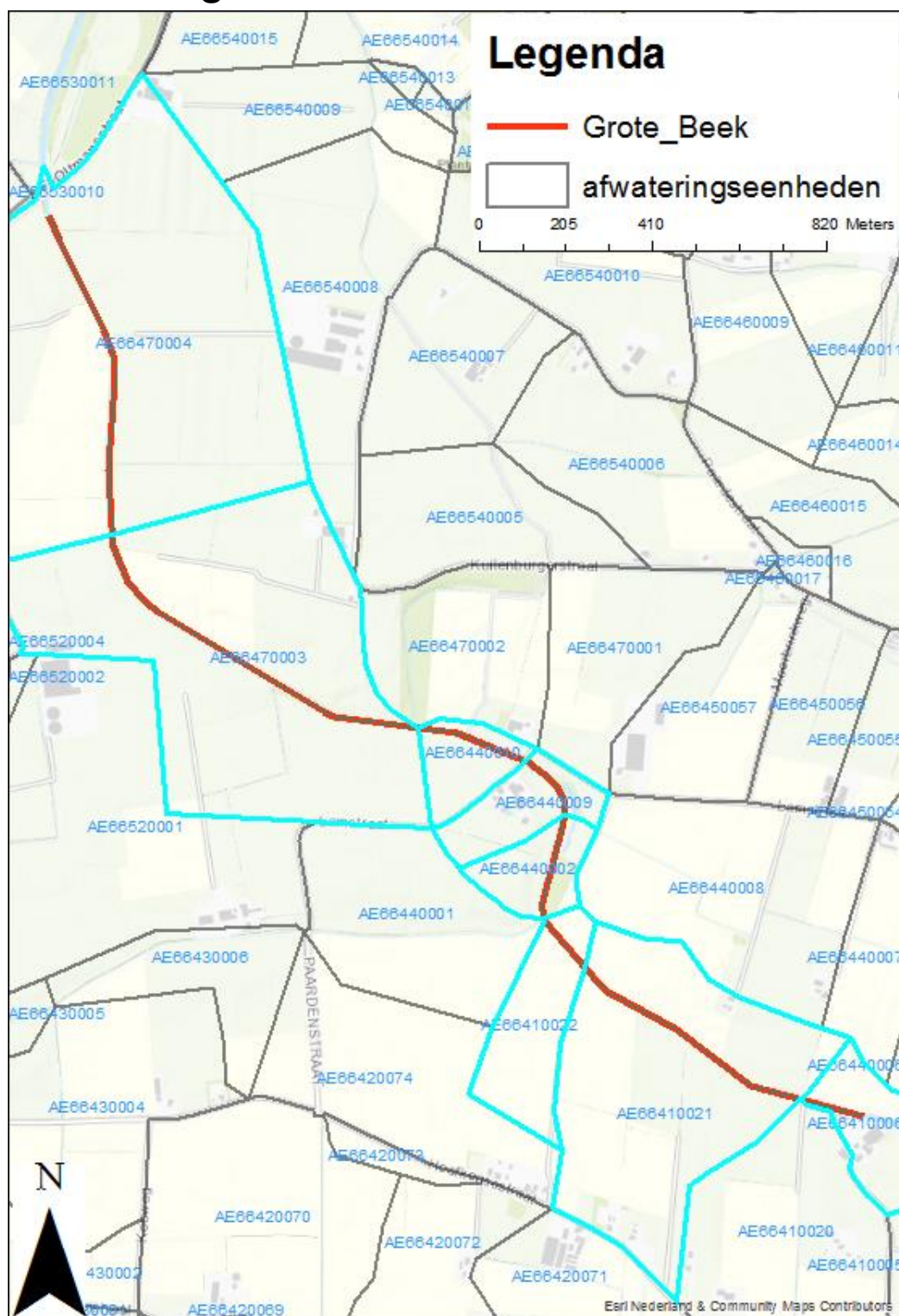
11 Bibliografie

- Bélangier, J.-B. (1828). *Essai sur la solution numérique de quelques problèmes relatifs au mouvement permanent des eaux courantes (Traktaat over de numerieke oplossing van enkele problemen gerelateerd aan stationaire stroming)*. Parijs: Carilian-Goeury.
- Chow, V. T. (1956). *Open Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill. Book Co.
- De Doncker, L., Troch, P., Verhoeven, R., Bal, K., Meire, P., & Quintelier, J. (2009). *Determination of Manning roughness coefficient influenced by vegetation in the river Aa and Biebrza river*. Springer Science+ Business Media B.V.
- Deltares. (2017). *Dottermodel beschrijving*. Deltares.
- Flora van Nederland. (sd). *Gele Plomp*. Opgeroepen op Juni 6, 2017, van Flora van Nederland: http://www.floravannederland.nl/planten/gele_plomp
- Flora van Nederland. (sd). *Pijlkruid*. Opgeroepen op Juni 6, 2017, van Flora van Nederland: <http://www.floravannederland.nl/planten/pijlkruid>
- Green, J. C. (2005). Comparison of blockage factors in modelling the resistance of channels containing submerged vegetation. *River Research and Application*(21), 671-686.
- Malthus, T. R. (1798). *An Essay on the Principle of Population*. Londen: J. Johnson, in St. Paul's Church-yard.
- Pitlo, R. H., & Griffioen, C. J. (1991). Stromingsmodel voor begroeide waterlopen. *Waterschapsbelangen: tijdschrift voor waterschapsbestuur en waterschapsbeheer*, 345-348.
- Provincie Gelderland. (2016, Juni 18). *Waterverordening Waterschap Rijn en IJssel*. Opgeroepen op April 2017, 21, van http://decentrale.regelgeving.overheid.nl/cvdr/xhtmloutput/Historie/Gelderland/CVDR78971/CVDR78971_2.html
- Querner, E. (1993). *Aquatic weed control within an integrated water management framework*. Wageningen: DLO Winand Staring Center.
- Radermacher, H. (1970). *hydraulik und Bemessung offener Entwässerungsgraben mit geringen Dimensionen unter besonderer Berücksichtigung von Verkräutung und Unterhaltung*. Bonn: Doctoral thesis, Universität Bonn.
- Roelofs, G. (2017, April 13). Specialist planvorming. Inventarisatie ontwerp piek afvoer.
- Stowa. (2015). *Handleiding monitoring beekherstel*. Amersfoort: Stowa.
- Unie van Waterschappen. (2012). *Gedragscodex Flora- en faunawet voor waterschappen*. Den Haag: Unie van Waterschappen.

- van den Eertwegh, G. P. (2017, april 16). Dotterproject: risicogestuurd maaibeheer door betere kennis van vegetatie. H2O-online.
- van Dijk, P. (2016, September 15). Eindrapport stroombaanmaaien Grote Beek. Doetinchem, Gelderland.
- van Vossen, J., & Verhagen, D. (2009). *Handreiking natuurvriendelijke oevers*. Utrecht: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer STOWA.
- Verschoren, V., Meire, D., Schoelynck, J. B., Bal, K., Troch, P., Meire, P., et al. (2015). *Resistance and reconfiguration of natural flexible submerged vegetation in hydrodynamic river modelling*. Dordrecht: Springer Science+business Media.
- Verschoren, V., Schoelynck, J., Buis, K., Visser, F., Meire, P., Temmerman, S., et al. (2017). Spatial pattern formation of macrophytes: an integrated model for the management of lowland rivers. *Mapping the spatio-temporal distribution of aquatic vegetation at reach scale in lowland rivers using digital cover photography technique*. Antwerpen: Universiteit Antwerpen.
- Waterschap De Dommel. (2014). *Beheer en Onderhoudsrichtlijn (BOR), Kleine Dommel Heeze Geldrop*. Oosterhout: AnteaGroup.
- Waterschap Rijn en IJssel. (2015a). *Factsheet Grote Beek*. Opgeroepen op Mei 3, 2017, van www.wrij.nl%2Fpublish%2Flibrary%2F22%2Ffactsheet_waterkwaliteit_grote_beek_wbp_16-21.pdf&usg=AFQjCNEp3pilY8bM3cWmBe8MNcy6LDzyQ
- Waterschap Rijn en IJssel. (2015b). *Waterkwaliteitsopgave 2016-2021*. Opgehaald van https://www.wrij.nl/publish/pages/999/vst_ontwerp-waterbeheerplan_2016-2021_161214_bijlage_2.pdf

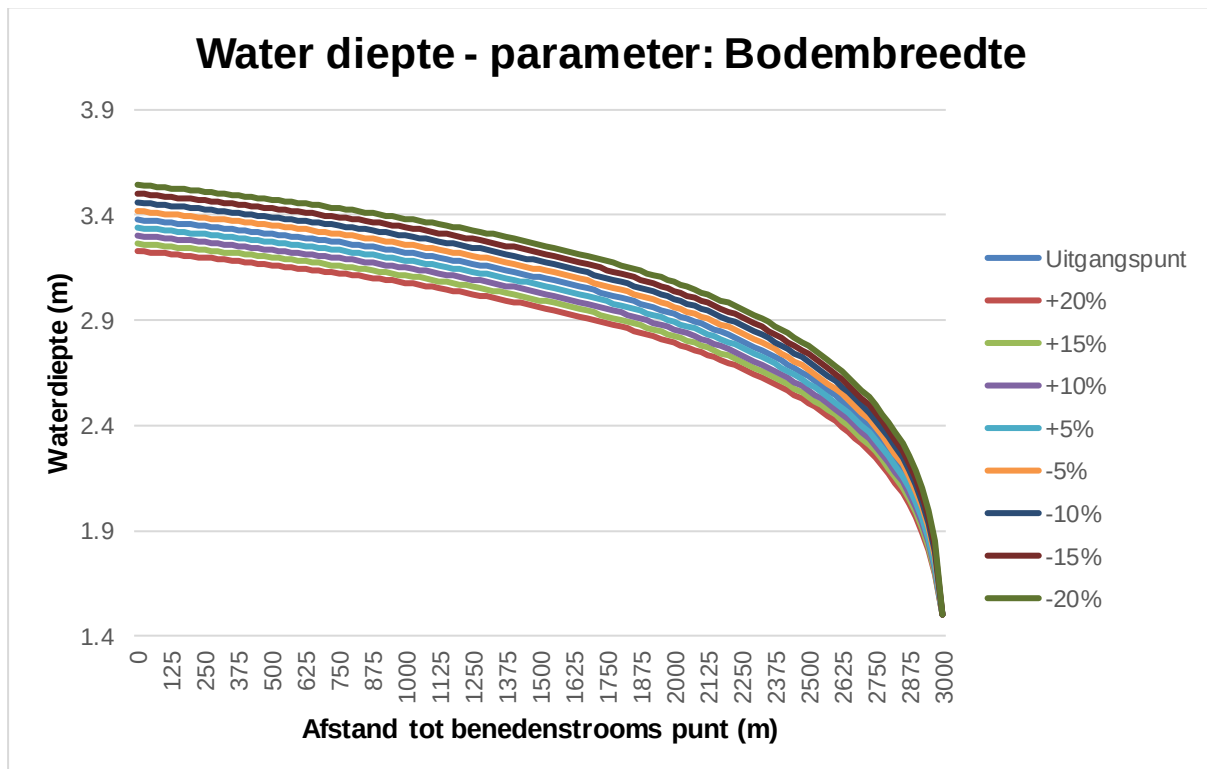
Bijlagen

1. Afwateringseenheden traject Kemperman – Bedelbrug

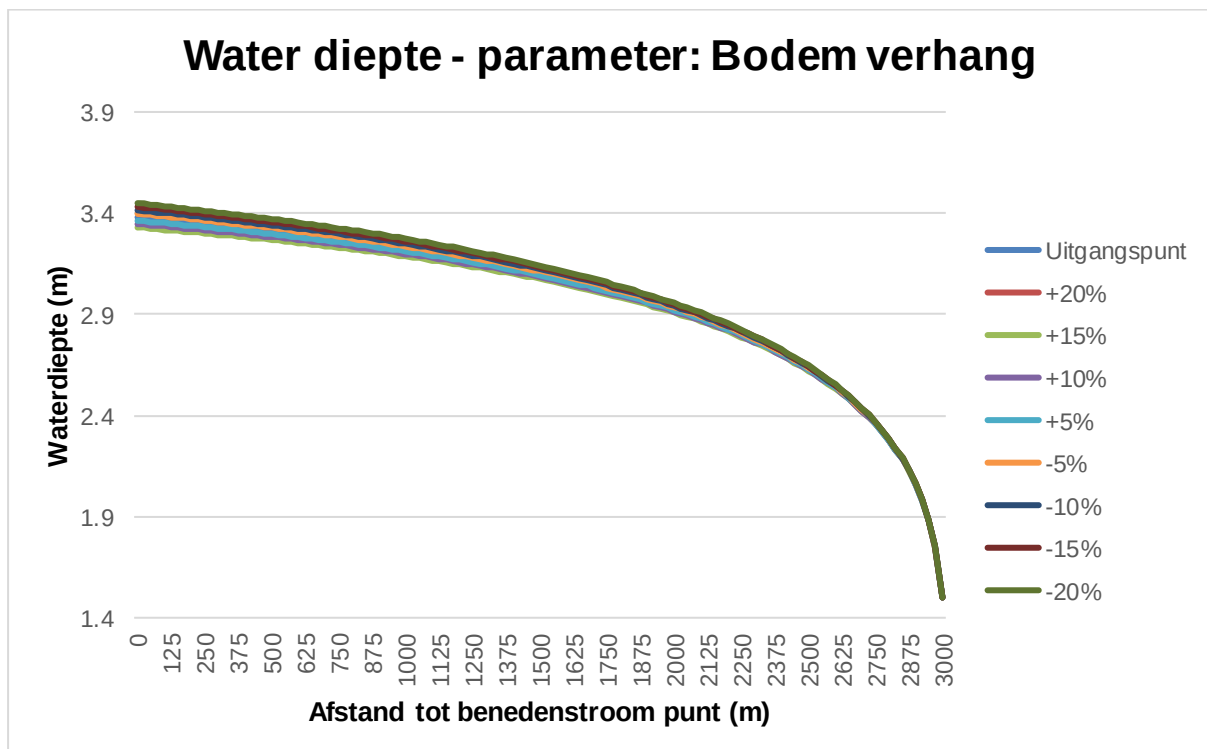


Figuur 34 - Afwateringseenheden die snijden met het traject (highlighted)

2. Invloed parameter variatie op waterdiepte



Figuur 35 - variatie in waterdiepte naar aanleiding van percentueel variëren bodembreedte



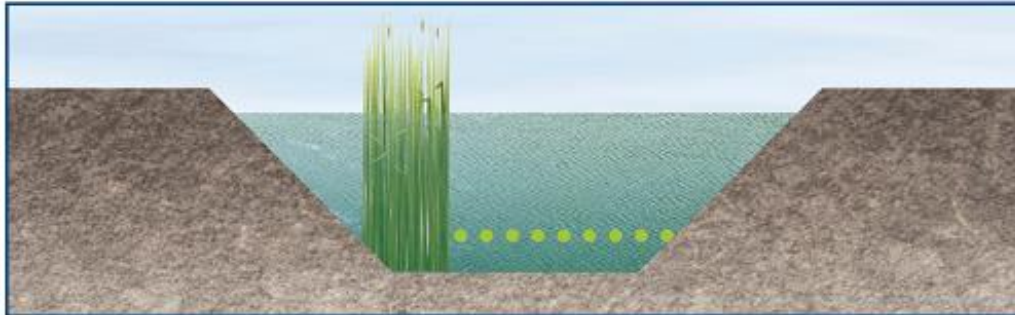
Figuur 36 - variatie in waterdiepte naar aanleiding van percentueel variëren bodem verhang

3. Onderhoudspakket Grote Beek 2017

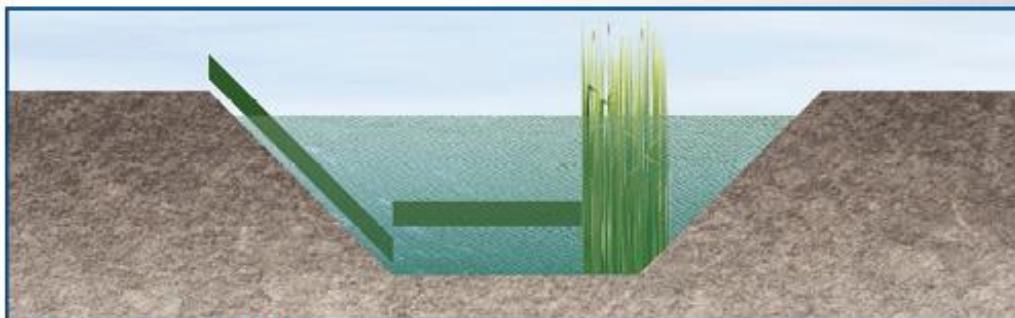
ONDERHOUDSPAKKET 2

Kritische aan- en afvoerleiding: **bodembreedte breed**

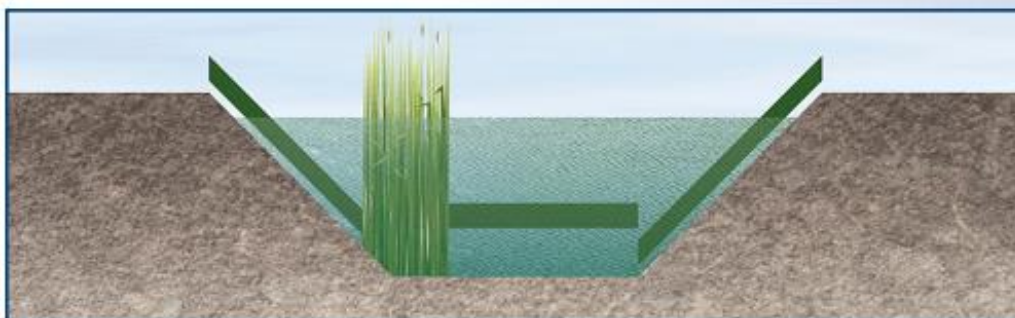
Primair landbouwwater: **bodembreedte breed**



Voorjaarsronde **Bodem:** eventueel voor 15 juli maaien met maaikorf of maaiboot.
Maximaal 75% schoon.



Voorjaarsronde **Talud:** vanaf 15 juli (bij voorkeur) linkeroever.
Bodem: gelijktijdig of aansluitend met talud. Maximaal 75% schoon.



Najaarsronde **Talud:** tussen 1 september en 1 november alternerend eerst
rechteroever en minimaal 4 weken later de linkeroever.
Bodem: gelijktijdig of aansluitend met talud. Maximaal 75% schoon.

AFVOEREN MAAISEL: Nee

MATERIEEL: Maai-harkcombinatie, schijvenmaaier met afvoerband (droog talud),
klepelmaaier met afvoerband (droog talud, alleen toepassen als andere
maaimethoden niet meer toereikend zijn door houtopslag, overmatig riet
e.d.), maaikorf, maaiboot.

Figuur 37 - Onderhoudspakket 2 van toepassing op de Grote Beek in 2017
(<https://www.wrij.nl/thema/actueel/maaikalender/onderhoudspakketten/onderhoudspakket2/>)