

De Opstuwingseffecten van Dood hout

Bachelor Eindopdracht



Rik Wegman.
7 Juli 2015.

Projectgegevens

Titel: De opstuwingseffecten van Dood hout.
Ondertitel: Empirische inzichten in de opstuwingseffecten van dood hout patches en mogelijkheden deze te conceptualiseren binnen SOBEK.

Universiteit Twente

Begeleider: Dr. M.S. Krol
Kamer: Horstring W-116
Email: m.s.krol@utwente.nl

Vakgroep-coördinator: Dr. Ir. M.J. Booij
Kamer: Horst Z-136
Email: m.j.booij@utwente.nl

Stagecoördinator: mw. E.D. van Oosterzee - Nootenboom
Kamer: HorstRing Z 210
Email: e.d.vanOosterzee-Nootenboom@utwente.nl

Waterschap Rijn en IJssel

Organisatiebegeleider: Ing. G. Roelofs
Adres: Liemersweg 2
Ingang aan de Energieweg
7006 GG Doetinchem
Email: g.roelofs@wrij.nl

Student

R.J. Wegman
Email: r.j.wegman@student.utwente.nl
Telefoon nr: 0620371631

Voorwoord

In dit rapport beschrijf ik mijn Bachelor Eindopdracht voor de studie Civiele Techniek aan Universiteit Twente. De Bachelor Eindopdracht vormt de afsluiting van eerste drie jaar studeren in Enschede. Daarnaast was de Bachelor Eindopdracht de eerste en zeer welkome mogelijkheid om een kijkje te nemen binnen een andere organisatie dan de universiteit. Na drie jaar kennis en theorie op doen, wilde ik graag eens kijken hoe het is om deze kennis toe te passen en hoe het is om binnen een organisatie te functioneren.

Ik wil het Waterschap Rijn en IJssel dan ook hartelijk bedanken voor het beschikbaar stellen van een stageplek. Ik waardeer het enorm dat het Waterschap Rijn en IJssel haar maatschappelijke verantwoordelijkheid neemt en zoveel stage plekken beschikbaar stelt. Op dit moment lopen alleen al op de afdeling Kennis en advies (K&A) vijf stagiairs rond.

Daarnaast wil ik graag mijn collega's van de afdeling K&A bedanken. Zij hebben er door de goede werksfeer en gezelligheid voor gezorgd dat ik 12 weken met plezier naar het Waterschap ben gefietst. Bovendien was iedereen altijd bereid te helpen en mij wegwijs te maken binnen de organisatie. In het bijzonder wil ik mijn begeleider Gerry Roelofs bedanken. Hij heeft mij ondanks zijn volle agenda begeleid en geholpen met veldmetingen, duidelijk rapporteren en allerlei vragen die ik had beantwoord. Verder wil ik Twan Rosmalen en Marjan Sommeijer hartelijk bedanken. Twan en Marjan hebben mij de mogelijkheid gegeven om bij projectbesprekingen aan te schuiven want alleen maar bezig zijn met de Bachelor Eindopdracht vond ik wel wat eenzijdig. Hierdoor heb ik kunnen zien hoe een project wordt aangepakt en hoe er wordt omgegaan met andere actoren. Bovendien heeft Marjan mijn hydrologische kennis flink bijgespijkerd. Thanks!! Hele dagen op kantoor zitten viel vooral in het begin niet mee. Gelukkig hebben de andere stagiairs voor de nodig afleiding gezorgd. Auke, Dirk, Mo en Luuk bedankt voor verstoren van de rust op kantoor.

Omdat het niet te doen is om elke dag naar Doetinchem te reizen moest ik iets anders bedenken. Gelukkig waren Hans en Ellen Stokkermans zo gastvrij om mij 12 weken onderdak te bieden. Ik wil jullie hier heel erg voor bedanken, zonder jullie was het niet mogelijk om in Doetinchem stage te lopen.

Vervolgens wil ik dhr. Krol hartelijk bedanken. Ik had me geen betere UT begeleider kunnen wensen. Vanaf het opstellen van het voorverslag was dhr. Krol zeer meedenkend en heeft me geholpen de richting van het onderzoek te bepalen. Ook tijdens de stage periode heeft hij mij verder geholpen. Dhr. Krol heeft mij voorzien van goede feedback, hierdoor heb ik mijn eindrapport inhoudelijk aanzienlijk kunnen verbeteren. En niet onbelangrijk: het was ook gewoon gezellig!

Doetinchem juli 2015

Rik Wegman

Samenvatting

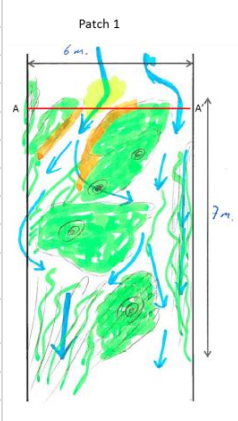
Sinds 2000 nemen waterbeheerders maatregelen om KRW(kaderrichtlijn water) doelstellingen te bereiken. Er is een heel scala aan maatregelen mogelijk om de KRW doelstellingen te bereiken. Een van die maatregelen is het aanbrengen van dood hout in beken. Dood hout aan brengen blijkt een effectieve en goedkope maatregel om de ecologische kwaliteit van het water in beken te verhogen. Om inzicht te krijgen in de effecten van dood hout in beken worden binnen het waterschap Rijn en IJssel experimenten gedaan met dood hout.

Uit het experiment met dood hout in beken van het Waterschap Rijn en IJssel is gebleken dat huidige modelberekeningen met SOBEK niet overeenkomen met gemeten opstuwing bovenstrooms van het dood hout. Er is niet genoeg kennis over de effecten van dood hout in de beek om deze effecten te kunnen modelleren. In dit onderzoek wordt aan de hand van het dood hout experiment in de Leerinkbeek empirische inzichten in de effecten van dood hout patches op de bovenstroomse waterstand door veldmetingen verkregen. Vervolgens wordt op basis van het verkregen inzicht een aangepaste modellering gemaakt, die voldoet voor het voorspelling van de opstuwing.

In dit onderzoek is er aan de hand van observaties een taxatieschema opgesteld. Uit een literatuurstudie, observaties en metingen is naar voren gekomen welke patcheigenschappen de mate van opstuwing beïnvloeden. De bepalende patcheigenschappen zijn omgezet naar een taxatieschema waardoor een patch snel kan worden beoordeeld. Een voorbeeld hiervan is te zien in onderstaande figuur.

Patch 1			
Beoordelingscriteria			
1 Materiaal			
	Blokkerende stukken		Stobben + takken Ø 0-5 cm
	Doorstroombare stukken		takken Ø 0-5 cm
2 Verkleining van het doorstromingsprofiel			
Blokkende stukken	Maatgevende breedte		2,5 m
	Maatgevende overstroomhoogte		0,51 m
	Dichtheid patch		Zeer dicht
Doorstroombare stukken	Maatgevende breedte		2 m
	Maatgevende overstroomhoogte		0,24 m
3 Morfologische veranderingen			
	Verandering van het dwarsprofiel patches		uitslijting 0,17m
	verandering van het dwarsprofiel tussenstukken		geen

Patch 1



Het modeleren van de volledige complexe stroming inclusief turbulentie langs het dood hout zou resulteren in een toepassing van de drie dimensionale Navier-Stokes vergelijking met vrije randvoorwaarden. Omdat dit niet haalbaar en niet bruikbaar is, is er voor gekozen om de effecten van het dood hout binnen SOBEK te schematiseren. De waarden uit het taxatieschema worden geparameteriseerd om tot een schematisatie in SOBEK te komen.

Er is voor gekozen om de effecten van de patches dood hout te schematiseren door volgende eigenschappen vast te leggen in de schematisatie.

- Doorstroomprofiel van patch

Er is voor gekozen om de verandering van het doorstroomprofiel door de patches te schematiseren als twee rechthoekige blokken in het zomerbed. In de bepaling van afmeting van deze blokken zijn de volgende zaken van belang:

- De oppervlakte van de blokkade
 - De overstroom hoogte
 - De versmalling van het profiel
- De lengte van patch
 - Bodemruwheidscoëfficiënt

Door kalibratie is gevonden dat bij een bodemruwheid met Chezy-waarde 9 de schematisatie aansluit op de gemeten waarden.

Het model is in staat de totale opstuwing door meerdere patches goed te voorspellen. De opstuwing per patch wordt juist voorspelt in termen van 'grote' of 'kleine' opstuwing. Het model is niet in staat om de exacte opstuwing per patch aan te geven. Door de gebruikte methode van parameterisatie is er een goede koppeling ontstaan tussen de situatie in de praktijk en de in het model gebruikte schematisatie. Hierdoor kan er worden aangenomen dat de berekende Q-h relatie om de goede redenen aansluit bij de gemeten Q-h relatie. Dit geeft het model voorspellende waarde.

Inhoud

Projectgegevens	I
Voorwoord	II
Samenvatting.....	III
Figuren- en tabellenlijst.....	VII
1. Inleiding	1
1.1 Probleemstelling.....	1
1.2 Doelstellingen.....	2
1.3 Onderzoeksaanpak	3
2. Algemene situatie beschrijving	4
2.1 locaties.....	4
3. De patches dood hout in de praktijk	9
3.1 Theoretisch kader	9
3.2 De patches	12
3.2.1 Meetplan	12
3.2.2 Meetresultaten.....	14
3.2.3 Observatie van de patches	18
3.3 Beoordeling patches.....	29
3.3.1 Bepalende eigenschappen	29
3.3.2 Taxatieschema	31
4. Methode parametrisatie	34
4.1 Opbouw schematisatie.....	34
4.2 Schatting parameterwaarden.....	37
4.3 Afvoerscenario	42
4.4 Kalibratie	43
5. Resultaten.....	45
5.1 Uitkomsten kalibratie	45
5.2 Validatie.....	47
6. Conclusie	50
7. Discussie	52
8. Aanbevelingen	53
Bibliografie	54
Bijlage I Waterpassing.....	55
Bijlage II Debietbepaling	55

Figuren- en tabellenlijst

Figuren:

Figuur 1. Dood hout in de Ramsbeek	1
Figuur 2. Het stroomgebied van de Berkel.....	4
Figuur 3 Leerinkbeek, locatie Meenweg.	5
Figuur 4. Doorstroomprofiel Leerinkbeek-Meenweg	6
Figuur 5 Schematisatie patches Leerinkbeek.	6
Figuur 6 Ramsbeek, locatie Emausweg.	7
Figuur 7. Doorstroomprofiel Ramsbeek-Emausweg	7
Figuur 8 Schematisatie patches Ramsbeek.	8
Figuur 9. Opstuwing	11
Figuur 10 Locatie divers.....	12
Figuur 11 Locaties waterstandbepalingen	12
Figuur 12. Divermeting Leerinkbeek-Meenweg.	14
Figuur 13. Debietbepaling Leerinkbeek-Meenweg	14
Figuur 14. X-h relatie/Lengteprofiel waterstand Leerinkbeek-Meenweg bij een afvoer , van 0,13 m ³ /s bepaald 17-04-15 m.b.v. een waterpasapparaat.	14
Figuur 15. Q-h relatie benedenstrooms.	15
Figuur 16. Verdeling Q-h relatie Leerinkbeek-Meenweg.	16
Figuur 17. Q-h relatie benedenstrooms	16
Figuur 18. Opbouw patches	18
Figuur 19. Patch 1.....	19
Figuur 20. Opbouw patch 1	19
Figuur 21. Patch 2.....	21
Figuur 22. Opbouw patch 2.	21
Figuur 23. Patch 3.....	23
Figuur 24. Opbouw patch 3.	23
Figuur 25. Patch 4.....	25
Figuur 26. Opbouw patch 4.	25
Figuur 27. Patch 5.....	27
Figuur 28. Opbouw patch 5	28
Figuur 29 Hydrologische veranderingen	29
Figuur 30. Methode parametrisatie	34
Figuur 31. Schematisatie patches.....	34
Figuur 32. SOBEK schematisatie	35
Figuur 33. Het in SOBEK gebruikte doorstroomprofiel	35
Figuur 34. Schematisatie blokkade doorstroomprofiel door patch in het zomerbed.....	36
Figuur 35. Beschrijving bodemruwheid patches	36
Figuur 36. Overstroom hoogte in de schematisatie.....	38
Figuur 37. Oppervlakte dichte takkenbossen in de schematisatie	38
Figuur 38. Oppervlakte uitslijting/aanzanding in de schematisatie.....	38
Figuur 39. Oppervlakte open takkenbossen in de schematisatie	39
Figuur 40. Opbouw schematische blokkade van het doorstroomprofiel.....	39
Figuur 41. Verdeling Q-h relatie	42
Figuur 42. Werkwijze kalibratie.....	43

Figuur 43. Q-h relatie gebruikt voor kalibratie benedenstrooms	44
Figuur 44. Q-h relatie gebruikt voor kalibratie bovenstrooms	44
Figuur 45. Kalibratie basismodel	45
Figuur 46. Q-h relatie met Chezy 15.....	46
Figuur 47. Q-h relatie met Chezy 9.....	46
Figuur 48. X-h relaties.....	48
Figuur 49. X-h relatie voor $Q = 0,13 \text{ m}^3/\text{s}$	48
Figuur 50. Waterpassingsinstrumenten	55

Tabellen:

Tabel 1. Gegevens Leerinkbeek-Meenweg	5
Tabel 2. Lengte maten traject Leerinkbeek.....	6
Tabel 3. Gegevens Ramsbeek-Emausweg	7
Tabel 4. Lengte maten traject Ramsbeek.....	8
Tabel 5. Resultaten waterpassing 17-04-15	17
Tabel 6. Eigenschappen patch 1.....	20
Tabel 7. Eigenschappen patch 2.....	22
Tabel 8. Eigenschappen patch 3.....	24
Tabel 9. Eigenschappen patch 4.....	26
Tabel 10. Eigenschappen patch 5.....	28
Tabel 11. Taxatieschema	31
Tabel 12. Taxatie patches.....	32
Tabel 13. Parameterwaarden.....	40
Tabel 14. Modelafvoeren	42
Tabel 15. Vergelijking gemeten en berekende waarden	48
Tabel 16. Taxatieschema	51

1. Inleiding

Sinds 2000 is de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) van kracht. Deze moet ervoor zorgen dat de kwaliteit van het oppervlakte- en grondwater in Europa in 2015 op orde is. Alle wateren groter dan 50 hectare en kanalen en beken waarop een gebied van minimaal 1.000 hectare afwatert vallen onder de KRW en worden KRW-waterlichamen genoemd. De Kaderrichtlijn Water onderscheidt twee doelstellingen:

- Goede Chemische Toestand
- Goed Ecologisch Potentieel

KRW-waterlichamen dienen volgens de KRW vanaf 2015 in een 'goede ecologische toestand' te verkeren of te voldoen aan het Goede Ecologische Potentieel. Daarnaast dient de Goede Chemische Toestand te worden behaald. Om deze doelstellingen te bereiken moeten de waterbeheerders maatregelen nemen.

Het beleid van het Waterschap Rijn en IJssel speelt in op de kaderrichtlijn. In het Waterbeheerplan 2010>2015 (Waterschap Rijn en IJssel, 2010) wordt aangegeven dat de doelstelling van het Waterschap voor de waterkwaliteit conform de KRW is. 'De waterlichamen en overige watergangen voldoen in 2015 aan de gewenste chemische toestand en aan de gewenste ecologische kwaliteit door het uitvoeren van maatregelen; uitstel is mogelijk tot 2021 of 2027'. De chemische kwaliteit moet voldoen aan de milieukwaliteitseisen voor de prioritair stoffen. De ecologische kwaliteit moet voldoen aan het vooraf vastgestelde ambitieniveau.

Uit ervaringen van verschillende waterschappen, waaronder Regge en Dinkel, Peel en Maasvallei, Aa en Maas, Hunze en Aa's, Vallei en Veluwe en De Dommel blijkt het inbrengen van dood hout een effectieve en goedkope maatregel om de ecologische kwaliteit van het water in beken te verhogen (Verdonschot, P. F. M., Besse, A., Brouwer, J. D., Eekhout, J., & Fraaije, R., 2012). Door het inbrengen van boomstammen en takkenbossen in beken ontstaat er meer variatie in stroming en structuren in de beek. Dit biedt beschutting en schuilmogelijkheden voor vis en macrofauna. Hiermee wordt de ecologische kwaliteit van een beek verbeterd. In figuur 1 is een voorbeeld van de maatregel te zien. Om ook aan de KRW-ecologische kwaliteitseisen te voldoen, worden binnen het waterschap Rijn en IJssel experimenten gedaan met dood hout in beken.



Figuur 1. Dood hout in de Ramsbeek

1.1 Probleemstelling

Naast dat inbrengen van dood hout positieve effecten heeft op de ecologische kwaliteit van een beek zorgt de maatregel ook voor beïnvloeding van de waterstand in een beek. Door het aanbrengen van dood hout ontstaat opstuwning en mogelijk zelfs wateroverlast. Om zowel de ecologische als de hydrologische effecten van maatregel in kaart te brengen heeft het waterschap Rijn en IJssel eind 2013 besloten om op een aantal locaties te experimenteren met de inbreng van dood hout in de vorm van takkenbossen. Onder deze locaties zijn de Leerinkbeek en de Ramsbeek. Op deze locaties is begin 2014 dood hout aangebracht en zijn metingen gedaan om de effecten op de waterstand van de beken in beeld te krijgen.

Met behulp van een eenvoudige modelstudie zijn op voorhand de opstuwningseffecten van de maatregel bepaald. Na een jaar monitoren blijkt de invloed van de maatregel echter veel groter is dan op grond van deze studie werd verwacht. Bovenstrooms is de stijging van de waterstand in de

praktijk aanzienlijk groter dan het model aangeeft. Het huidige model is daardoor geen geschikt hulpmiddel voor het voorspellen van de opstuwingseffecten. De vraag van uit het waterschap is dan ook hoe de maatregel beter gemodelleerd kan worden zodat de bovenstroomse stijging van de waterstand wel goed voorspeld kan worden.

1.2 Doelstellingen

Het waterschap wil graag de ecologische kwaliteit in beken verbeteren door maatregelen te treffen in de vorm van de aanbreng van dood hout in beken, maar heeft het probleem dat huidige modellering van de opstuwingseffecten niet voldoet. Uit meetgegevens blijkt dat de huidige inschattingmethode te onnauwkeurig is en daardoor geen voorspellende waarde heeft.

Het modeleren van de volledige complexe stroming inclusief turbulentie langs het dood hout zou resulteren in een toepassing van de drie dimensionale Navier-Stokes vergelijking met vrije randvoorwaarde. Voor het waterschap is het van belang dat het resultaat van dit onderzoek bruikbaar is binnen de organisatie. Binnen het waterschap wordt voor modelberekeningen van het watersysteem gebruik gemaakt van het 1D modelleerprogramma SOBEK. Met SOBEK is het niet mogelijk om de volledig complexe stroming te modeleren. Dit betekent dat er gezocht moet worden naar een manier om de situatie in SOBEK vast te leggen.

Het doel van dit onderzoek wordt daarmee tweeledig. Ten eerste het verkrijgen van empirische inzichten in de effecten van dood hout patches op de bovenstroomse waterstand door veldmetingen. Ten tweede op basis van het verkregen inzicht een aangepaste modellering op te stellen, die voldoet voor de voorspelling van de opstuwing.

Onderzoeksvragen

1. Hoe functioneren de patches dood hout in de praktijk?
 - a. Welke eigenschappen van de patch beïnvloeden de mate van opstuwing?
 - b. Hoe ziet de situatie in praktijk eruit?
 - c. Hoe zijn de verschillende patches te beoordelen?
2. Hoe zijn de eigenschappen van een patch te parametriseren in een SOBEK-model?
 - a. Hoe is de taxatie van de patches te vertalen naar een schematisatie in SOBEK?
 - b. Welke parameterwaarden moeten worden gebruikt?
 - c. Kan de schematisatie van dood hout patches in SOBEK de situatie juist modelleren?

Door de beantwoording van deze vragen wordt getracht het waterschap de benodigde handvatten te geven om de opstuwingseffecten van dood hout maatregelen in het kader van de KRW juist in te kunnen schatten.

1.3 Onderzoeksaanpak

In deze paragraaf wordt kort per deelvraag aangegeven hoe deze wordt aangepakt en welke onderlinge samenhang er is. Er wordt ook duidelijk gemaakt waarom bepaalde keuzes in het onderzoeksproces zijn gemaakt.

Onderzoeksvragen

1. Hoe functioneren de patches dood hout in de praktijk?
 - a. *Welke eigenschappen van de patch beïnvloeden de mate van opstuwing?*
De eigenschappen die van invloed zijn worden deels bepaald aan de hand van een literatuurstudie. De literatuurstudie vormt tevens het theoretisch kader van waaruit dit onderzoek wordt benaderd. Vervolgens wordt de koppeling gemaakt met de werkelijke situatie.
 - b. *Hoe ziet de situatie in praktijk eruit?*
De situatie in de praktijk wordt bepaald aan de hand van metingen en observaties. De metingen en observaties worden uit
 - c. *Hoe zijn de verschillende patches te beoordelen?*
De methode waarmee de patches worden beoordeeld wordt bepaald door de verbinding te maken tussen deelvraag 1a en 1b.
2. Hoe zijn de eigenschappen van een patch te parametriseren in een SOBEK-model?
 - a. *Hoe is de taxatie van de patches te vertalen naar een schematisatie in SOBEK?*
De schematisatie komt tot stand door het koppelen van deelvraag 1a. en 1c. Hier zal een keus worden gemaakt hoe de schematisatie wordt opgebouwd.
 - b. *Welke parameterwaarden moeten worden gebruikt?*
De bodemruwheidscoëfficiënt is moeilijk aan de hand van observaties in te schatten. Daarom wordt er gekozen om de bodemruwheidscoëfficiënt te bepalen door middel van kalibratie. De geometrie van de waterloop is goed in te schatten op grond van visuele observatie. De parameterwaarden voor de geometrie van de waterloop worden daarom bepaald aan de hand van deelvraag 1c.
 - c. *Kan de schematisatie van dood hout patches in SOBEK de situatie juist modelleren?*
Het model wordt gevalideerd aan de hand van het verschil tussen de gemeten en de berekende waarde voor de opstuwing per patch. De opstuwing per patch geeft aan of er per toeval de goede fit van de totale Q-h relatie is gevonden of dat het model een goede koppeling heeft met de praktijk en daardoor de juiste uitkomsten genereert voor de juiste redenen.

De opbouw van het rapport volgt de opbouw van de onderzoeksvragen. In Hst 2 wordt eerst een algemene situatie beschrijving gegeven om achtergrond informatie te geven over het functioneren van de patches binnen een stroomgebied. In de Hoofdstukken 3 tot en met 5 worden de onderzoeksvragen behandeld. Aan de hand van de bevindingen in deze hoofdstukken wordt in Hst 6 gekomen tot een conclusie en aanbevelingen.

2. Algemene situatie beschrijving

In dit hoofdstuk volgt een situatie beschrijving van de twee locaties die als basis worden gebruikt voor dit onderzoek. In de Leerinkbeek en de Ramsbeek zijn 17-04-2014 verschillende patches dood hout aangebracht in de beek.

2.1 locaties

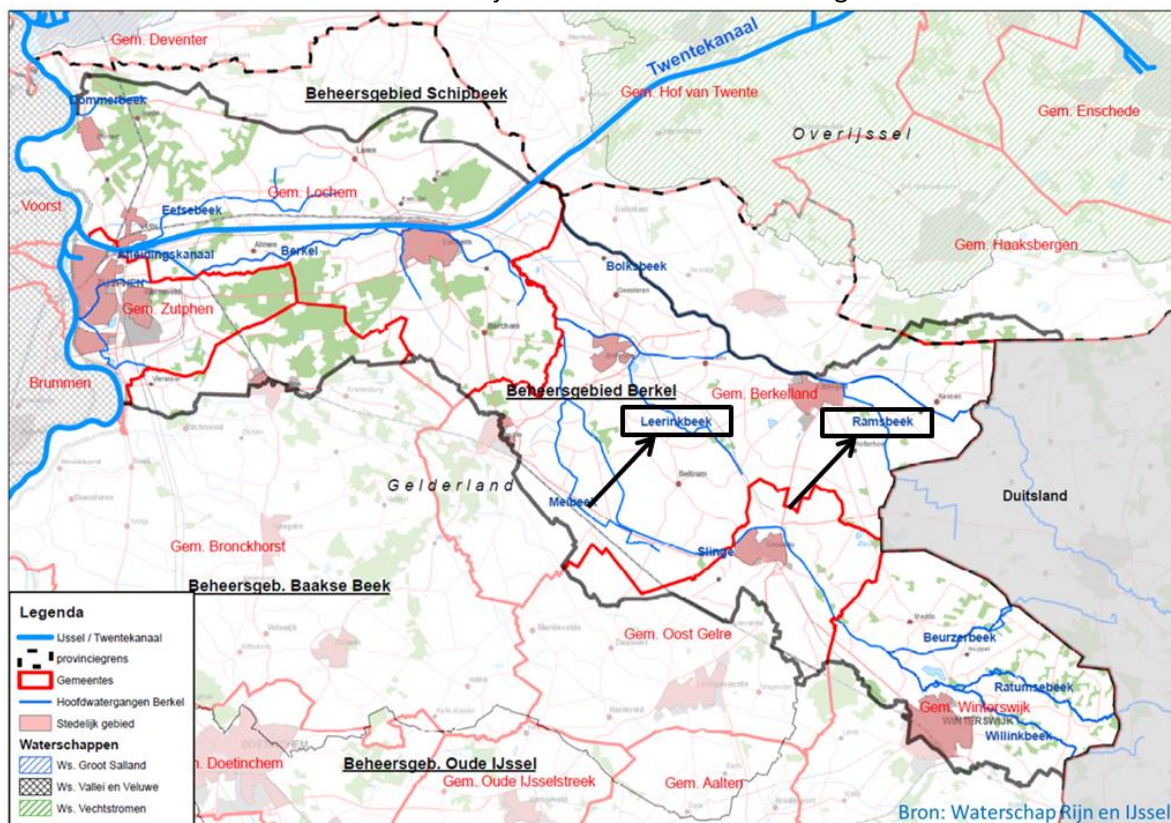
In het kader van het dood hout experiment is op twee locaties dood hout aan gebracht in een beek. Deze locaties zijn bewust gekozen omdat het risico op negatieve gevolgen laag is. Op beide locaties leiden hoge waterstanden niet meteen tot overlast. Het gaat hierbij om de volgende locaties:

Leerinkbeek –Meenweg, 7156 NX, Beltrum
Ramsbeek – Emausweg, 7157CT, Rekken

Start datum experiment: 17-04-2014.

Start datum experiment: 17-04-2014.

Zowel de Leerinkbeek als de Ramsbeek zijn onderdeel van het stroomgebied van de Berkel.



Figuur 2. Het stroomgebied van de Berkel

De Ramsbeek

De bovenloop van de Ramsbeek is gelegen in Duitsland. De Ramsbeek heet in Duitsland Ramsbach en stroomt na 5.5 km Nederland binnen. Het Nederlandse deel is 5.2 km lang en mondt net ten oosten van Eibergen uit in de Berkel. De beek ontvangt water uit de Veengoot die ontspringt ten noorden van de Leemputten en het Zwillbrocker Venn. De beek heeft een aanzienlijk verhang van 0.89‰. Het laatste deel van de beek wordt voorzien van Berkelwater, dat bij zandvang van Rekken wordt ingelaten en via de Afwatering van Zuid Rekken naar de Ramsbeek stroomt. Deze waterstroom is ook bedoeld als vismigratieroute voor de Berkel.

De Leerinkbeek

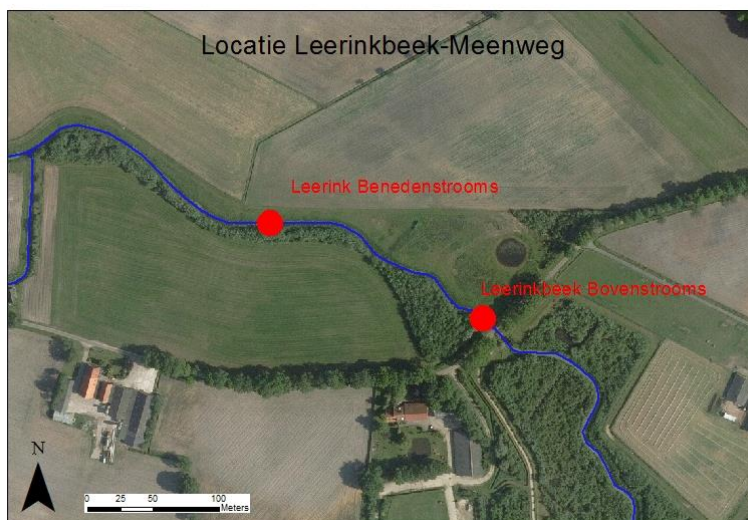
De Leerinkbeek is een van de grotere zijbeken in dit traject van de Berkel. De beek ontspringt bij de grens ten westen van de Ramsbeek, bij de Leemputten en stroomt vlak voor Borculo en net benedenstrooms van stuw Hoge brug in de Berkel. Het meest bovenstroomse deel staat ook bekend

als Hupselsche Beek. De Leerinkbeek heeft een groot hoogteverschil (1.15‰) over een aanzienlijke afstand van 15 km. Het stroomgebied is 4052 ha. groot. Het benedenstroomse deel wordt in zomer op peil gehouden met water uit de Berkel.

De Ramsbeek en Leerinkbeek waren voorheen nog genormaliseerd, door hermeandering en beekherstel zijn de beken weer een stuk natuurlijker. De beken worden gekenmerkt door meanders, variatie in breedte en diepte en veel houtachtige begroeiing op de oevers. Meer benedenstroom verliezen de beken in toenemende mate hun natuurlijke karakter. Steeds langere segmenten van de beken zijn rechtgetrokken en de bebossing is minder dominant aanwezig dan bovenstrooms of helemaal afwezig. (Koster, Reurink-Vuurens, & Engelbertink, 2015)

Leerinkbeek – Meenweg

Op een traject van ongeveer 200 m. zijn 5 patches dood hout aangebracht in de Leerinkbeek. Het traject begint bij de duiker waar de Leerinkbeek en de Meenweg elkaar kruisen en eindigt ongeveer 200 m. benedenstrooms van deze brug. Dit traject is aangegeven in Figuur 3 tussen 'Leerinkbeek Bovenstrooms' en 'Leerinkbeek Benedenstrooms'.



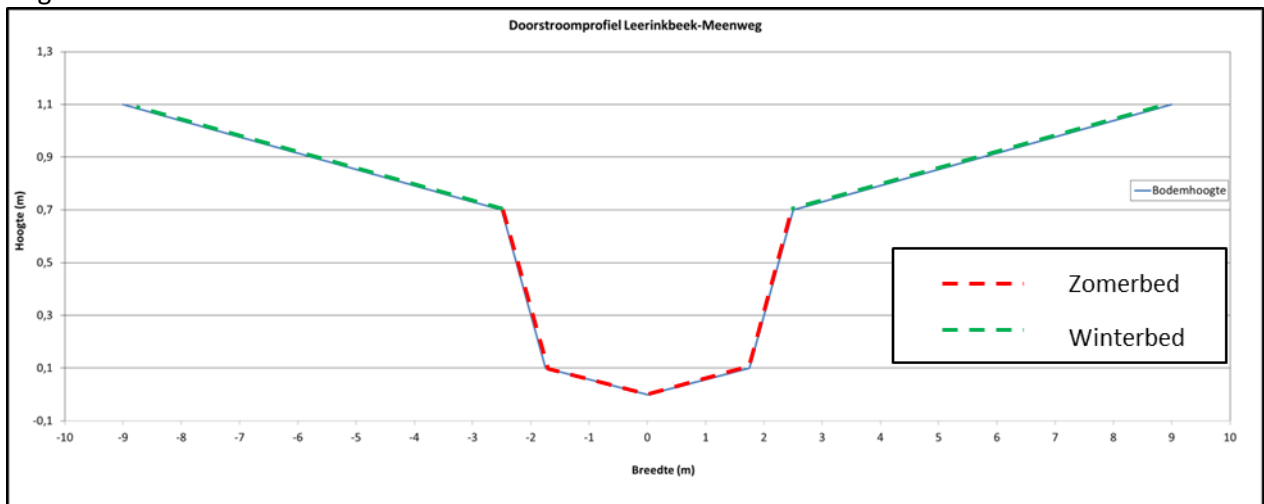
Figuur 3 Leerinkbeek, locatie Meenweg.

Het traject van de Leerinkbeek wordt gekenmerkt door onderstaande gegevens:

Tabel 1. Gegevens Leerinkbeek-Meenweg

Gegevens: Leerinkbeek-Meenweg	
Doorstroomprofiel	Theoretisch doorstroomprofiel
Breedte zomerbed	5 m.
Bodemhelling	1.15‰
Maatgevende afvoer	

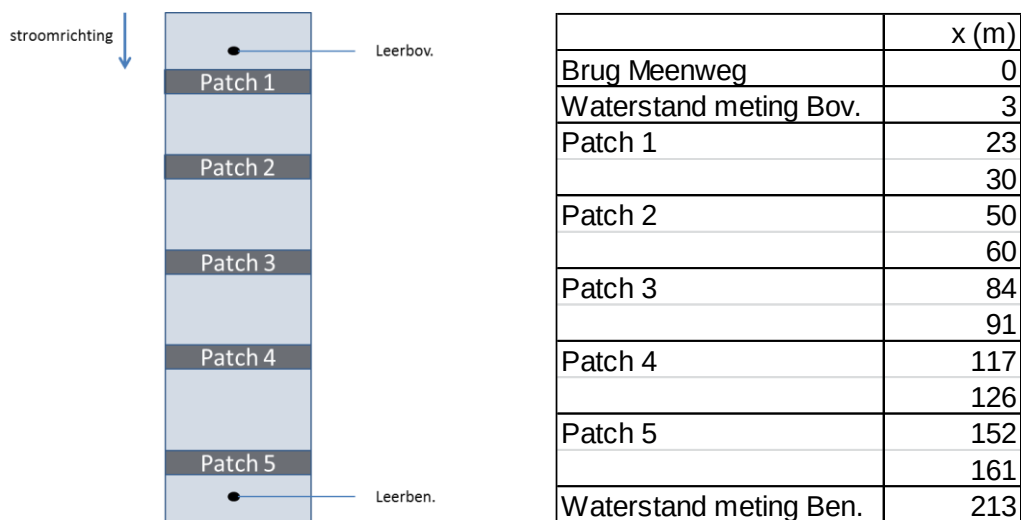
Het doorstroomprofiel bestaat uit een zomer- en winterbed. Het zomerbed overstroomt alleen bij hoge afvoeren.



Figuur 4. Doorstroomprofiel Leerinkbeek-Meenweg

Patches:

Het hout is over de volledige breedte van het zomerbed aangebracht zoals is geschematiseerd in Figuur 5. De lengte maten zijn weergegeven in Tabel 2.



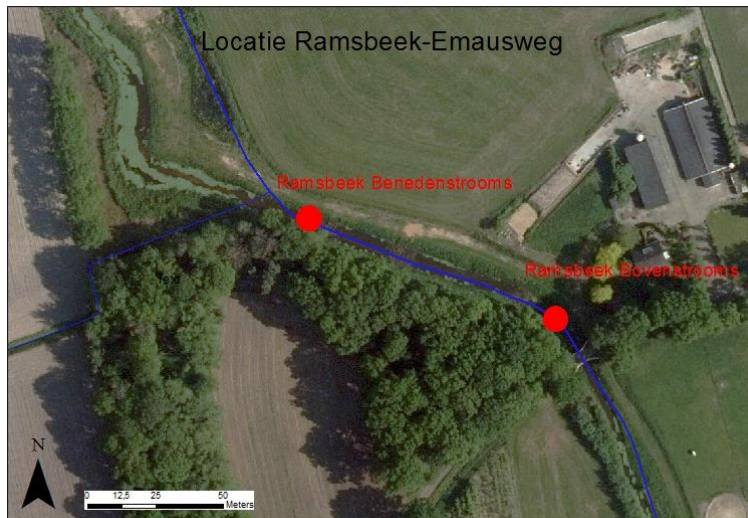
Figuur 5 Schematisatie patchTabel 2. Lengte maten traject Leerinkbeek.

Naast de dood hout patches heeft de begroeiingstoestand grote invloed op de Q-h relatie (Werkgroep herziening Cultuurtechnisch vademecum, 1992). De hoeveelheid en grootte van vegetatie in een watergang is tijdsafhankelijk. Naarmate het voorjaar vordert, zal de hoeveelheid vegetatie en de grootte van de vegetatie sterk toenemen in en om de watergang, dit beïnvloedt de weerstand die het water ondervindt als het door de beek stroomt. Het is daarom van belang om rekening te houden met de maaibeurten. In 2014 zijn 3 maaibeurten uitgevoerd, namelijk:

- Eind juni
- tussen 6 en 13 oktober.
- Begin november, het is echter niet zeker of deze maaibeurt wel is uitgevoerd.

Ramsbeek – Emausweg

Op een traject van ongeveer 150 m. zijn 3 patches dood hout aangebracht in de Ramsbeek. Het traject begint bij de brug waar de Ramsbeek en de Emausweg elkaar kruisen en eindigt ongeveer 150 m. benedenstrooms van deze brug. Dit traject is aangegeven in Figuur 6 tussen 'Ramsbeek Bovenstrooms' en 'Ramsbeek Benedenstrooms'.

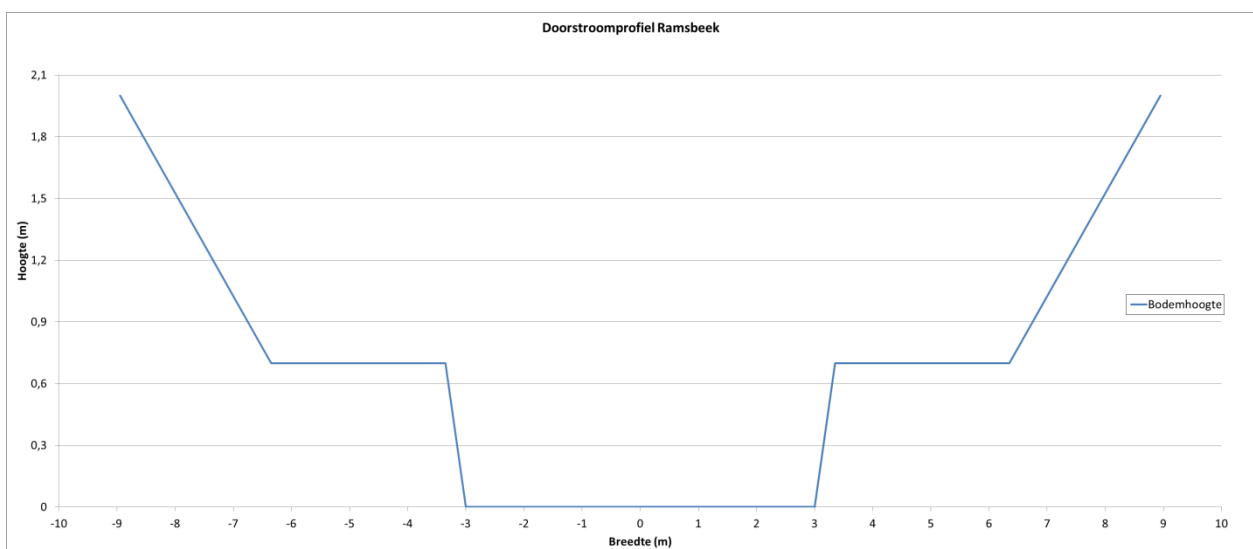


Figuur 6 Ramsbeek, locatie Emausweg.

Het traject van de Leerinkbeek wordt gekenmerkt door onderstaande gegevens:

Tabel 3. Gegevens Ramsbeek-Emausweg

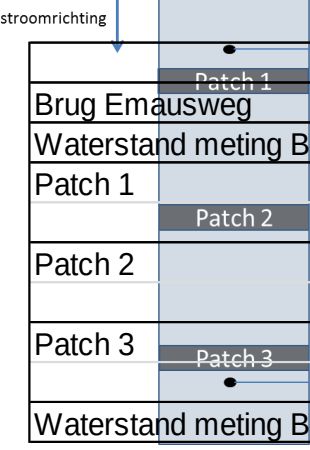
Gegevens: Ramsbeek-Emausweg	
Doorstroomprofiel	Theoretisch doorstroomprofiel
Breedte zomerbed	7 m.
Bodemhelling	0.89‰.
Maatgevende afvoer	



Figuur 7. Doorstroomprofiel Ramsbeek-Emausweg

Patches:

Het hout is over de volledige breedte van het zomerbed aangebracht zoals is geschematiseerd in Figuur 8. De lengte maten zijn weergegeven in Tabel 4.



	x (m)
Ram2bov.	0
Brug Emausweg	0
Waterstand meting Bov.	4
Patch 1	28
Patch 2	35
Patch 2	75
	84
Patch 3	102
Ram2ben.	109
Waterstand meting Ben.	124

FigurTabel 4 Lengte maten traject Ramsbeek.

Door een ingreep in de Ramsbeek-Emausweg na aanleiding van klachten over te hoog water wordt er gefocuced op locatie Leerinkbeek-Meenweg. Er zijn wel observaties van de patches in de Ramsbeek beschikbaar, maar niet alle metingen. Daarom zal er geen modelstudie naar deze locatie gedaan worden.

3. De patches dood hout in de praktijk

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvraag 1. Om de vraag: 'Hoe functioneren de patches dood hout in de praktijk?' te kunnen beantwoorden is de verbinding gemaakt tussen de theorie en de metingen en observaties uit het veld. Dit heeft geleid tot een taxatieschema waarmee patches beoordeeld kunnen worden.

3.1 Theoretisch kader

Om de aanpak van dit onderzoek te bepalen is het van belang om te bepalen hoe naar de opstuwingeffecten van dood hout wordt gekeken. In deze paragraaf wordt aan de hand van een literatuurstudie gekeken hoe stroming kan worden beschreven en welke variabelen van invloed zijn op de mate van opstuwings door de patches in de Leerinkbeek en de Ramsbeek. De literatuurstudie vormt tevens het theoretisch kader van waaruit dit onderzoek wordt benaderd.

Waterlopen zoals de Leerinkbeek en de Ramsbeek worden in de stromingsleer als 'Open channels' gezien. In open channel is er sprake van een vrij wateroppervlak waardoor de druk op het wateroppervlak constant is op elk punt van de waterloop, in de meeste gevallen is er sprake van atmosferische druk. Onder invloed van de zwaartekracht stroomt het water door de waterloop.

De kracht in de stroomrichting van het water op de bodem is als volgt:

$$\begin{aligned} \text{(Chezy)} \quad G \times \sin \theta &= M \times g \times \sin \theta \\ &= \rho \times B \times L \times h \times g \times S_o \end{aligned} \quad \text{(Hoekstra, 2012)}$$

Waarin:

M= massa van de 'moot' water(kg)

ρ = dichtheid water (kg/m³)

S_o= bodem verhang

g= Gravitatie kracht (m/s²)

De kracht tegen de stroomrichting van de bodem op het water:

$$\text{Wrijvingskracht} = \tau \times B \times L \quad \text{(Hoekstra, 2012)}$$

Waarbij:

$$\tau = c_f \times \rho \times v^2$$

Waarin:

τ = schuifspanning tussen water en bodem (N/m²)

c_f= Wrijvingscoëfficiënt (-)

v= snelheid (m/s)

Hoe ruwer de bodem is, hoe meer wrijvingskracht het water ondervindt. Voor de beschrijving van de ruwheid van de bodem bestaan verschillende methoden. In dit onderzoek wordt alleen gebruik gemaakt van Chezy, Manning en De Bos & Bijkerk. In zowel de Chezy vergelijking als de Manning vergelijking is de ruwheid alleen afhankelijk van materiaal eigenschappen. De ruwheid is in de methode van De Bos & Bijkerk naast materiaal eigenschappen ook afhankelijk van de waterhoogte.

Als er sprake is van een stationaire eenparige stroming geven de formules van Chezy en Manning een goede beschrijving van snelheid van de stroming als functie van de geometrie, de helling en de bodemruwheid. Bij een stationaire eenparige stroming zijn de wrijvingskracht en de zwaartekracht in evenwicht en is de versnelling nul. Door deze vergelijking kan het debiet en de waterdiepte bepaald worden. Dit resulteert in de volgende beschrijving van het debiet:

$$\text{(Manning)} \quad Q = k_m \times A \times R^{2/3} \times S_o^{1/2} \quad \text{(Fox, McDonald, & Pritchard, 2012)}$$

Waarin:

Q= debiet (m³/s)

A= natte oppervlakte (m²)

k_m=bodemuwheidsfactor (m^{1/3}/s)

R=Hydraulische straal (m)

In de praktijk is er alleen sprake van een stationaire eenparige stroming in aangelegde waterlopen. In waterlopen als de Ramsbeek en Leerinkbeek is dit niet het geval. De stroming van water in dit soort waterlopen wordt beschreven door de Saint Venant vergelijkingen. Deze vergelijkingen zijn gebaseerd op 'the conservation of mass and momentum' (Torfs & Hoitink, 2011).

De Saint Venant vergelijkingen zijn als volgt:

$$g \times \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} + v \times \frac{\partial v}{\partial x} = gS_0 - S_f$$

$$\left(gA - \frac{Q^2 B}{A^2} \right) \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} + 2 \frac{Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} = gAS_0 - gAS_f$$

$$(1) \quad + \quad (2) \quad + \quad (3) \quad = \quad (4) \quad - \quad (5)$$

Waarin:

g =Gravitatie kracht (m/s^2)

x = plaatscoördinaat

Q =Debiet (m^3/s)

A =natte oppervlak (m^2)

v = gemiddelde stroomsnelheid (m/s)

S_0 =Bodemverhang (-)

S_f = Energieverhang (-)

T =breedte op de waterspiegel in m

De afzonderlijke termen vertegenwoordigen:

(1) Bijdrage waterspiegel verhang

(2) Bijdrage snelheidsverandering in de tijd

(3) Bijdrage snelheidsverandering met de afstand

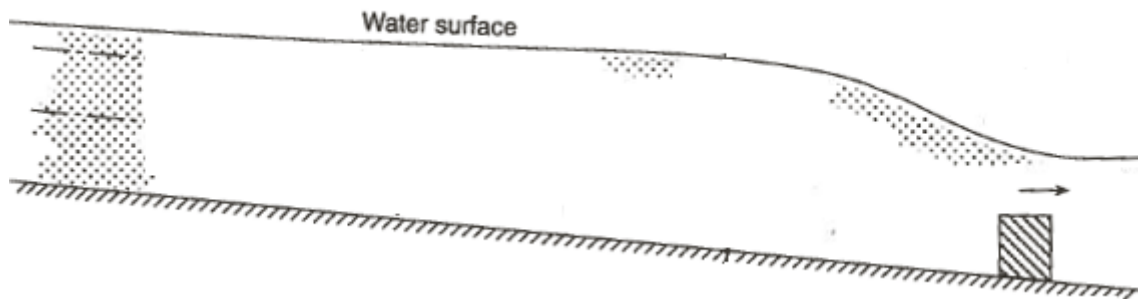
(4) Bijdrage bodemverval

(5) Bijdrage wrijving

Met de Saint Venant vergelijkingen kunnen ook verstoringen in het stroombeeld, zoals veroorzaakt door een kunstwerk of door patches bepaald worden. Verstoringen van het stroombeeld ten gevolge van blokkade door vernauwing of verhoging van de bodem veroorzaken energieverliezen. Hierdoor moet de stroming extra energie gebruiken om de blokkade te passeren. De waterhoogte bovenstrooms van de blokkade is dan ook altijd hoger dan de waterhoogte benedenstrooms van de blokkade.

Afhankelijk van de afmetingen en vorm van de blokkade zijn de energieverliezen groter of kleiner en daarmee is de opstuwing ook groter of kleiner (Nortier & De Koning, 2000). De energieverliezen worden bepaald door de vernauwing, de hoogte waarover de vernauwing van toepassing is en de wrijvingsverliezen die optreden door de bodemruwheid en de lengte waarover de wrijving werkt (André, Bouwknecht, Gelok, & Hartman, 1996).

De afstand waarover de opstuwing doorwerkt wordt door de stuwkromme beschreven, te zien in figuur 9 (Hamill, 2001). De mate van opstuwing en de vorm van de stuwkromme afhankelijk van de heersende stromingsklasse.



Figuur 9. Opstuwing

SOBEK maakt voor het modeleren van waterstanden gebruik van de Saint Venant vergelijkingen. Het programma is echter niet in staat om drie dimensionale Navier-Stokes vergelijking met vrije randvoorwaarde op te lossen. Daardoor is het niet mogelijk om volledige complexe stroming inclusief turbulentie te modeleren.

Afhankelijk van de situatie is het waterspiegelverloop te bepalen door gebruik te maken van de Chezy, Manning of Saint Venant formule. In alle gevallen is het verloop van de waterspiegel afhankelijk van:

1. De bodemruwheidsfactor
2. De geometrie van de waterloop
3. Het bodem verhang S_0 of het verhang van de energielijn S_f
4. Het debiet Q

De aanbreng van dood hout in de beek veroorzaakt verandering in de bodemruwheidsfactor en in de geometrie van de waterloop. De andere twee factoren blijven gelijk of volgen uit de eerste twee factoren.

3.2 De patches

Naast de theoretische beschrijving van de opstuwing is het van belang de opstuwing in de werkelijke situatie te beschrijven. Om de opstuwende werking van de patches goed in beeld te krijgen zijn daarom metingen en veldobservaties gedaan. Allereerst wordt er in het Meetplan uitgewerkt welke metingen zijn gedaan. Vervolgens worden de resultaten gepresenteerd en geanalyseerd.

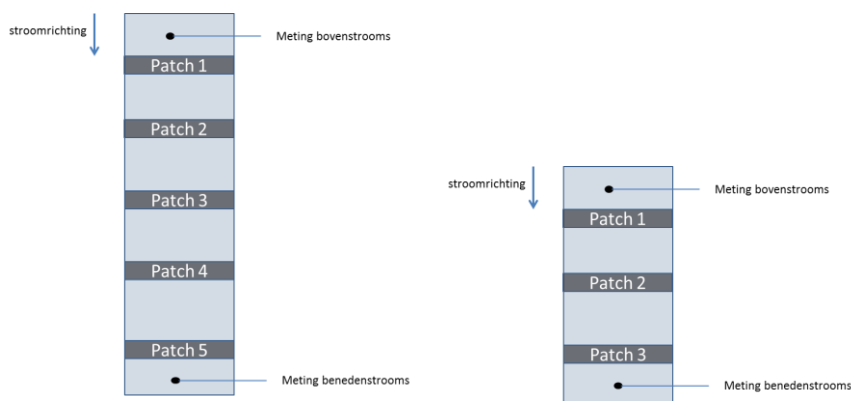
3.2.1 Meetplan

Voor het onderzoek is het van belang om zowel inzicht te krijgen in de waterstanden, als in de Q-h relaties boven en benedenstrooms van de verschillende patches. Hierdoor wordt de opstuwing bij verschillende afvoeren in beeld gebracht. Daarnaast blijkt uit de theorie dat de afmetingen van de patches een belangrijke factor vormen voor de uiteindelijke opstuwing. Om deze gegevens te verkrijgen worden metingen uitgevoerd.

Continu meting:

Start continu metingen Leerinkbeek en Ramsbeek: 06-03-2014.

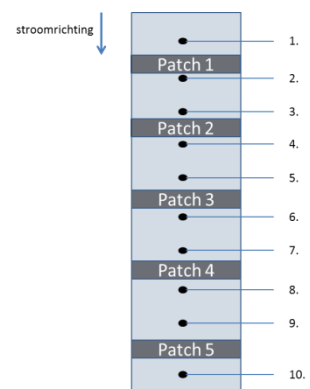
Om de totale opstuwing te bepalen wordt op beide locaties de waterstand boven- en benedenstrooms van het experiment bepaald. De waterstand wordt gemeten met 'divers'. De divermetingen resulteren in een meetreeks met de waterstand van elk uur. De locatie van de divers is aangegeven in Figuur 10.



Figuur 10 Locatie divers

Waterstanden:

Om naast de continue meting een gedetailleerder beeld van waterstanden te krijgen is er met behulp van een waterpasapparaat de waterstanden boven- en benedenstrooms van elke afzonderlijke patch in de Leerinkbeek bepaald. Het verschil tussen de boven- en benedenstroomse meting wordt gezien als opstuwing per patch. De bovenstroomse metingen zijn gedaan op de plek waar de opstuwing het grootst is geschat. De meetlocaties zijn aangegeven in Figuur 11.



Figuur 11 Locaties waterstandbepalingen

Door het ontbreken van verschillende afvoersituaties tijdens de duur van het onderzoek zijn de waterstanden boven- en benedenstrooms van elke afzonderlijke patch maar voor 1 afvoersituatie bepaald. De meting is uitgevoerd op 17-04-2015. Tijdens de meting vond er een afvoer van 0,13 m³/s plaats.

Afmetingen van de patch:

Uit de theorie beschreven in hst. 3.1 blijkt dat de onderstaande factoren van belang zijn voor de opstuwing die een patch veroorzaakt.

- Lengte
- Breedte
 - Maatgevende breedte
- Hoogte
 - Maatgevende overstromhoogte

In de SOBEK schematisatie zal gebruikt gemaakt worden van één breedte, hoogte en lengte maat voor de patches. Daarom is er voor gekozen om een maatgevende breedte en maatgevende overstromhoogte te gebruiken. De SOBEK schematisatie wordt verder uitgewerkt in Hst 4.

In de praktijk is er sprake van een 'rommelige' patch, waarin geen duidelijke afmetingen zijn te bepalen zoals bij een kunstwerk. Daarom worden deze afmetingen ingeschat. Voor de maatgevende breedte geldt dat de breedte van de patch wordt gemeten op de plek waar patch het breedste is. Voor de maatgevende overstromhoogte geldt het punt waarbij overstroming van de patch plaats begint te vinden. Op deze hoogte krijgt het water weer meer ruimte doordat de blokkade door de patch vermindert. De maatgevende overstromhoogte wordt gemeten op dezelfde plek als maatgevende breedte. De hoogte maten zijn bepaald met een waterpasapparaat. De uitwerking van de waterpassing is terug te vinden in de Bijlage I.

Debietmetingen meetstuwen:

Zowel boven- als benedenstrooms van de locatie Leerinkbeek-Meenweg zijn debietmetingen van meetstuwen beschikbaar. Het gaat hierbij om:

Bovenstrooms: Meetstuw Hupselse Beek.

Benedenstrooms: Stuw Leerinkbeek I.

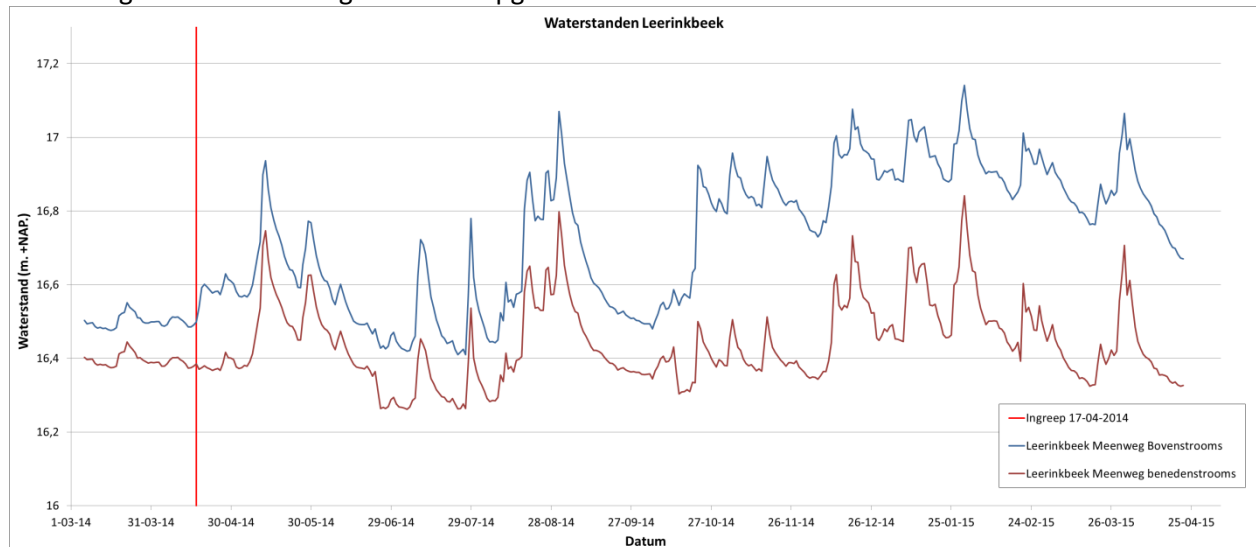
Debietbepaling:

Het debiet van de Leerinkbeek ter hoogte van de patches dood hout is bepaald aan de hand van de specifieke afvoer van het gebied bovenstrooms van meetstuw 'Stuw Leerinkbeek I'. Door lineaire interpolatie op grond van de oppervlakten van de afvoerende gebieden is de afvoer bepaald. De debietbepaling komt overeen met een debietbepaling op grond van de overlaat formule. Deze is toegepast op een overlaat ongeveer 50 m. bovenstrooms van de patches. De uitwerking van de debietbepaling is terug te vinden in de Bijlage II.

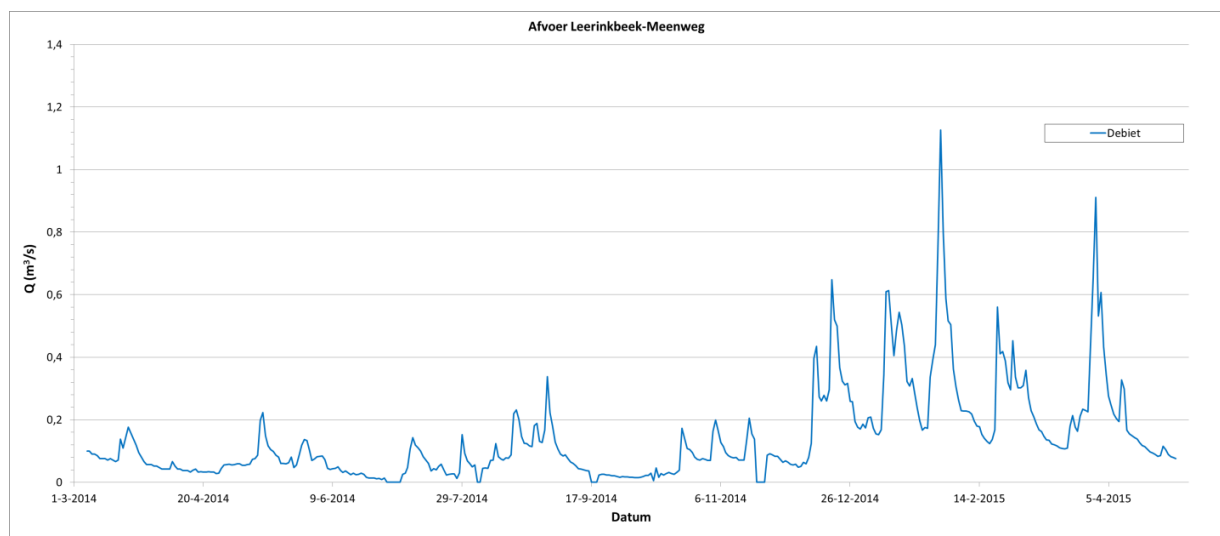
3.2.2 Meetresultaten

In deze paragraaf worden de resultaten van de veldmetingen gepresenteerd. Ook worden de meetresultaten geanalyseerd om de gegevens te kunnen duiden. Er zal alleen ingegaan worden op de Leerinkbeek, locatie Meenweg.

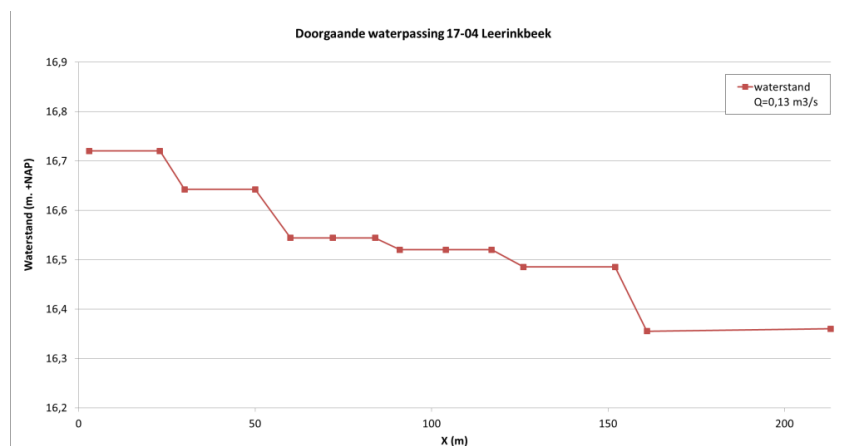
De metingen hebben de volgende data opgeleverd:



Figuur 12. Divermeting Leerinkbeek-Meenweg.



Figuur 13. Debietbepaling Leerinkbeek-Meenweg.



Figuur 14. X-h relatie/Lengteprofiel waterstand Leerinkbeek-Meenweg bij een afvoer van 0,13 m³/s bepaald 17-04-15 m.b.v. een waterpasapparaat.

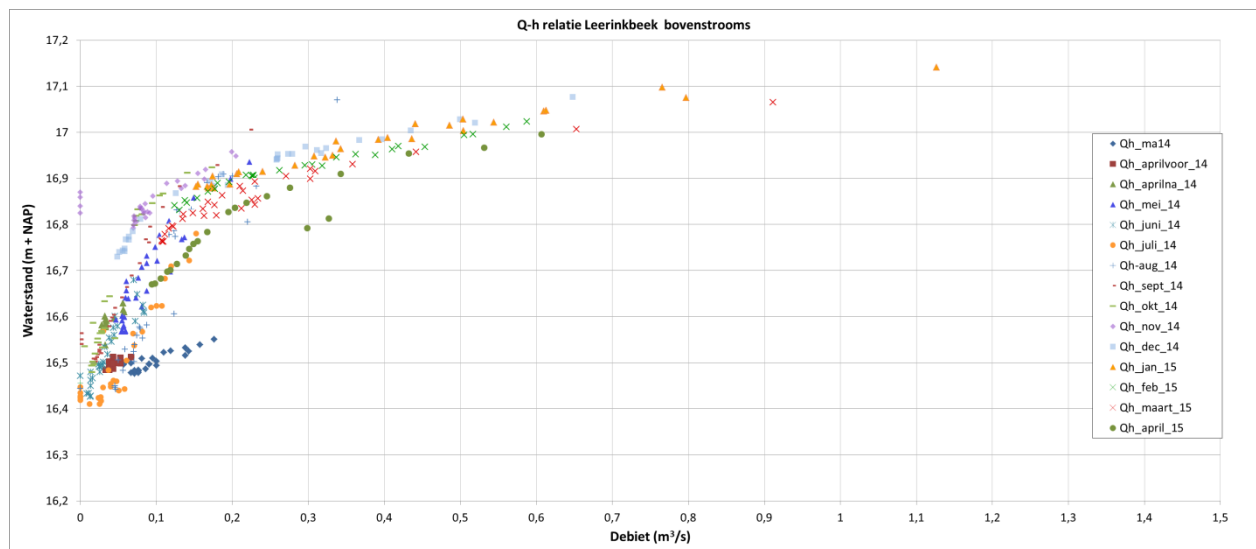
Analyse:

Per meting zijn de opmerkelijkheden opgesomd.

Q-h relaties:

In de boven- en benedenstroomse Q-h relatie zijn de afvoeren van iedere maand afzonderlijk weergegeven. Hierdoor komt de eventuele invloed door de begroeiingstoestand naar voren.

Bovendien zijn 'Qh_ma14' en 'Qh_aprilvoor_14' de Q-h relaties voor dat de dood hout patches zijn aangebracht in de Leerinkbeek.

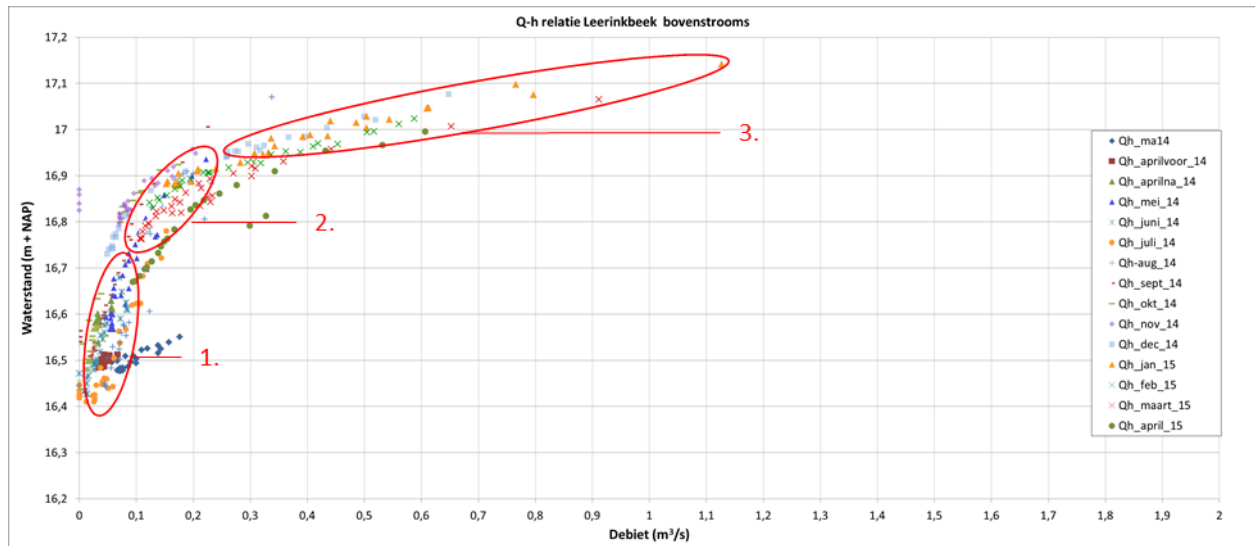


Figuur 15. Q-h relatie benedenstrooms.

Opvallende zaken

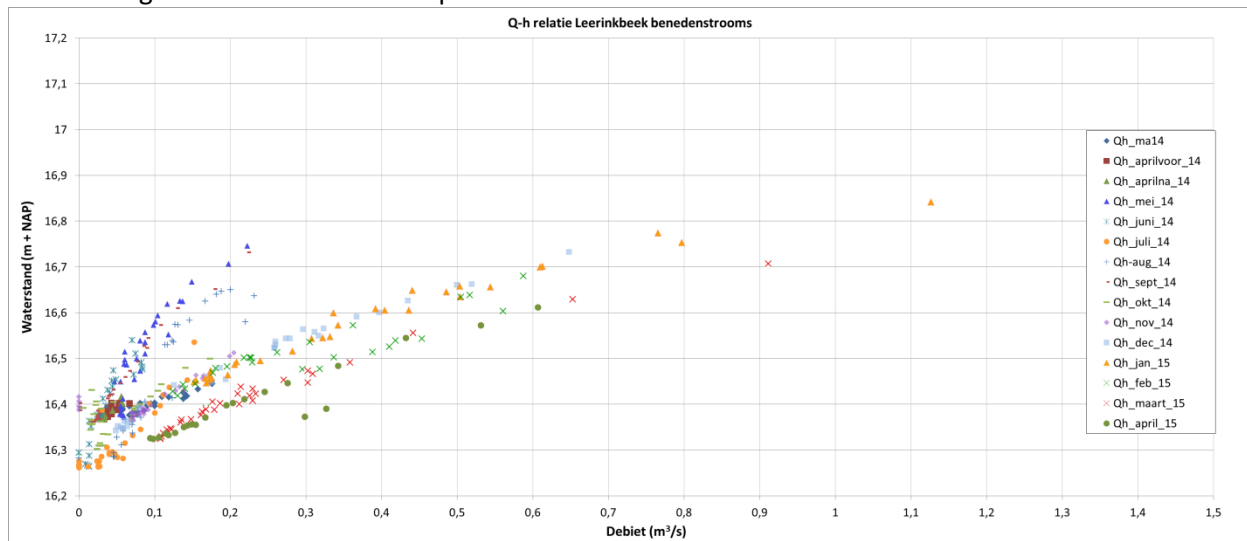
- Er is een duidelijke relatie te onderscheiden.
- Het opstuwende effect van de patches is te onderscheiden. In de relaties 'Qh_ma14' en 'Qh_aprilvoor_14' zijn de waterstanden ten opzichte van de afvoer lager dan in de overige maanden het geval is.
- Er is geen duidelijk verschil tussen de seizoenen te onderscheiden, door de opstuwung door de patches zijn er geen effecten van de begroeiingstoestand. Dit effect is ook terug te zien bij stuwen (Roelofs, 2015).
- Er is geen duidelijke invloed van maaibeurten te onderscheiden
- In de maanden november en december 2014 waren de waterstanden ten opzichte van de afvoer hoog. Kijkend naar de begroeiingstoestand in deze maanden is dit echter niet te verklaren. Afgaand op Eric te Nahuis, onderhoudsmedewerk van het Waterschap Rijn en IJssel wordt dit echter wel te verklaren. In de maanden november en december is er veel maaiafval van de maaibeurten in voorgaande maanden in gevangen door de patches. Daarnaast vindt er ook veel invang van blad plaats. Hierdoor wordt de blokkade door de patch groter. Na verloop van tijd verdwijnt het maaiafval en blad weer.

- De vorm van het doorstroomprofiel is terug te zien in de Q-h relatie. De Q-h relatie is grofweg op te delen in drie stukken.
 1. patch
 2. overstroming patch
 3. overstroming zomerbed



Figuur 16. Verdeling Q-h relatie Leerinkbeek-Meenweg.

De Q-h relatie benedenstrooms van de patches kan als referentie worden gebruikt om de veranderingen veroorzaakt door de patches te duiden



Figuur 17. Q-h relatie benedenstrooms

Opvallende zaken:

- Er is zijn drie duidelijke relaties te onderscheiden
- Er is een duidelijke verdeling tussen de zomer en winter maanden. De maanden mei juni augustus september laten hogere waterstanden zien ten opzichte van de afvoer. In de overige maanden is er sprake van lagere waterstanden bij het zelfde debiet. Dit wordt veroorzaakt door een hogere ruwheid bij meer begroeidere beek.
- De effecten van de maaibeurten zijn duidelijk te onderscheiden. Door een maaibeurt eind juni zijn de waterstanden van de maand juli lager dan de overige zomermaanden. Een aantal metingen uit oktober past in de groep zomermaanden, de overige metingen niet. Dit wordt veroorzaakt door een maaibeurt in oktober.

- Er is een tweedeling in de wintermaanden aanwezig. In de maanden maart, april en een deel van februari 2015 hebben lagere waterstanden plaats gevonden dan de overige maanden.

X-h relaties (lengteprofiel):

In de x-h relatie is te zien dat de grote van de opstuwing per patch zeer verschillend is. De X-h relatie is een moment opname. Deze in namelijk bepaald bij een afvoer van 0,13 m³/s op 17-04-15 m.b.v. een waterpasapparaat.

nr.	naam	delta (m.)	waterstand (m. + NAP)	x (m)
1.	Peilschaal Bov.		16,72	3
2.	bovenstrooms patch 1		16,72	23
3.	benedenstrooms patch 1	0,078	16,64	30
4.	bovenstrooms patch 2		16,64	50
5.	benedenstrooms patch 2	0,098	16,54	60
6.	bovenstrooms patch 3		16,54	84
7.	benedenstrooms patch 3	0,024	16,52	91
8.	bovenstrooms patch 4		16,52	117
9.	benedenstrooms patch 4	0,035	16,49	126
10.	bovenstrooms patch 5		16,49	152
11.	benedenstrooms patch 5	0,13	16,36	161
12.	Peilschaal Ben.		16,36	213
	total delta h	0,365		

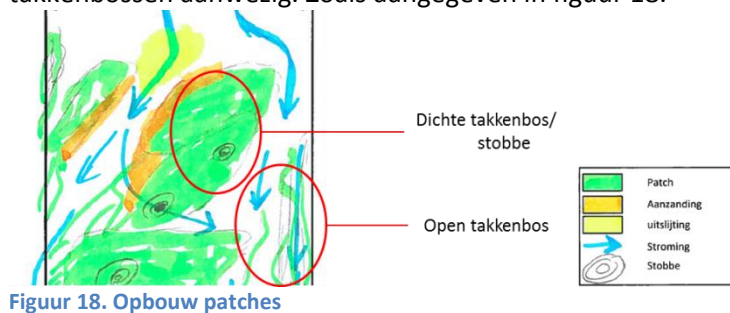
Tabel 5. Resultaten waterpassing 17-04-15

3.2.3 Observatie van de patches

Om een goed beeld te krijgen van de invloed van de dood hout patches is geobserveerd wat de patches doen in de praktijk. Van de patches in de leerinkbeek is in kaart gebracht hoe de patches zijn opbouwt en in hoeverre de stroming wordt beïnvloeding door de patches.

Leerinkbeek-Meenweg

Op de locatie Leerinkbeek-Meenweg is gebruikt gemaakt van takkenbossen en boomstobben om patches te creëren. De patches zijn zeer uiteenlopend opgebouwd, van zeer dichte patches naar open patches. Elke patch op te delen in stukken waar het water om heen stroomt, in deze delen bevinden zich dichte takkenbossen en boomstobben, en stukken waar het water door heen stroomt. In de gedeelten waar het water door heen stroomt is geen hout aanwezig of er zijn open takkenbossen aanwezig. Zoals aangegeven in figuur 18.



Figuur 18. Opbouw patches

De aanbreng van patches heeft in de Leerinkbeek, ondanks hoge afvoeren nauwelijks morfologische veranderingen veroorzaakt. Het dwarsprofiel van de beek vertoont op het traject nauwelijks afwijking van het theoretische doorstroomprofiel. Bij 2 patches is er sprake van verandering in het dwarsprofiel door erosie van de bodem. In de delen tussen de patches hebben geen veranderingen in het dwarsprofiel plaats gevonden.

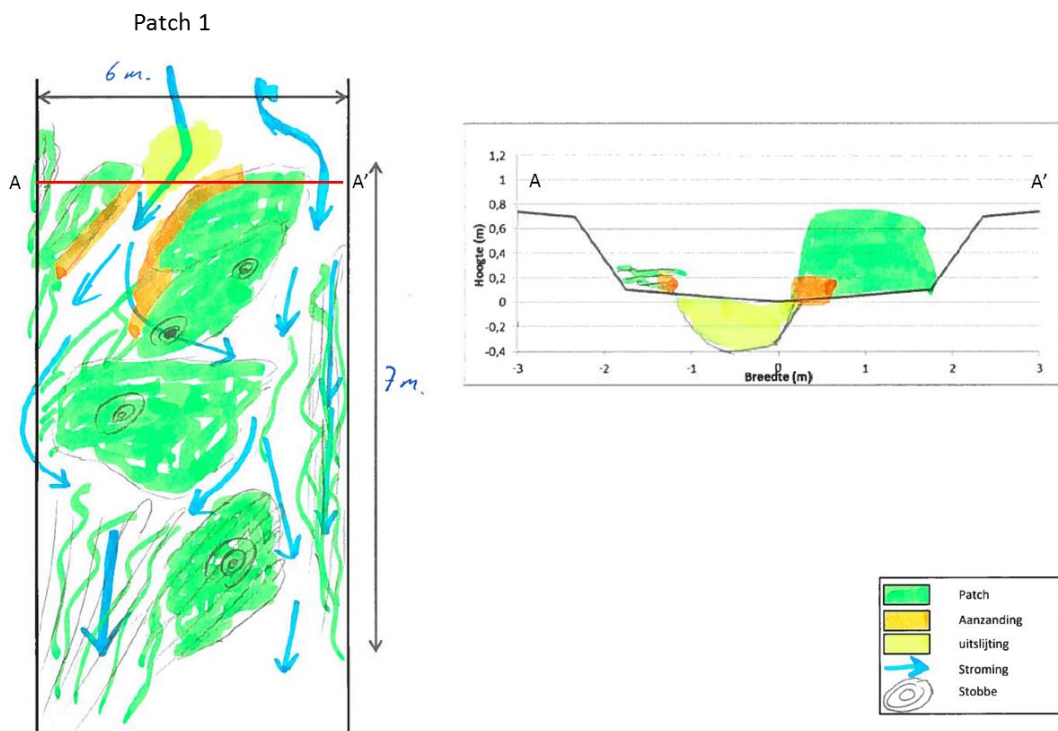
Van elke patch is opbouw en de stroming door de patch beschreven. Naast de beschrijving is de opbouw en stroming van de patches weergegeven in een schets van het bovenaanzicht en een dwarsdoorsnede van de patch.

Patch 1.



Figuur 19. Patch 1

De pacht is zeer dicht. De patch is opgebouwd uit een aantal dichte stukken, bestaand uit dichte takkenbossen en een aantal boomstobben. De takkenbossen bestaan veelal uit dunne takken. Daarnaast zijn er ook stukken met open takkenbossen of met een aantal losse takken. De patch vangt zowel zwerfafval, als maaiafval in. Vlak voor de patch is de bodem ongeveer 17 cm uitgesleten. Rond de voorste takkenbossen is zand afgezet. De patch blokkeert een groot gedeelte van het doorstroombrofiel en heeft daardoor een grote invloed op de stroming. De stroming gaat om de dichte takkenbossen en boomstobben heen. Het water stroomt door de open takkenbossen heen.



Figuur 20. Opbouw patch 1

Tabel 6. Eigenschappen patch 1.

patch 1	
Lengte (m)	6
Breedte (m)	7
Opstuwing (m)	0,08
	Hoogte t.o.v. de bodem (m)
Overstroomhoogte	0,51
Open takkenbossen	0,24

Patch 2.

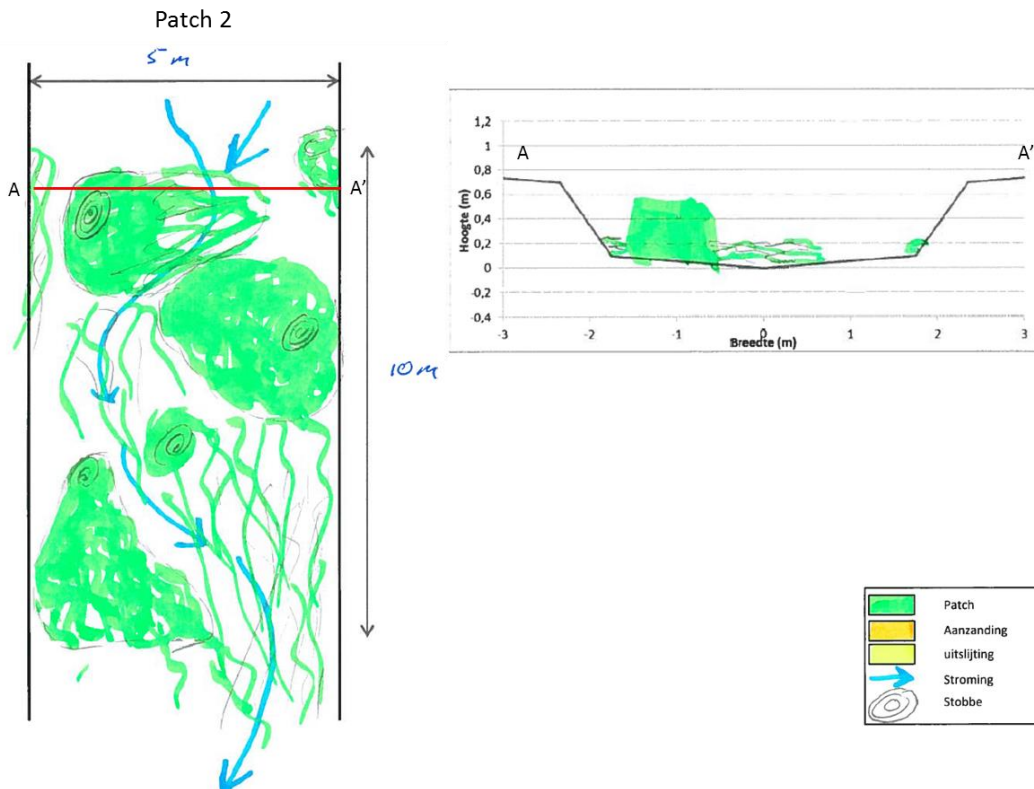


A'

A

Figuur 21. Patch 2

De patch is zeer dicht en bestaat uit dichte takkenbossen en een aantal boomstobben. De takkenbossen bestaan uit zowel dunne als dikke takken. Daarnaast zijn er ook stukken met open takkenbossen of met een aantal losse takken op de bodem van de beek. Er wordt maaiafval in gevangen door de patch. De stroming wordt door de dunne takkenbossen heen geleid. Vooral aan het begin van de patch wordt een groot gedeelte van de beek geblokkeerd, hierdoor blijft er een klein gedeelte over waar het grootste gedeelte van het water doorheen stroomt.



Figuur 22. Opbouw patch 2.

Tabel 7. Eigenschappen patch 2

patch 2	
Lengte (m)	10
Breedte (m)	5
Opstuwing (m)	0,1
	Hoogte t.o.v. de bodem (m)
Overstroomhoogte	0,43
Open takkenbossen	0,27

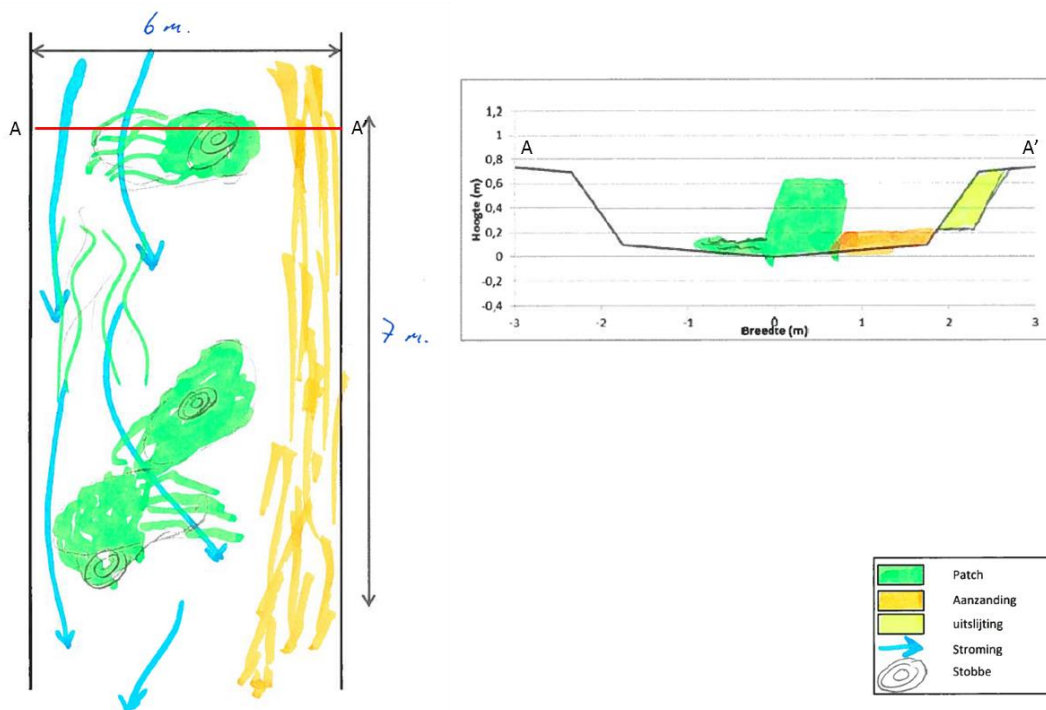
Patch 3.



Figuur 23. Patch 3

De patch is open. Naast de stobben en de dichte takkenbossen zijn er nauwelijks open takkenbossen of losse takken aanwezig. De stroming wordt nauwelijks geleid door de patches en er wordt weinig maaiafval ingevangen. Het doorstroomprofiel is breder dan op andere gedeelten van de beek. Daarnaast is er sprake van aanzanding aan de linkeroever van de beek.

Patch 3



Figuur 24. Opbouw patch 3.

Tabel 8. Eigenschappen patch 3.

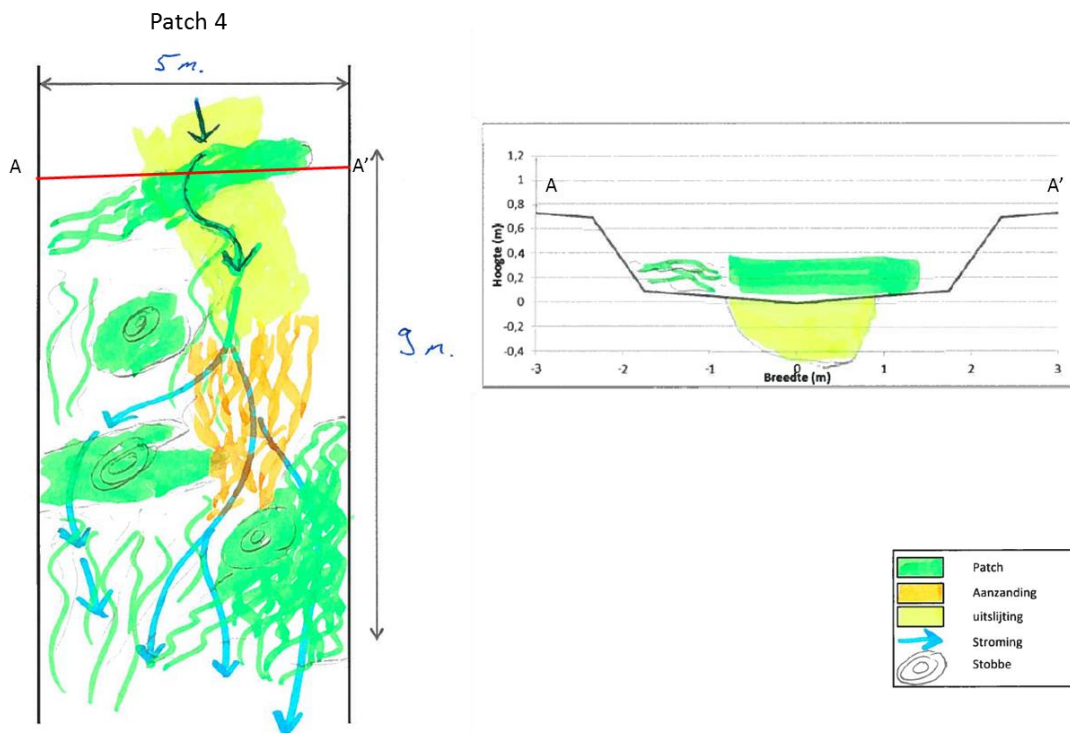
patch 3	
Lengte (m)	7
Breedte (m)	6
Opstuwing (m)	0,02
	Hoogte t.o.v. de bodem (m)
Overstroomhoogte	0,37
Open takkenbossen	0,20

Patch 4.



Figuur 25. Patch 4.

De patch is opgebouwd uit stobben en dichte takkenbossen bestaand uit dunne takken. De patch lijkt redelijk dicht. Het water stroomt echter onder de eerste flard dood hout door. De bodem aan het begin van de patch is de bodem ongeveer 40cm uitgesleten. Het water kan naast de open stukken ook door de takkenbossen stromen doordat gedeelten van de takkenbossen drijven. De patch is hierdoor vrij open.



Figuur 26. Opbouw patch 4.

Tabel 9. Eigenschappen patch 4.

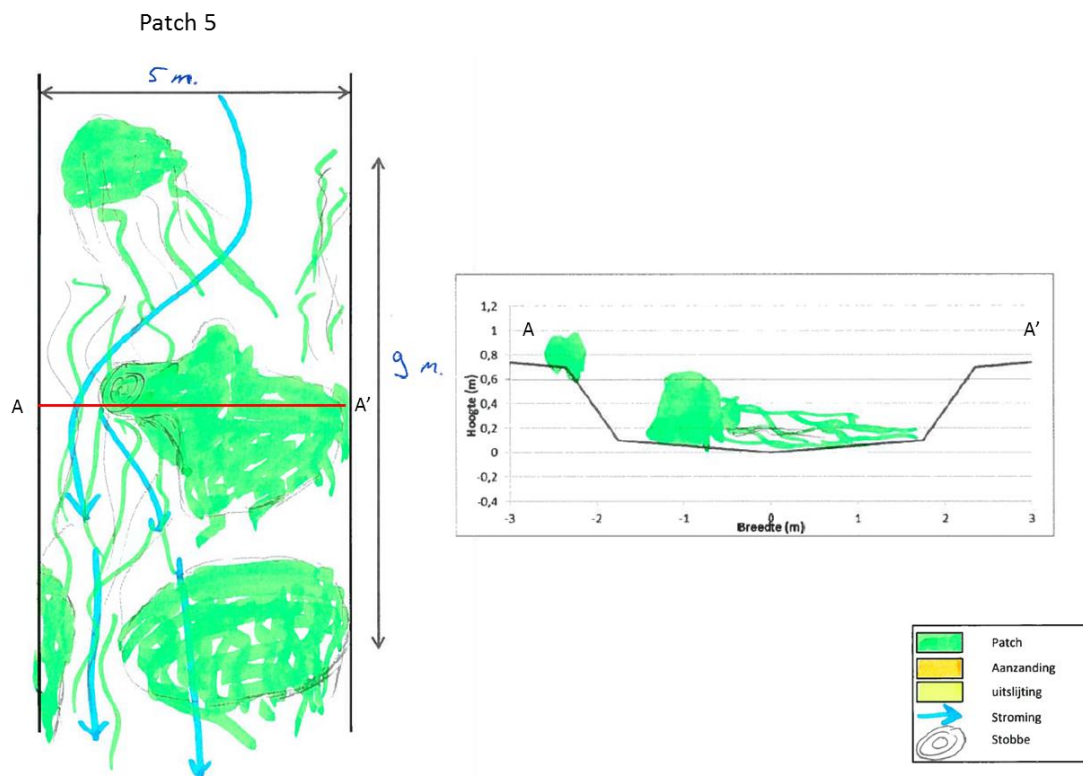
patch 4	
Lengte (m)	9
Breedte (m)	5
Opstuwing (m)	0,04
	Hoogte t.o.v. de bodem (m)
Overstroomhoogte	0,43
Open takkenbossen	0,37

Patch 5.



Figuur 27. Patch 5

De pacht is dicht en is voornamelijk opgebouwd uit dichte takkenbossen en een aantal boomstobben. De takkenbossen bestaan veelal uit dikke takken. Daarnaast zijn er ook stukken met open takkenbossen of met een aantal losse takken. Het water stroomt om de dichte stukken patch heen. Hierdoor wordt de stroming vooral naar een kant van de beek geduwd. Het water gaat op de gedeelten waar het kan stromen door de open takkenbossen heen. Er is geen sprake van verandering van het doorstroomprofiel door morfologische veranderingen.



Figuur 28. Opbouw patch 5

Tabel 10. Eigenschappen patch 5.

patch 5	
Lengte (m)	9
Breedte (m)	5
Opstuwing (m)	0,13
	Hoogte t.o.v. de bodem (m)
Overstroomhoogte	0,46
Open takkenbossen	0,37

3.3 Beoordeling patches

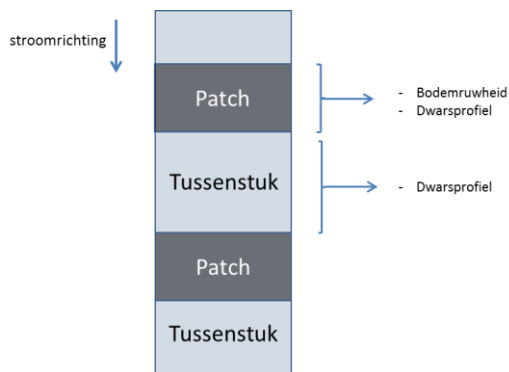
Door de theorie, de meetresultaten en de observaties te combineren is geprobeerd de effecten van het aanbrengen van dood hout patches te begrijpen. Bovendien is gezocht naar specifieke eigenschappen van patches die de bepalend zijn voor de mate van opstuwing. Aan de hand hiervan is een taxatie schema opgesteld. Het taxatieschema zal dienen als uitgangspunt voor de schematisatie van de patches in SOBEK.

Uit de veldobservaties blijkt dat door het aanbrengen van dood hout patches hydromorfologische veranderingen optreden in de beek. Voor patches in het algemeen geldt ten eerste dat de situatie in de beek verandert op de plaats waar dood hout is aangebracht. Ten tweede kunnen er door de aanbreng van de patches veranderingen optreden op de stukken tussen de patches.

De aanbreng van de patches zorgt op de plaats van de patches voor vernauwing van doorstroomprofiel. Bovendien wordt het doorstroomprofiel beïnvloed door de morfologische veranderingen die plaats vinden door de aanbreng van dood hout in de beek. Door de verandering in doorstroomprofiel wordt de stroming in meer of mindere mate beïnvloed. Afgaand op observaties en bekende literatuur zorgt het hout in de beek daarnaast ook voor een verandering van de hydraulische weerstand. Er mag worden aangenomen dat er een verhoging van de hydraulische weerstand plaats vindt op de plaats van de patches.

Door de aanleg van de patches kunnen er ook morfologische veranderingen ontstaan tussen de patches. De morfologische veranderingen zorgen voor een verandering in het doorstroomprofiel tussen de patches.

De veranderingen zijn schematisch weergegeven in Figuur 29. Benedenstrooms van de laatste patch vinden dezelfde morfologische veranderingen plaats als tussen de patches, daarom wordt dit gedeelte van de beek ook als 'Tussenstuk' geschematiseerd.



Figuur 29 Hydrologische veranderingen

3.3.1 Bepalende eigenschappen

In het Waterspiegel profiel, weergegeven in Figuur 14 uit hst 3.2 is te zien dat het opstuwend effect zeer verschillend is per patch. Door de opstuwing per patch te combineren met de theorie en de observaties is ingeschat welke eigenschappen van patches bepalend zijn voor de mate van opstuwing.

Materiaal

Zowel de open als de dichte takkenbossen bevatten veel takken die in de stroming steken. Er wordt aangenomen dat de takken daarmee zorgen voor een verhoging van de hydraulische weerstand (Huthoff F., 2007). Alle patches in de Leerinkbeek zijn uit dezelfde materialen opgebouwd (stobben + takken $\varnothing$ 0-10 cm). De weerstand zal daardoor niet veel verschillen per patch.

Lengte patch

Het is voor de handliggend dat de lengte van de patch invloed heeft op de opstuwing die een patch veroorzaakt. De lengte waarover de verhoogde weerstand werkt heeft invloed op de totale weerstand die het water ondervindt als het door de patch stroomt.

Opbouw patch

Een patch is opgebouwd uit blokkerende en doorstroombare delen. Dichte takkenbossen en boomstobben blokkeren de beek en verkleinen daarmee het doorstroomprofiel. Het water stroomt om deze delen heen. Door de open takkenbossen is stroming nog wel mogelijk. Het doorstroomprofiel wordt daardoor minder beïnvloed.

Maatgevende breedte van de patch

De grootste opstuwing wordt veroorzaakt door patches waarin de grootste vernauwing van het dwarsprofiel plaats vindt door dichte takkenbossen of boomstobben. Dit fenomeen staat ook wel bekend als knijpen. Dit kan worden vergeleken met de blokkade door een kunstwerk(Hst 3.1). Er wordt aangenomen dat gedeelte van de patch waar de grootste vernauwing plaats vindt, maatgevend is voor de opstuwing die de patch veroorzaakt. Deze aanname wordt gemaakt omdat uit de observaties is gebleken dat de grootste sprong in waterstand plaats vindt bij de grootste vernauwing. Daarnaast vereenvoudigd dit de schematisatie in SOBEK. Het gedeelte van de patch waar de grootste vernauwing plaats vindt wordt de maatgevende breedte van de patch genoemd.

Overstroomhoogte

In de Q-h relatie bovenstrooms van de patches is te zien dat bij een hogere waterstand de Q-h relatie afvlakt. Dit is vanaf een bepaalde hoogte te verklaren door de vorm van het doorstroomprofiel. Bij lagere waterstanden wordt dit veroorzaakt door het overstromen van de patches. Wanneer de patches beginnen te overstromen neemt de opstuwing af. Dit komt ook overeen met de theorie over energie verliezen door verstoringen van het stroombeeld(Hst 3.1).

Verandering dwarsprofiel door morfologische verandering

In zowel de Ramsbeek als de Leerinkbeek heeft uitslijting en aanzanding in de patches plaats gevonden. Hierdoor zijn gaten ontstaan in de bodem en is vooral zand afgezet rond de dichte takkenbossen en boomstobben. Dit heeft tot gevolg dat een doorstroomprofiel minder geblokkeerd blijkt te zijn dan in eerste instantie wordt gedacht. Daarnaast hebben de patches in de Ramsbeek morfologische veranderingen tussen de patches veroorzaakt, hierdoor is het dwarsprofiel tussen de patches verandert. In de Leerinkbeek is hier geen sprake van.

3.3.2 Taxatieschema

Om de patches goed te kunnen vergelijken worden de patches beoordeeld aan de hand van een taxatieschema. In het taxatieschema zijn de hiervoor beschreven bepalende eigenschappen opgenomen. het taxatieschema zal als uitgangspunt dienen om een inschatting te kunnen maken van de parameterwaarden voor het SOBEK-model.

De patches worden beoordeeld op de volgende eigenschappen:

1. Algemene eigenschappen
 - Lengte
2. Materiaal
 - Materiaal blokkerende stukken
 - Materiaal doorstroombare stukken
3. Verkleining van het doorstroomprofiel
 - Blokkerende stukken
 - Maatgevende Breedte
 - Overstroomhoogte
 - Doorstroombare stukken
 - Maatgevende Breedte
 - Overstroomhoogte
4. Morfologische veranderingen
 - Veranderingen in het dwarsprofiel ter plaatse van de patches
 - Veranderingen in het dwarsprofiel in de tussenstukken

In onderstaande tabel is het taxatieschema weergegeven.

Tabel 11. Taxatieschema

Patch		
Beoordelingscriteria		eenheid
1	Algemene eigenschappen	
	Lengte	(m)
2	Materiaal	
	Blokkerende stukken	Stobben, takkenbossen, Ø takken
	Doorstroombare stukken	Stobben, takkenbossen, Ø takken
3	Verkleining van het doorstroomprofiel	
	Blokkerende stukken	
	Maatgevende breedte	(m)
	Maatgevende overstroomhoogte	(m)
	Doorstroombare stukken	
	Maatgevende breedte	(m)
	Maatgevende overstroomhoogte	(m)
4	Morfologische veranderingen	
	Verandering van het dwarsprofiel patch	(m ²)
	Verandering van het dwarsprofiel tussenstuk	(m ²)

Tabel 12. Taxatie patches

Patch 1				
Beoordelingscriteria				
1 Algemene eigenschappen				
Lengte		(m)		7
2 Materiaal				
Blokkerende stukken			Stobben + takken Ø 0-5 cm	
Doorstroombare stukken			takken Ø 0-5 cm	
3 Verkleining van het doorstroomprofiel				
Blokkerende stukken	Maatgevende breedte	(m)		2,5
	Maatgevende overstroomhoogte	(m)		0,51
Doorstroombare stukken	Maatgevende breedte	(m)		2
	Maatgevende overstroomhoogte	(m)		0,24
4 Morfologische veranderingen				
Verandering van het dwarsprofiel patch		(m ²)	uitslijting 0,17 x 0,5 m=	0,085
Verandering van het dwarsprofiel tussenstuk		(m ²)	geen	

Patch 1

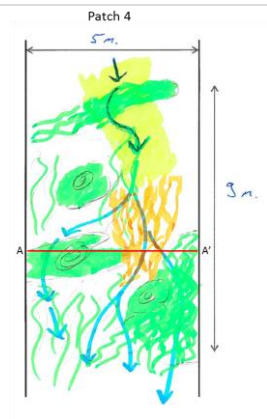
Patch 2				
Beoordelingscriteria				
1 Algemene eigenschappen				
Lengte		(m)		10
2 Materiaal				
Blokkerende stukken			Stobben + takken Ø 0-5 cm	
Doorstroombare stukken			takken Ø 0-5 cm	
3 Verkleining van het doorstroomprofiel				
Blokkerende stukken	Maatgevende breedte	(m)		3,5
	Maatgevende overstroomhoogte	(m)		0,43
Doorstroombare stukken	Maatgevende breedte	(m)		1
	Maatgevende overstroomhoogte	(m)		0,27
4 Morfologische veranderingen				
Verandering van het dwarsprofiel patch		(m ²)	geen	
Verandering van het dwarsprofiel tussenstuk		(m ²)	geen	

Patch 2

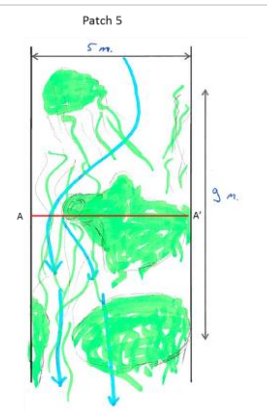
Patch 3				
Beoordelingscriteria				
1 Algemene eigenschappen				
Lengte		(m)		7
2 Materiaal				
Blokkerende stukken			Stobben + takken Ø 0-5 cm	
Doorstroombare stukken			takken Ø 0-5 cm	
3 Verkleining van het doorstroomprofiel				
Blokkerende stukken	Maatgevende breedte	(m)		1
	Maatgevende overstroomhoogte	(m)		0,37
Doorstroombare stukken	Maatgevende breedte	(m)		1
	Maatgevende overstroomhoogte	(m)		0,2
4 Morfologische veranderingen				
Verandering van het dwarsprofiel patch		(m ²)	aanzanding, geen effect op profiel	
Verandering van het dwarsprofiel tussenstuk		(m ²)	geen	

Patch 3

Patch 4			
Beoordelingscriteria			
1 Algemene eigenschappen			
Lengte	(m)		9
2 Materiaal			
Blokkerende stukken		Stobben + takken Ø 5-10 cm	
Doorstroombare stukken		takken Ø 5-10 cm	
3 Verkleining van het doorstroomprofiel			
Blokkerende stukken	Maatgevende breedte	(m)	2
	Maatgevende overstroomhoogte	(m)	0,43
Doorstroombare stukken	Maatgevende breedte	(m)	0,5
	Maatgevende overstroomhoogte	(m)	0,37
4 Morfologische veranderingen			
Verandering van het dwarsprofiel patch		(m ²)	uitslijting 0,43x1= 0,43
Verandering van het dwarsprofiel tussenstuk		(m ²)	geen

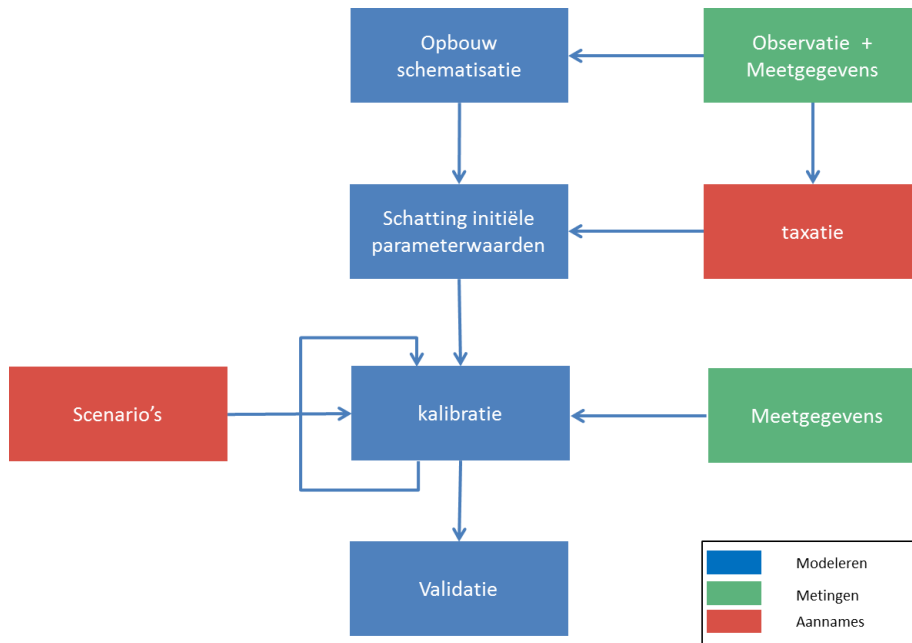


Patch 5			
Beoordelingscriteria			
1 Algemene eigenschappen			
Lengte	(m)		9
2 Materiaal			
Blokkerende stukken		Stobben + takken Ø 0-10 cm	
Doorstroombare stukken		takken Ø 0-10 cm	
3 Verkleining van het doorstroomprofiel			
Blokkerende stukken	Maatgevende breedte	(m)	2
	Maatgevende overstroomhoogte	(m)	0,46
Doorstroombare stukken	Maatgevende breedte	(m)	3
	Maatgevende overstroomhoogte	(m)	0,37
4 Morfologische veranderingen			
Verandering van het dwarsprofiel patch		(m ²)	geen
Verandering van het dwarsprofiel tussenstuk		(m ²)	geen



4. Methode parametrisatie

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de opstuwingeffecten gemodelleerd worden met behulp van SOBEK en hoe dit model gekalibreerd en gevalideerd wordt. Het proces om tot een model te komen bestaat uit verschillende onderdelen. De onderdelen van het proces en de samenhang van de verschillende onderdelen zijn weergegeven in onderstaand figuur.



Figuur 30. Methode parametrisatie

De blauwe blokken geven de modelleeractiviteiten weer. De groene en rode blokken geven aan welke input wordt gebruikt om de modelleeractiviteiten uit te voeren. De beschrijving van de verschillende onderdelen volgt in onderstaande paragrafen.

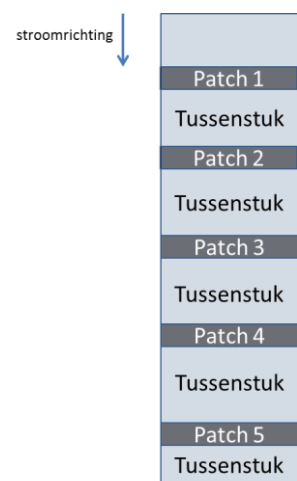
4.1 Opbouw schematisatie

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een bestaand model van de Leerinkbeek. Het model, 'Huidige situatie_Basis_BB34' is door het waterschap Rijn en IJssel gebruikt bij een herinrichtingsproject in het gebied. Het model sluit aan op vorm en de dwarsprofielen van de Leerinkbeek in de huidige situatie. In het model wordt uitgegaan van een begroeiingstoestand tijdens de winter. De weerstand die het water ondervindt terwijl het door de beek stroomt wordt in de watergangen weergegeven door 'De Bos en Bijkerk' bodemruwheidscoëfficiënt 34(-).

Schematisatie van de dood hout patches.

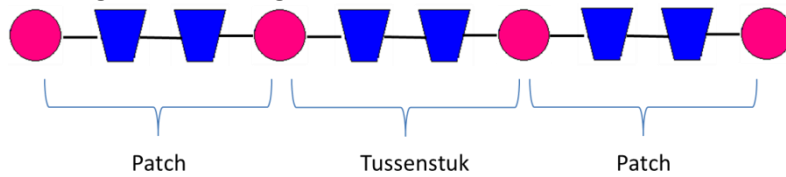
In het basis model is een schematisatie van de dood hout patches toegevoegd aan het model om de situatie te kunnen modelleren. SOBEK is een één-dimensionaal rekenmodel. Omdat de situatie toch in SOBEK te kunnen weergegeven zullen niet één-dimensionale effecten, zoals secundaire stroming, geparameteriseerd worden. De situatie zal daarom versimpeld geschematiseerd moeten worden.

Aansluitend op het de observaties en meetgegevens in hst.3 wordt in de SOBEK schematisatie onderscheid gemaakt tussen patches en de stukken tussen de patches. Daarnaast komt naar voren dat op de plaats van de patches veranderingen in het doorstroomprofiel en de hydraulische weerstand ontstaan. Tussen de patches kunnen veranderingen in het



Figuur 31. Schematisatie patches

doorstroomprofiel plaats vinden. Dit resulteert in de schematisatie aangegeven in figuur 32. In SOBEK geeft dit de volgende schematisatie:



Figuur 32. SOBEK schematisatie

Er is voor gekozen om de afzonderlijke delen in het model te scheiden door connection nodes. Hierdoor wordt voorkomen dat de weerstand coëfficiënt en het dwarsprofiel worden gemiddeld over het hele traject.

Afgaand op bekende theorieën en observaties is er voor gekozen om in het model voor elk deel van het traject de volgende eigenschappen te definiëren:

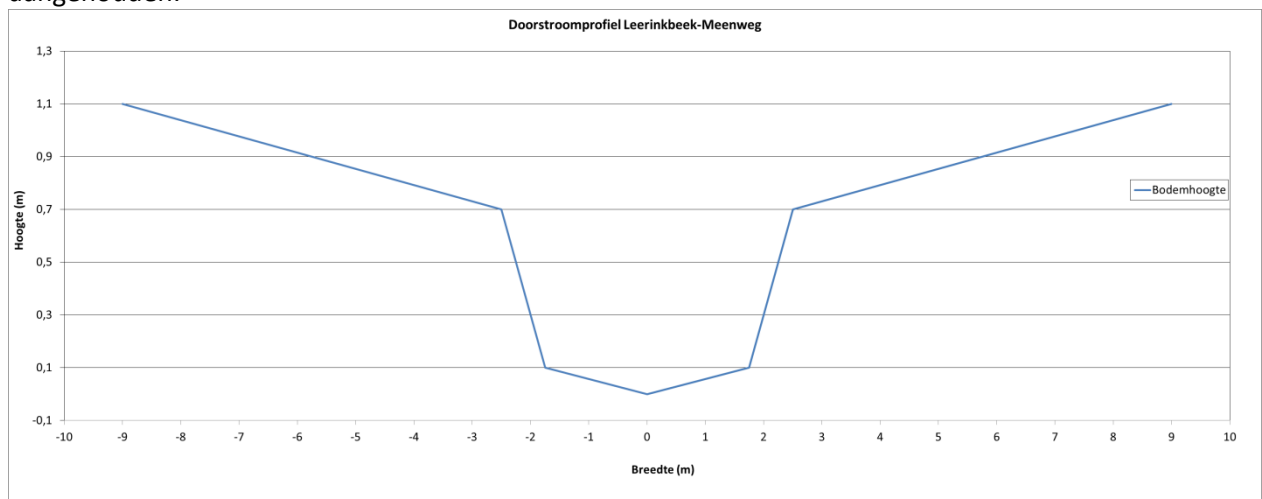
- doorstroomprofiel van patch en tussenstuk
- bodemruwheidscoëfficiënt
- De lengte van patch en tussenstuk

De patches

Er is voor gekozen om de verschillen tussen de patches te verwerken in de schematisatie van het doorstroomprofiel en de lengte van de verschillende patches. Alle patches hebben dezelfde bodemruwheidscoëfficiënt in het model.

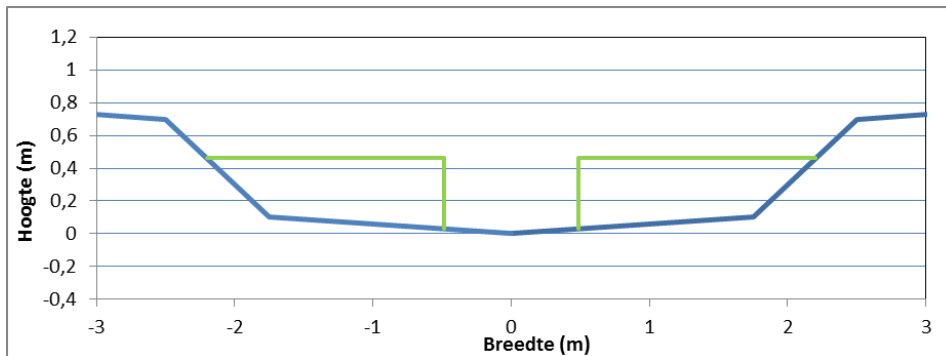
Doorstroomprofiel:

In het basis model wordt gebruik gemaakt theoretische dwarsprofielen. De theoretische waarden sluiten aan op de huidige situatie zoals de Leerinkbeek er in de praktijk bij ligt. Voor het traject waar de patches liggen, Leerinkbeek-Meenweg wordt het volgende dwarsprofiel van de beek aangehouden:



Figuur 33. Het in SOBEK gebruikte doorstroomprofiel

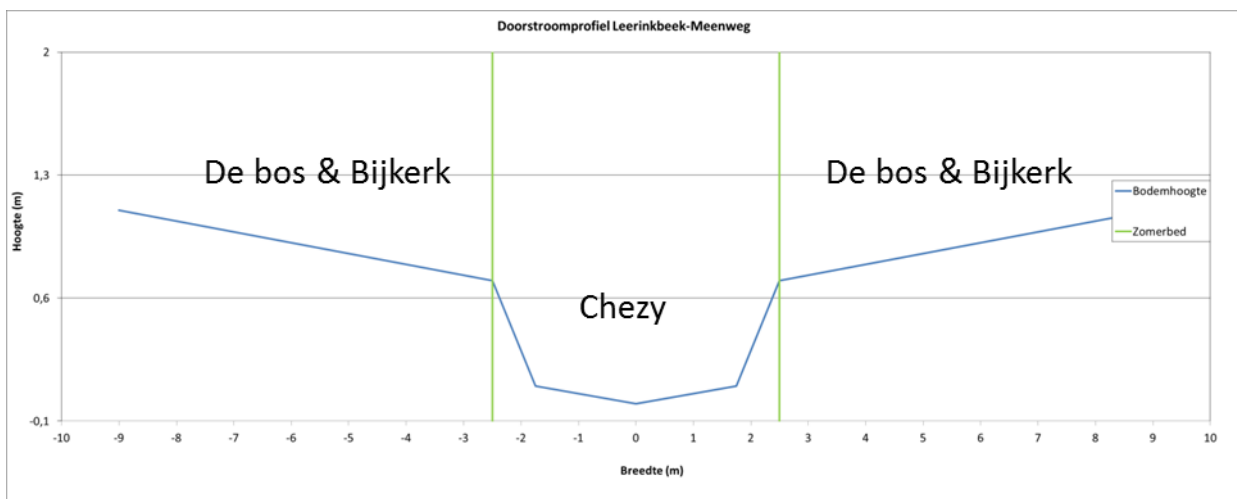
De verandering van het doorstroomprofiel door de patches wordt geschematiseerd als 2 rechthoekige blokken in het zomerbed. Met de blokken wordt het dwarsprofiel verkleind zoals in figuur 34. Voor elke patch wordt aan de hand van het taxatieschema het dwarsprofiel bepaald. In hst 4.2 'Schatting parameterwaarden' wordt de opbouw van het dwarsprofiel per patch in meer detail uitgewerkt.



Figuur 34. Schematisatie blokkade doorstroomprofiel door patch in het zomerbed

Bodemruwheidscoëfficiënt :

Anders dan de rest van het model, wordt de bodemruwheid van het zomerbed van de patches weergegeven door de Chezy coëfficiënt en niet door De Bos en Bijkerk. Chezy is namelijk het meest geschikt gebleken om doorstroomde vegetatie (hoge rietsoorten, boomgaarden) weer te geven (Huthoff F. , 2014). Om dat de patches uit vrijwel dezelfde materialen zijn opgebouwd hebben alle patches dezelfde bodemruwheidscoëfficiënt. Het winterbed behoud dezelfde bodemruwheidscoëfficiënt als in het basis model, namelijk De Bos en Bijkerk $k_M = 34(m^{1/3}/s)$. De verdeling van de bodemruwheid is aangegeven in figuur 34.



Figuur 35. Beschrijving bodemruwheid patches

Lengte:

De lengte van de patch waarover het doorstroomprofiel en de bodemruwheidscoëfficiënt wordt toegepast in het model is gelijk aan de lengte van de patch in het veld.

De tussenstukken

Omdat er in de Leerinkbeek geen sprake is van veranderingen van de tussenstukken, zal de schematisatie uit het basis model worden aangehouden. Er wordt gebruik gemaakt van het doorstroomprofiel uit figuur 32 en de wrijvingskracht die de bodem op het water uitoefent wordt beschreven door De Bos en Bijkerk $k_M = 34(m^{1/3}/s)$.

4.2 Schatting parameterwaarden

Door gebruik te maken van de taxatie van de veldsituatie uit hst 3, kan een schatting gemaakt worden van de initiële parameterwaarden van het model. Sobek is een eendimensionaal rekenmodel. De effecten van twee- en driedimensionale effecten, zoals secundaire stroming kunnen niet bepaald worden. Omdat de situatie toch in SOBEK te kunnen weergeven zullen deze effecten geparameteriseerd worden. Er zal worden aangegeven hoe de waarden uit het taxatieschema geparameteriseerd worden en worden omgezet naar een schematisatie in SOBEK. Dit gebeurt alleen voor de patches. De waarden uit het basis model worden gebruikt voor de tussenstukken.

Bodemruwheidscoëfficiënt

Voor de bodemruwheidscoëfficiënt van het zomerbed van de patch wordt in eerste instantie gekozen voor een Chezy-waarde van $15 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$. Er wordt voor deze waarde gekozen omdat deze waarde door het Waterschap Rijn en IJssel wordt gebruikt voor het weergeven van de weerstand die wordt veroorzaakt door zomer vegetatie. De dikte van de takken in de patch is te vergelijken met de dikte van zomer vegetatie.

Lengte patches

De lengte van de patch in het model is gelijk aan de lengte van de patch in het veld.

Parametrisatie doorstroomprofiel patches

Er is voor gekozen om de verandering van het doorstroomprofiel door de patches te schematiseren als twee rechthoekige blokken in het zomerbed. In figuur 34 is hier een voorbeeld van te zien.

Er is voor deze manier van schematisatie gekozen om dat het makkelijk is over te zetten naar SOBEK en net zo als in het veld komen de onderstaande zaken zo terug in de schematisatie

- oppervlakte blokkade
- overstroom hoogte
- versmallen van het profiel -> knijp effect -> dit komt niet terug als er bijvoorbeeld een blok over de hele breedte wordt gebruikt.

De afmeting van de twee blokken worden bepaald door onderstaande eigenschappen te parametriseren.

3. Verkleining van het doorstroomprofiel

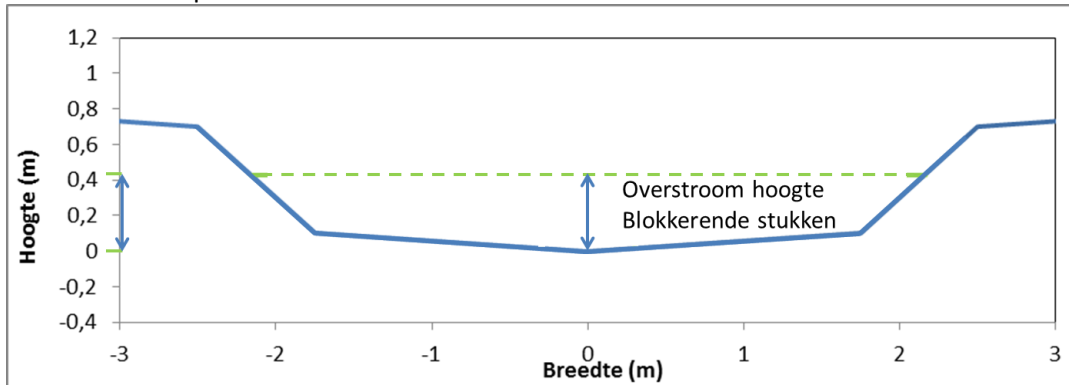
- Blokkerende stukken
 - Maatgevende Breedte
 - Overstroomhoogte
- Doorstroombare stukken
 - Oppervlakte

4. Morfologische veranderingen

- Veranderingen in het dwarsprofiel ter plaatse van de patches

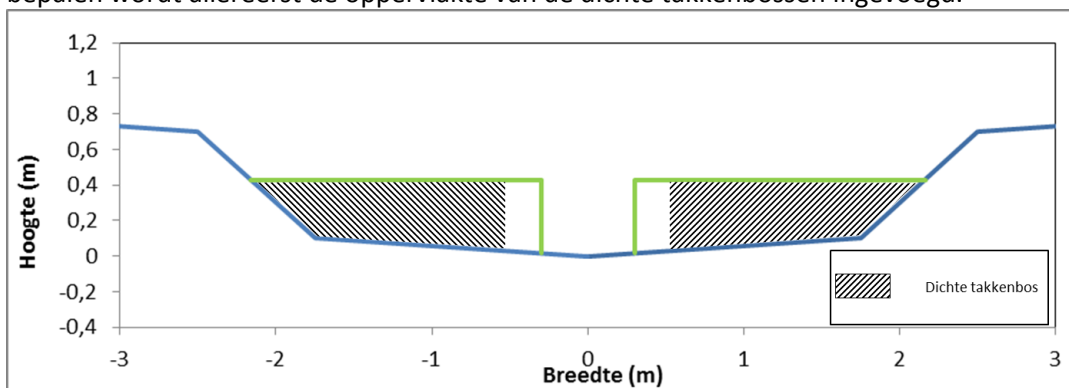
De parametrisatie van de waarden uit het taxatieschema bestaat uit verschillende stappen. Om inzicht te krijgen in de opbouw van de blokken zijn de stappen van de opbouw aan de hand van een aantal afbeeldingen uitgewerkt.

De hoogte van de blokken in de schematisatie is gelijk aan de overstroomhoogte van de blokkerende stukken van de patch.



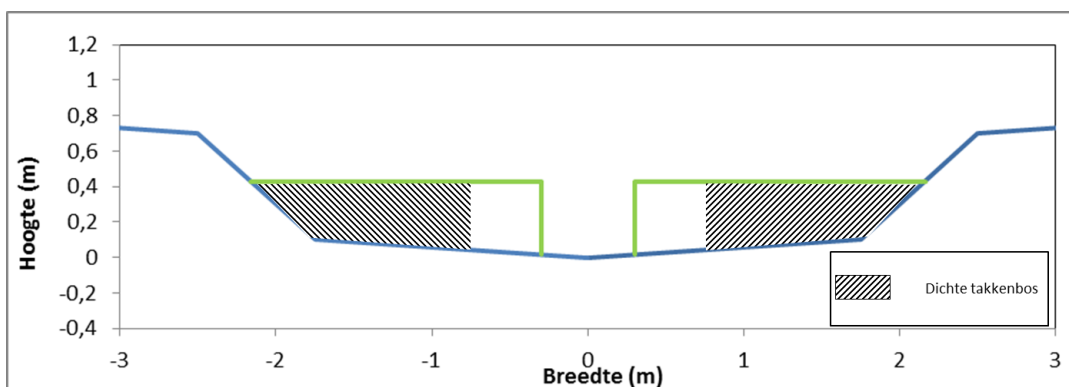
Figuur 36. Overstroom hoogte in de schematisatie

Het totale oppervlak wordt verdeeld over de twee blokken. Om de breedte van de blokken te bepalen wordt allereerst de oppervlakte van de dichte takkenbossen ingevoegd.



Figuur 37. Oppervlakte dichte takkenbossen in de schematisatie

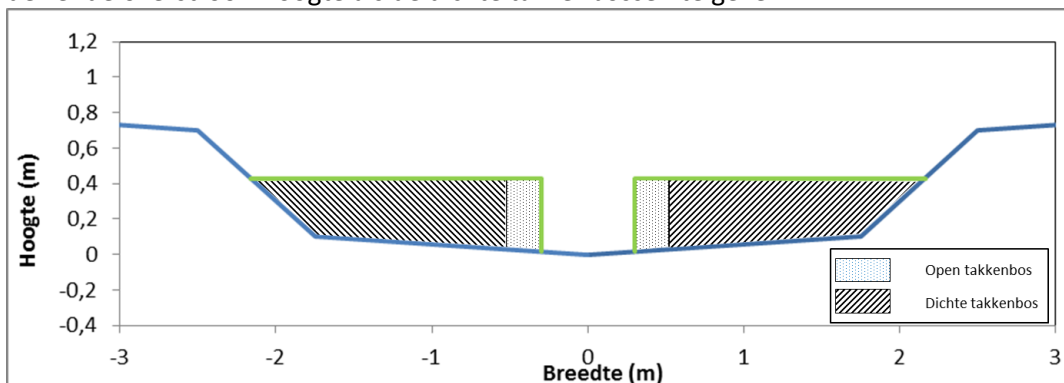
Vervolgens wordt de uitsluiting of aanzanding verwerkt. In dit voorbeeld is er sprake van uitsluiting, hierdoor neemt het oppervlakte af.



Figuur 38. Oppervlakte uitsluiting/aanzanding in de schematisatie

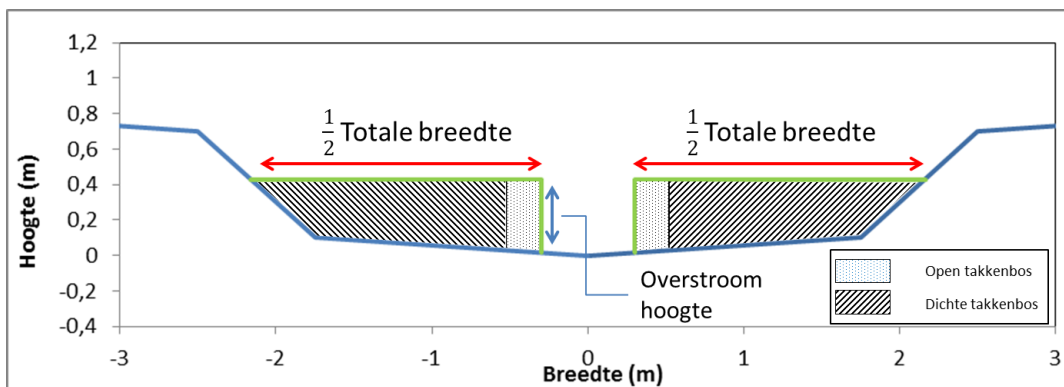
De open takkenbossen zorgen ook voor een verkleining van het doorstroomprofiel. Door deze takkenbossen is echter nog wel stroming mogelijk. De dichtheid van de open takkenbossen is ongeveer 30%, daarmee is de verkleining van het doorstroomprofiel ook 30% van het totale oppervlak van de open takkenbossen. Daarom zal de totale blokkade van het doorstroomprofiel

worden vergroot met 30% van oppervlakte van de open takkenbossen. De correctie van de oppervlakte van de open takkenbossen door de dichtheid is verwerkt in een correctie factor. Deze correctiefactor is weergegeven in de parametrisatietabel. Er is ervoor gekozen de open takkenbossen de zelfde overstroomhoogte als de dichte takkenbossen te geven.



Figuur 39. Oppervlakte open takkenbossen in de schematisatie

Hiermee zijn alle onderdelen van de blokkade ingevoegd. In figuur 40 zijn de onderdelen van de opbouw nog eens samengevat.



Figuur 40. Opbouw schematische blokkade van het doorstroomprofiel

Dit resulteert in de volgende parameterwaarden:

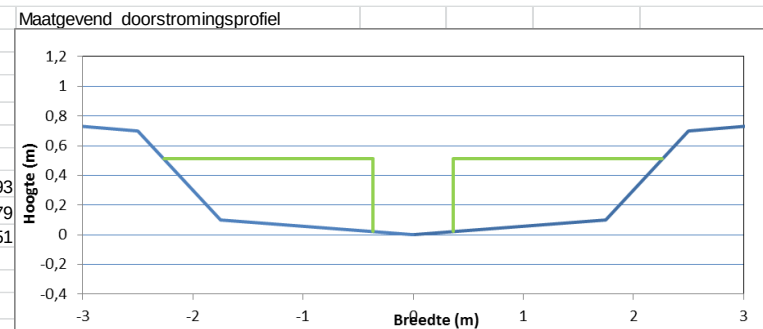
Tabel 13. Parameterwaarden

Beoordelingscriteria				Patch 1		Maatgevend doorstromingsprofiel	
1 Algemene eigenschappen							
Lengte		(m)	7				
2 Materiaal				Chezy waarde ($m^{1/2}/s$)			
Blokkerende stukken		Stobben + takken Ø 0-5 cm		15			
Doorstroombare stukken		takken Ø 0-5 cm					
3 Verkleining van het doorstroomprofiel				Geometrie patch			
Blokkerende stukken			2,5	1	Opp. blokkade (m^2)	1,93	
		Maatgevende overstroomhoogte (m)	0,51	1	Totale breedte (m)	3,79	
Doorstroombare stukken		Maatgevende breedte (m)	2	0,3	Hoogte (m)	0,51	
		Maatgevende overstroomhoogte (m)	0,24	0,3			
4 Morfologische veranderingen							
Verandering van het dwarsprofiel patch		(m^2)	uitslijting 0,17 x 0,5 m=0,085	1			
Verandering van het dwarsprofiel tussenstuk		(m^2)	geen	1			

Hoogte (m)		Breedte (m)	
1,2		-3	
1		-2	
0,8		-1	
0,6		0	
0,4		1	
0,2		2	
0		3	
-0,2			
-0,4			

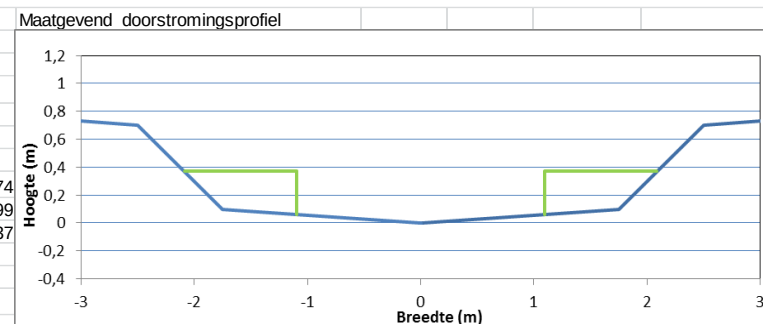
Beoordelingscriteria				Patch 2		Maatgevend doorstromingsprofiel	
1 Algemene eigenschappen							
Lengte		(m)	10				
2 Materiaal				Chezy waarde ($m^{1/2}/s$)			
Blokkerende stukken		Stobben + takken Ø 0-5 cm		15			
Doorstroombare stukken		takken Ø 0-5 cm					
3 Verkleining van het doorstroomprofiel				Geometrie patch			
Blokkerende stukken			3,5	1	Opp. blokkade (m^2)	1,58	
		Maatgevende overstroomhoogte (m)	0,43	1	Totale breedte (m)	3,67	
Doorstroombare stukken		Maatgevende breedte (m)	1	0,3	Hoogte (m)	0,43	
		Maatgevende overstroomhoogte (m)	0,27	0,3			
4 Morfologische veranderingen							
Verandering van het dwarsprofiel patch		(m^2)	geen	1			
Verandering van het dwarsprofiel tussenstuk		(m^2)	geen	1			

Hoogte (m)		Breedte (m)	
1,2		-3	
1		-2	
0,8		-1	
0,6		0	
0,4		1	
0,2		2	
0		3	
-0,2			
-0,4			



Beoordelingscriteria				Patch 3		Maatgevend doorstromingsprofiel	
1 Algemene eigenschappen							
Lengte		(m)	7				
2 Materiaal				Chezy waarde (m ^{1/2} /s)			
Blokkerende stukken		Stobben + takken Ø 0-5 cm		15			
Doorstroombare stukken		takken Ø 0-5 cm					
3 Verkleining van het doorstroomprofiel				Geometrie patch			
Blokkerende stukken		Maatgevende breedte	(m)	1	Opp. blokkade (m ²)	0,74	
		Maatgevende overstromhoogte	(m)	0,37	1 Totale breedte (m)	1,99	
Doorstroombare stukken		Maatgevende breedte	(m)	1	0,3 Hoogte (m)	0,37	
		Maatgevende overstromhoogte	(m)	0,2	0,3		
4 Morfologische veranderingen							
Verandering van het dwarsprofiel patch		(m ²)	aanzanding, geen effect op p	1			
Verandering van het dwarsprofiel tussenstuk		(m ²)	geen	1			

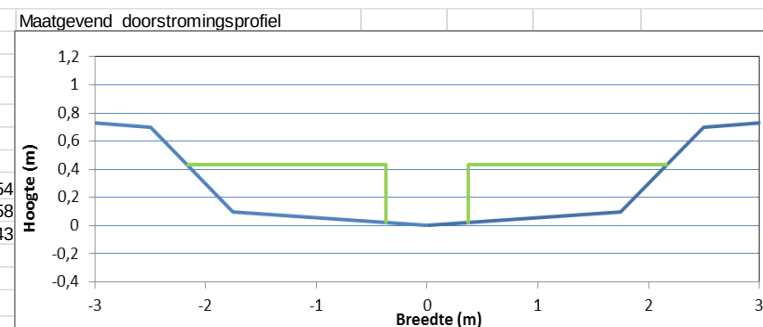
The graph displays a cross-section profile with height (m) on the y-axis (ranging from -0.4 to 1.2) and width (m) on the x-axis (ranging from -3 to 3). The profile is a blue line that starts at approximately 0.75m height at x = -3m, drops to a minimum of about 0.1m at x = -1.5m, rises slightly to 0.2m at x = 0m, and then rises to about 0.7m at x = 3m. Two green rectangles highlight the blockage areas: one from x = -1.5m to x = -1m with a height of 0.37m, and another from x = 1m to x = 1.5m with a height of 0.37m.



Patch 4					
Beoordelingscriteria					
1 Algemene eigenschappen					
Lengte	(m)	9			
2 Materiaal					
Blokkerende stukken		Stobben + takken Ø 5-10 cm		Chezy waarde (m ^{1/2} /s)	
Doorstroombare stukken		takken Ø 5-10 cm		15	
3 Verkleining van het doorstroomprofiel			Correctie	Geometrie patch	
Blokkerende stukken	Maatgevende breedte	(m)	2	1 Opp. blokkade (m ²)	1,54
	Maatgevende overstromhoogte	(m)	0,43	1 Totale breedte (m)	3,58
Doorstroombare stukken	Maatgevende breedte	(m)	0,5	0,3 Hoogte (m)	0,43
	Maatgevende overstromhoogte	(m)	0,37	0,3	
4 Morfologische veranderingen					
Verandering van het dwarsprofiel patch		(m ²)	uitslijting 0,43x1=	1	
Verandering van het dwarsprofiel tussenstuk		(m ²)	geen	1	

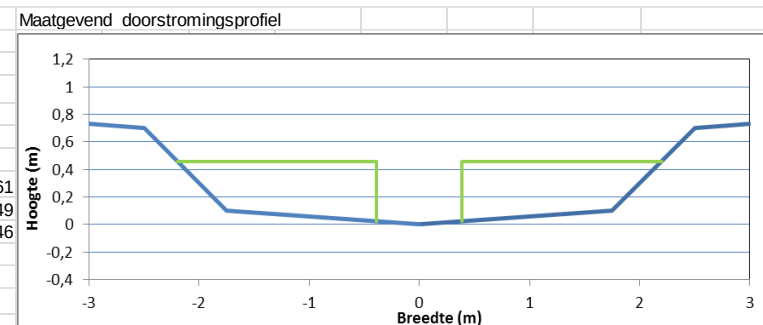
Maatgevend doorstromingsprofiel

The graph shows a cross-section profile with height (m) on the y-axis (ranging from -0.4 to 1.2) and width (m) on the x-axis (ranging from -3 to 3). The profile is a blue line that starts at approximately 0.75m height at -3m width, drops to 0.43m at -1.5m, remains flat at 0.43m until 1.5m, and then rises back to 0.75m at 3m. A green rectangle highlights the central flat area from -1.5m to 1.5m width and 0.43m height.



Patch 5				
Beoordelingscriteria				
1 Algemene eigenschappen				
Lengte (m)		9		
2 Materiaal				
Blokkerende stukken		Stobben + takken Ø 0-10 cm		Chezy waarde (m ^{1/2} /s)
Doorstroombare stukken		takken Ø 0-10 cm		15
3 Verkleining van het doorstroomprofiel			Correctie	Geometrie patch
Blokkerende stukken	Maatgevende breedte (m)	2	1	Opp. blokkade (m ²) 1,61
	Maatgevende overstromhoogte (m)	0,46	1	Totale breedte (m) 3,49
	Doorstroombare stukken	Maatgevende breedte (m)	3	0,3
	Maatgevende overstromhoogte (m)	0,37	0,3	Hoogte (m) 0,46
4 Morfologische veranderingen				
Verandering van het dwarsprofiel patch (m ²)		geen	1	
Verandering van het dwarsprofiel tussenstuk (m ²)		geen	1	

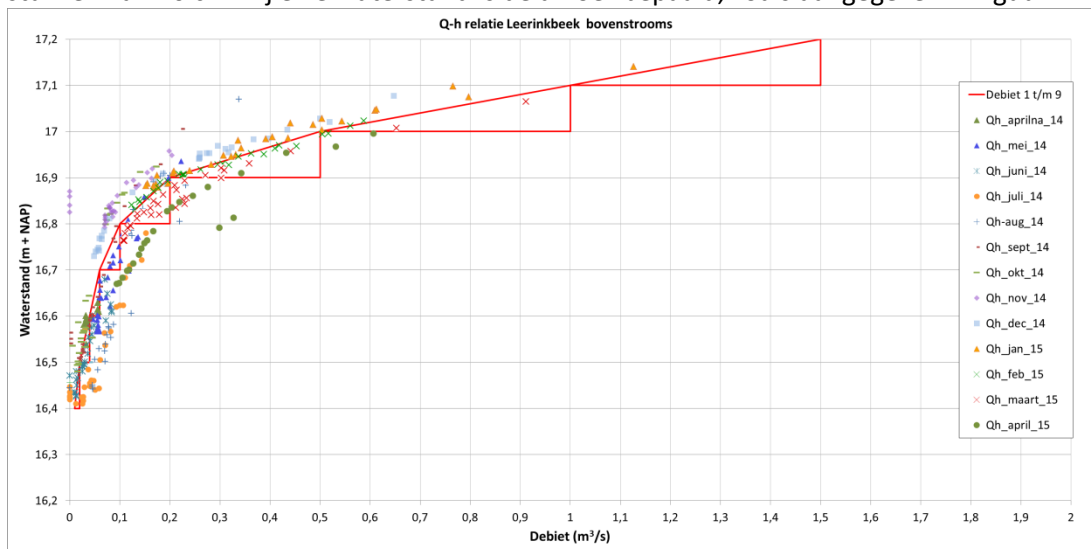
Maatgevend doorstromingsprofiel



4.3 Afvoerscenario

Er wordt gebruik gemaakt van een scenario om waterstanden bij verschillende afvoeren te kunnen berekenen. Het afvoerscenario wordt gebaseerd op de meetreeksen waarmee het model gekalibreerd wordt. Er wordt daarom geen gebruik gemaakt van de standaard afvoerscenario's van het waterschap, deze scenario's worden namelijk in ontwerpprocessen gebruikt. Omdat het doel van het gebruik van een afvoerscenario in dit geval is om te kunnen kalibreren in het gevraagde bereik. Het scenario wordt niet gebruikt om het gedrag van de beek te voorspellen ten behoeve van bijvoorbeeld een ontwerpproces.

Aan de hand van de vorm van de Q-h relatie zal worden bepaald binnen welke bereik van afvoeren de modelberekening worden uitgevoerd. Er is gekozen om de meetreeks op te delen op basis van de waterstanden. Omdat het waterschap bij het gebruik van een model ook geïnteresseerd is in waterstanden bij hoge afvoeren, zal ook worden vast gesteld of het model voldoet bij hoge waterstanden. In het geval van de Leerinkbeek wordt daarom gekeken naar de afvoeren die horen bij een bovenstroomse waterstand tussen 16,4 m +NAP en 17,2 m +NAP. De waterstand is opgedeeld in stukken van 10 cm. Bij elke waterstand is de afvoer bepaald, zoals aangegeven in figuur 41.



Figuur 41. Verdeling Q-h relatie

Dit resulteert in negen afvoeren waarvoor het model de waterstanden zal bepalen.

Tabel 14. Modelafvoeren

	Waterstand (m + NAP)	Debiet (m³/s)
Debiet 1	16,4	0,01
Debiet 2	16,5	0,02
Debiet 3	16,6	0,04
Debiet 4	16,7	0,06
Debiet 5	16,8	0,1
Debiet 6	16,9	0,2
Debiet 7	17	0,5
Debiet 8	17,1	1
Debiet 9	17,2	1,5

De gekozen debieten zijn omgezet naar neerslag hoeveelheden en vastgelegd in een Meteorological data bestand. Hierdoor kan in 1 run een Q-h relatie van de gebruikte schematisatie worden bepaald.

4.4 Kalibratie

Het doel van kalibratie van het model is op de eerste plaats een goede aansluiting van het model op de werkelijke situatie. Op de tweede plaats wordt aan de hand van de model uitkomsten na kalibratie inzicht verkregen in de parametrisatie van de patches zodat de patches op een juiste manier in SOBEK gemodelleerd kunnen worden.

Opzet Kalibratie

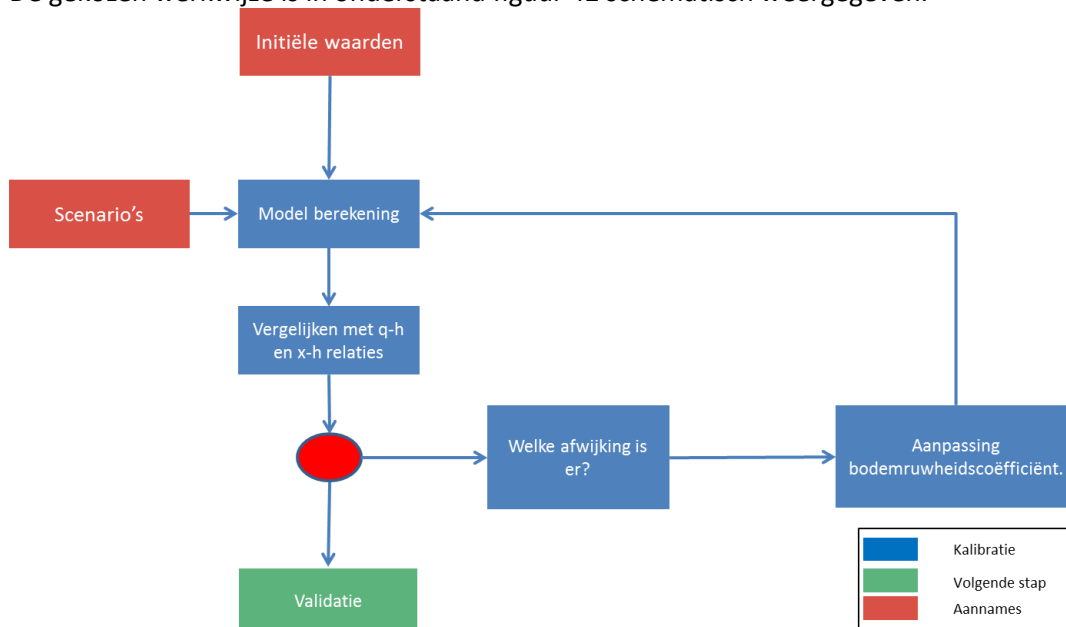
Het model wordt gekalibreerd door het verschil tussen het gemeten debiet en het berekende debiet te minimaliseren. Zo zal naar een goede 'fit' met de gemeten Q-h en x-h relaties (lengteprofiel) worden gezocht. Deze manier van kalibratie blijkt in soortgelijke modellen een goed resultaat op te leveren (Velner & Spijker, 2011). Aan de hand van visuele kalibratie wordt bepaald welke 'fit' het best voldoet.

Kalibratie parameter

Zoals eerder vermeld blijken de bodemruwheidscoëfficiënt en het doorstroomprofiel ter plekke van de patches en het doorstroomprofiel op de tussenstukken de mate van opstuwung te beïnvloeden. Er wordt echter aangenomen dat de parameterwaarden van het doorstroomprofiel ter plekke van de patches en het doorstroomprofiel op de tussenstukken goed zijn in te schatten aan de hand van het taxatieschema. Daarom wordt voor deze parameters vast gehouden aan de waarde die uit het taxatieschema volgen, deze aanpak zorgt voor een betere koppeling tussen de praktijk en het model te zorgen (Velner & Spijker, 2011). Er zal gekalibreerd worden door de bodemruwheidscoëfficiënt van het zomerbed te variëren. Er wordt begonnen met een Chezy coëfficiënt van $15 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ (initiële schatting). De Chezy coëfficiënt wordt afgebouwd met stapjes van $1 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ tot het gewenste resultaat is bereikt. Het winterbed behoudt de waarden uit het basis model.

Allereerst zal het basis model, het model zonder patches dood hout, gekalibreerd worden. De geschatte initiële parameterwaarden en het gekalibreerde basis model vormen het startpunt van de kalibratie van het model met patches.

De gekozen werkwijze is in onderstaand figuur 42 schematisch weergegeven.



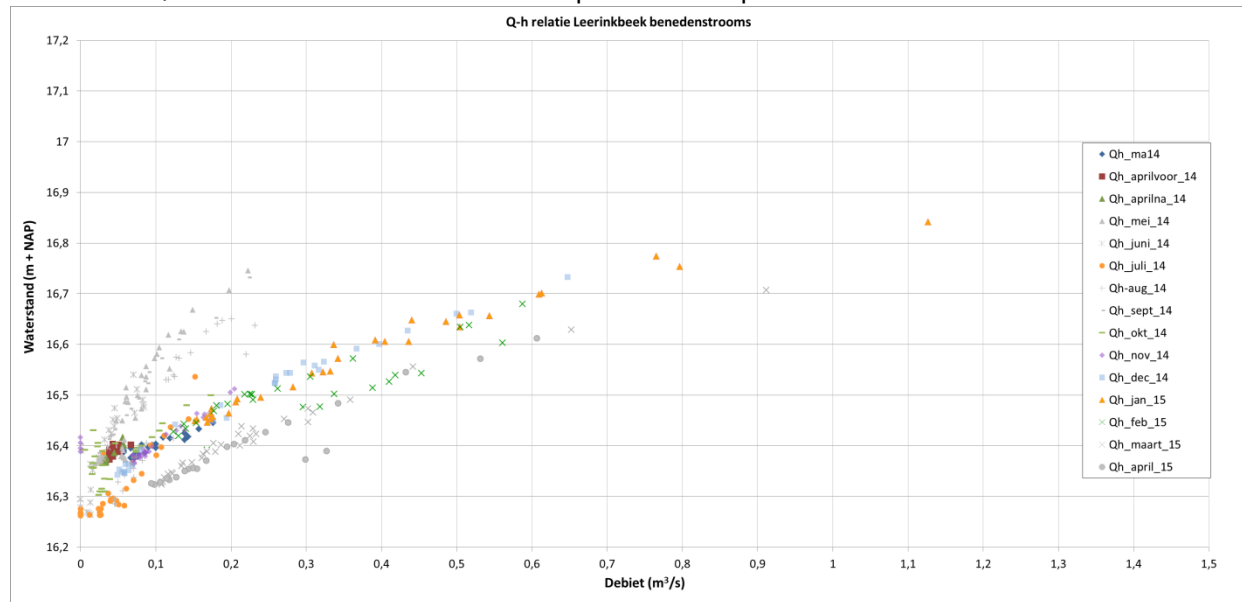
Figuur 42. Werkwijze kalibratie

Keuze kalibratie data

De berekende waarden zullen worden vergeleken met de gemeten Q-h relatie en de gemeten X-h relatie. De vergelijking van de berekende en de gemeten Q-h relatie geeft aan of het dood hout model in staat is de totale opstuwing door de patches te bepalen. Omdat er in de gemeten X-h relatie sprake is van een moment opname wordt deze niet gebruikt voor de kalibratie.

Voor de kalibratie van het basismodel wordt gebruikt gemaakt van de volgende data:

- De Q-h relatie benedenstrooms van de patches in de periode van 06-03-2014 tot 1-05-2015.



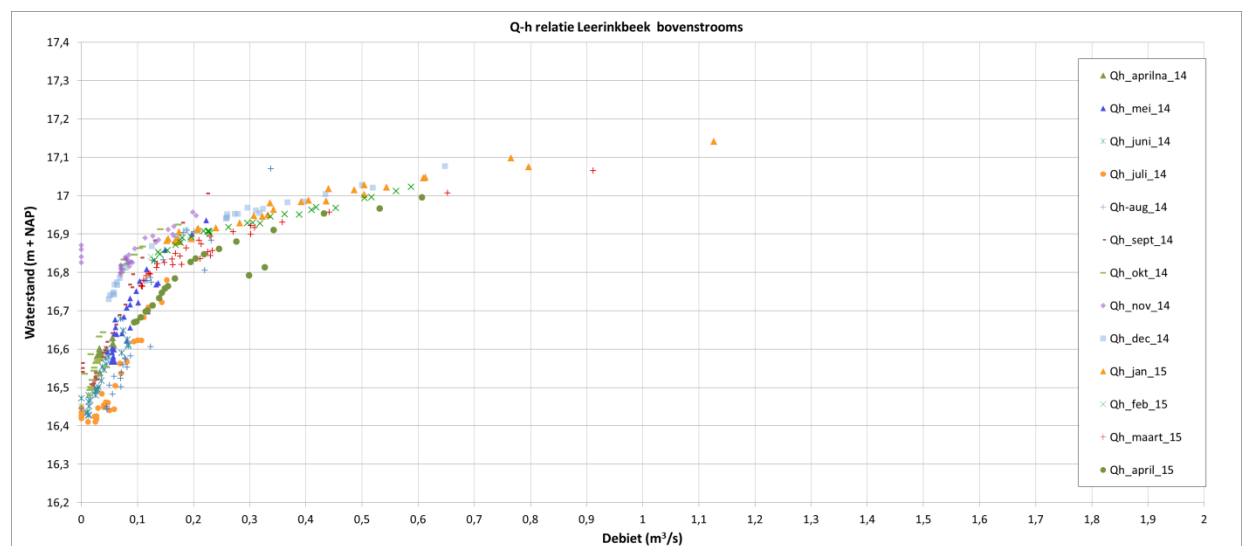
Figuur 43. Q-h relatie gebruikt voor kalibratie benedenstrooms

De grijze waarden worden niet gebruikt om te kalibreren. De hoge waarden zijn de zomermaanden mei, juni, augustus, september. De zomermaanden worden niet meegenomen omdat het model uitgaat van een begroeiingstoestand in de winter. Er is voor gekozen de maanden maart en april 2015 worden ook niet mee te nemen. Eind februari heeft er een verandering plaats gevonden waardoor de waterstanden in verhouding tot de afvoer verlaagt is.

De kalibratie van het model met patches dood hout gedaan aan de hand van het volgende figuur.

- De Q-h relatie bovenstrooms van de patches in de periode van 06-03-2014 tot 1-05-2015.

Omdat de het effect van verschillende begroeiingstoestanden niet terug komt in de Q-h relatie (zie Hst.3.2) wordt voor de kalibratie gebruik gemaakt van alle meetwaarden.



Figuur 44. Q-h relatie gebruikt voor kalibratie bovenstrooms

5. Resultaten

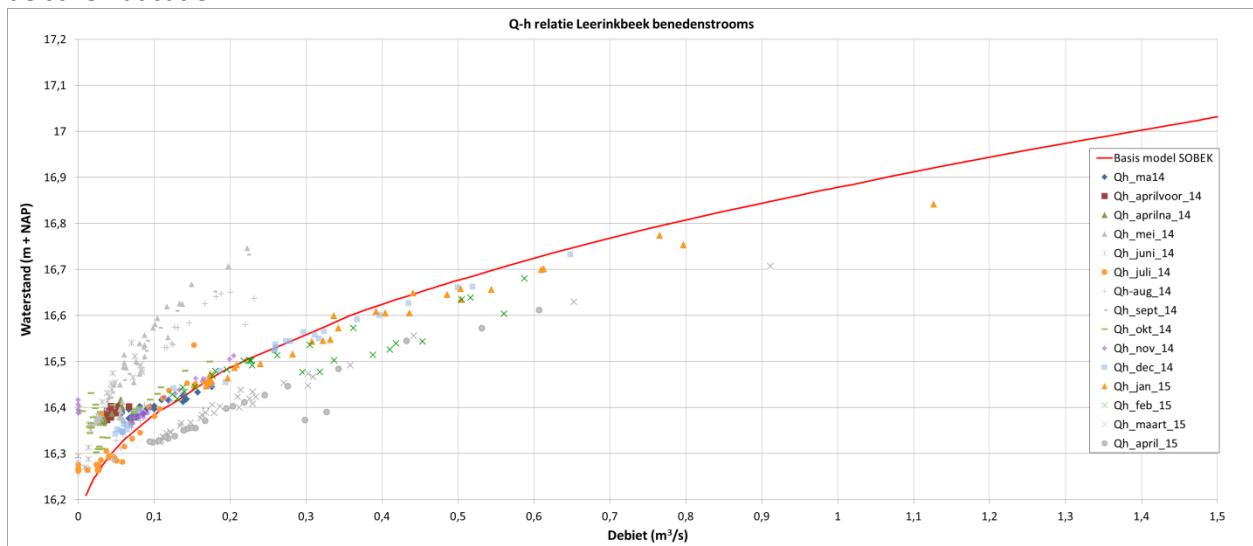
In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van de kalibratie en validatie van het opgestelde model behandeld. Allereerst wordt door kalibratie gezorgd dat de berekende waarden aansluiten op de gemeten waarden. Om te voorkomen dat het model per toeval de juiste resultaten oplevert zal worden gekeken of de berekende waarden om de goede redenen aansluiten op de gemeten waarden. Hierdoor kan worden bepaald of de gebruikte methode voor parametrisatie voldoet. Het doel hiervan is de modelleur handvatten te geven waarmee in de toekomst dood hout beter gemodelleerd kan worden in SOBEK

5.1 Uitkomsten kalibratie

Het doel van de kalibratie is om de bodemruwheidscoëfficiënt in het model goed aan te laten sluiten op de werkelijke situatie. De bodemruwheidscoëfficiënt is moeilijk in te schatten en wordt daarom verkregen middels kalibratie.

Het basismodel

Het basismodel geeft de in figuur aangegeven resultaten zonder dat er aanpassingen zijn gedaan in de schematisatie.



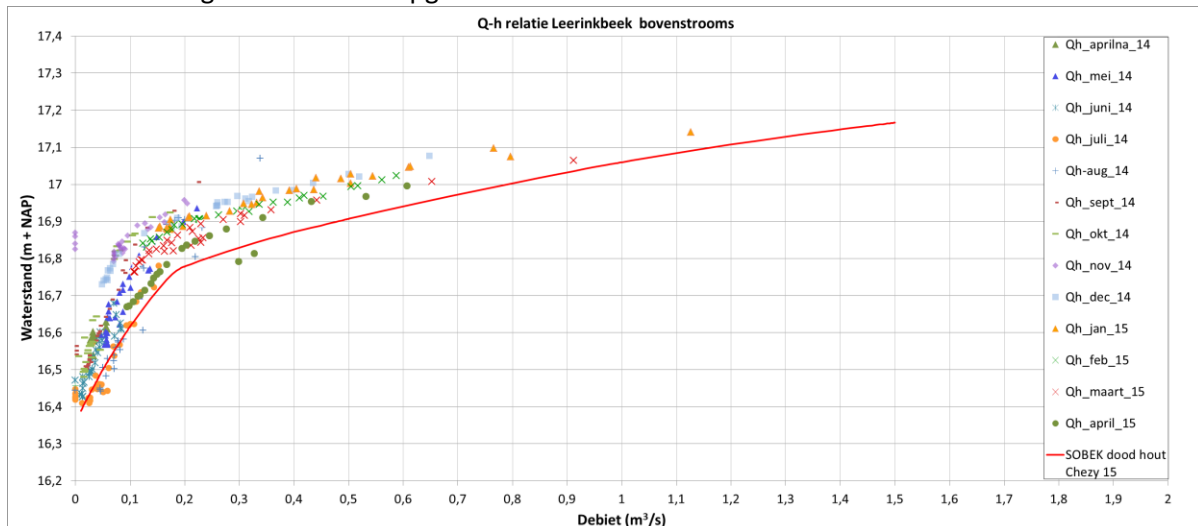
Figuur 45. Kalibratie basismodel

De door het model bepaalde Q-h relatie sluit aan op de in de winter gemeten Q-h relatie. Het basis model kan zonder aanpassingen worden gebruikt voor het modeleren van de dood hout patches.

Het model met patches dood hout

Zoals eerder aangegeven de bodemruwheidscoëfficiënt de kalibratie parameter. Voor de schematisatie van de patches dood hout zijn voor de doorstroomprofielen de waarden uit in hst. 4.2 gebruikt. In eerste instantie is begonnen met een Chezy coëfficiënt van 15 ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$) voor de bodemruwheid.

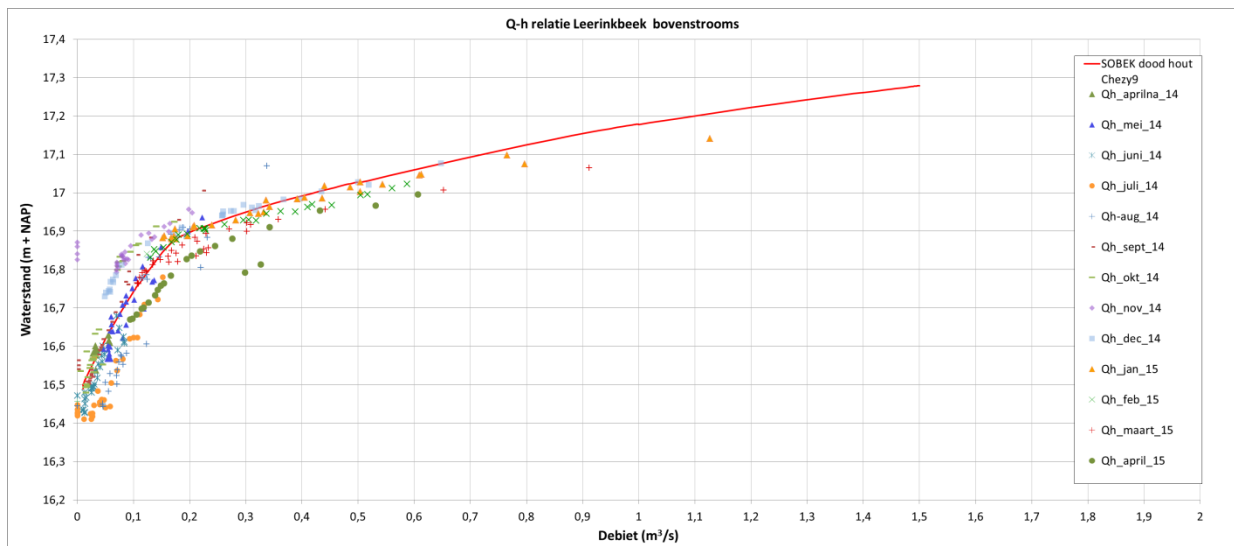
Dit heeft het volgende resultaat opgeleverd:



Figuur 46. Q-h relatie met Chezy 15

De waterstand wordt door deze schematisatie duidelijk onderschat. De vorm van de berekende Q-h relatie sluit echter al wel aan op de vorm van de gemeten Q-h relatie. De waterstand waarop de patches beginnen te overstromen is duidelijk te onderscheiden als 'knik' in de berekende Q-h relatie. Het overstromen van het zomerbed is te zien. De steilheid van de Q-h relatie neemt vanaf de knik steeds verder afneemt naar mate de waterstand stijgt.

Door de bodemruwheidscoëfficiënt aan te passen tot Chezy 9 ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$) heeft de berekende waarde de kleinste afwijken van de gemeten waarden.



Figuur 47. Q-h relatie met Chezy 9

Door de bodemruwheid te verhogen is de berekende Q-h relatie omhoog geschoven. Daarnaast sluit de vorm van de berekende Q-h relatie aan op de vorm van de gemeten Q-h relatie. De ruwheid van patches die zijn opgebouwd uit stobben en takkenbossen van takken met een diameter tussen de 0 en 10 cm wordt beschreven door bodemruwheidscoëfficiënt Chezy 9 ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$).

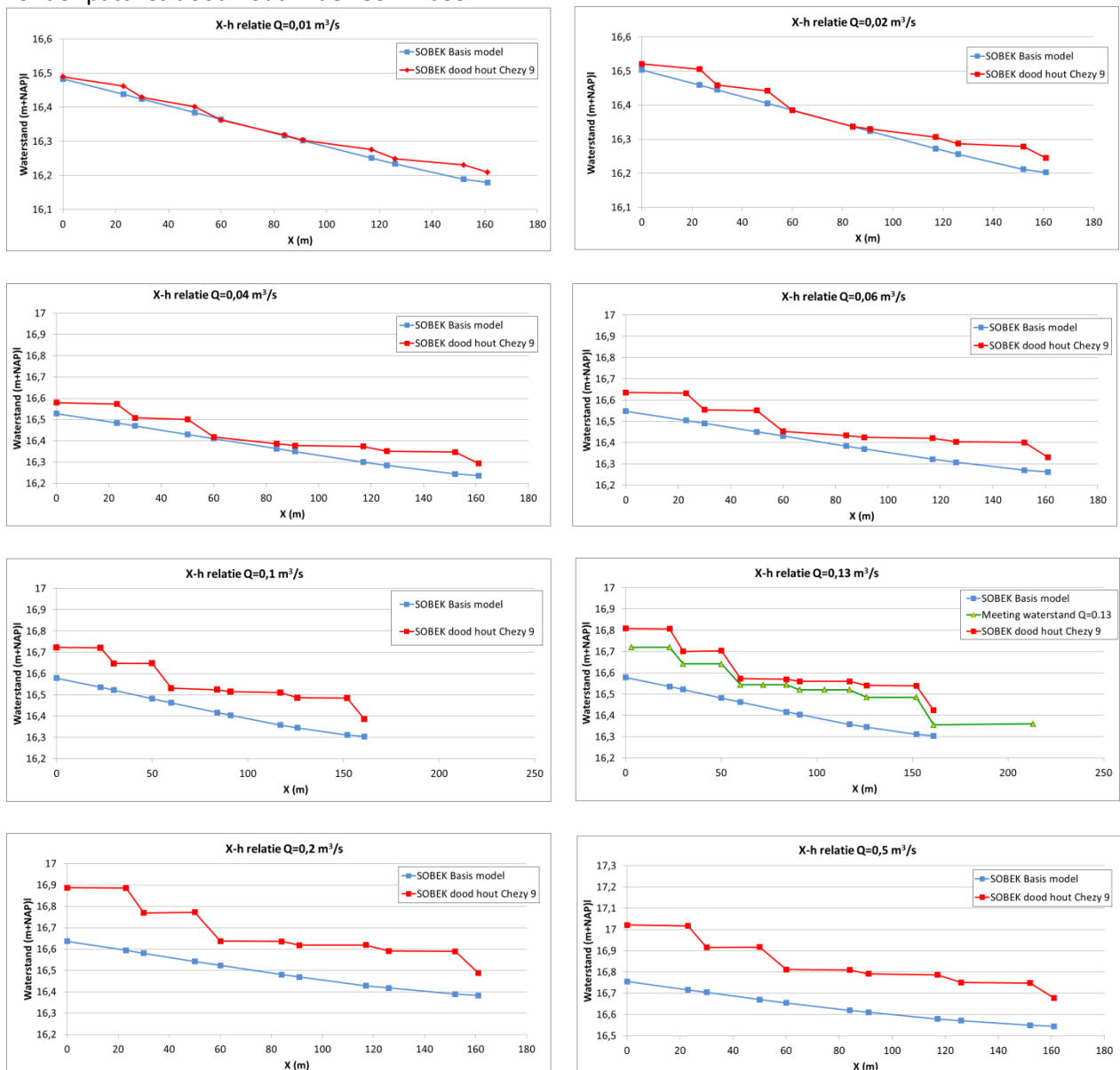
5.2 Validatie

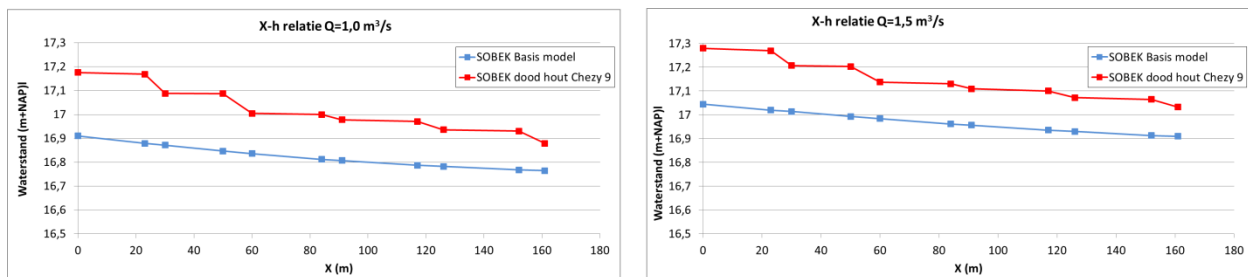
Om te bepalen of het model voorspellende waarde heeft is het van belang dat het model naast de totale opstuwung ook de opstuwung per patch kan voorspellen. Hierdoor wordt uitgesloten dat het model 'the good results for the wrong reasons' geeft doordat de totale opstuwung per toeval goed is voorspelt. Het model wordt gevalideerd aan de hand van de berekende X-h relaties en gemeten X-h relaties.

Zoals aangegeven in hoofdstuk 3.2, is de gemeten X-h relatie een moment opname bij een vast debiet van $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$. De berekende X-h relatie voor de afvoer van $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$ zal worden vergeleken met de de gemeten waarden. Voor de overige berekende X-h relaties wordt de vergelijking gemaakt met het basis model. Aan de hand hiervan wordt bepaald of het dood hout model bij de verschillende afvoeren logische waarden genereerd.

In onderstaande figuren zijn de berekende X-h relaties of lengte profielen weergegeven. Voor elke van de 9 debieten is zowel de de X-h relatie van het basis model als de X-h relatie van het model met patches dood hout met een Chezy-waarde 9 weergegeven.

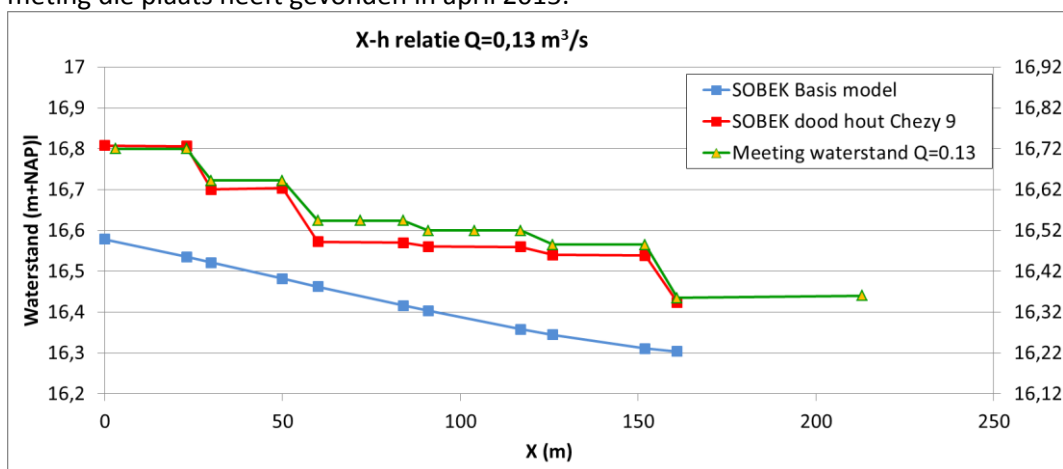
Het basis model dient in de figuren als referentie, deze lijn geeft de waterstanden aan in de situatie zonder patches dood hout in de Leerinkbeek.





Figuur 48. X-h relaties

De modelberekening voor een afvoer $Q=0,13 \text{ m}^3/\text{s}$ geeft hogere waarden voor de absolute waterstanden dan de gemeten X-h relatie. Op grond van de Q-h relatie in figuur 47 is dit te verwachten. De berekende lijn licht namelijk hoger dan de waterstanden op het moment van de X-h meting die plaats heeft gevonden in april 2015.



Figuur 49. X-h relatie voor $Q=0,13 \text{ m}^3/\text{s}$

Door de gemeten waarden op de berekende waarden 'te leggen' kan worden gekeken of de opstuwing per patch bij een afvoer $Q=0,13 \text{ m}^3/\text{s}$ juist is. Dit is te zien in figuur 49, de gemeten waarden worden weergegeven op de secundaire y-as aan de linkerkant.

Tabel 15. Vergelijking gemeten en berekende waarden

Opstuwing per patch bij $Q=0,13 \text{ m}^3/\text{s}$			
	gemeten (m)	berekend (m)	Δ (m)
1	0,08	0,11	-0,03
2	0,10	0,13	-0,03
3	0,02	0,01	0,01
4	0,04	0,02	0,02
5	0,13	0,12	0,01
totaal	0,37	0,38	-0,02

Over het geheel gezien kan het model de totale opstuwing goed verdelen. De patches die in werkelijkheid een grote opstuwing veroorzaken hebben in het model ook een grote opstuwing en de patches die in werkelijkheid een kleine opstuwing veroorzaken hebben in het model een kleine opstuwing. Als naar elke patch afzonderlijk wordt gekeken valt op dat de grootste afwijking in de berekende waarden wordt veroorzaakt door een verkeerde opstuwing bij patches waar een grote opstuwing plaats vindt. De opstuwing van patch 2 en 3 worden onderschat en de opstuwing van patch 1 wordt overschat.

Als er wordt gekeken naar de overige afvoersituaties, dan lijken de uitkomsten aannemelijk. Bij hoge afvoeren is het overstroom effect terug te zien in de afname van opstuwing per patch. Bij lage afvoeren lijkt het er op dat de opstuwing wordt onderschat omdat er nauwelijks nog verschil is tussen het basis model en het dood hout model.

Het model voorspelt de opstuwing per patch juist in termen van 'grote' of 'kleine' opstuwing. Het model is echter niet in staat om de exacte opstuwing per patch aan te geven. Maar er kan wel aangenomen worden dat de berekende Q-h relatie om de goede redenen aansluit bij de gemeten Q-h relatie.

6. Conclusie

De verdeling in de onderzoeksvragen wordt ook gebruikt in formulering van de conclusies die kunnen worden getrokken aan de hand van dit onderzoek.

1. Hoe functioneren de patches dood hout in de praktijk?

a. Welke eigenschappen van de patch beïnvloeden de mate van opstuwing?

De patches zijn opgebouwd uit doorstroombare stukken en blokkerende stukken. De mate van opstuwing wordt bepaald door de volgende eigenschappen van de patch:

1. Algemene eigenschappen
 - Lengte
2. Materiaal
 - Materiaal blokkerende stukken
 - Materiaal doorstroombare stukken
3. Verkleining van het doorstroomprofiel
 - Blokkerende stukken
 - Maatgevende Breedte
 - Overstroomhoogte
 - Doorstroombare stukken
 - Maatgevende Breedte
 - Overstroomhoogte
4. Morfologische veranderingen
 - Veranderingen in het dwarsprofiel ter plaatse van de patches
 - Veranderingen in het dwarsprofiel in de tussenstukken

b. Hoe ziet de situatie in praktijk eruit?

Op de locatie Leerinkbeek-Meenweg is gebruikt gemaakt van takkenbossen en boomstobben om patches te creëren. De patches zijn zeer uiteenlopend opgebouwd, van zeer dichte patches naar open patches. Elke patch op te delen in stukken waar het water om heen stroomt, in deze delen bevinden zich dichte takkenbossen en boomstobben, en stukken waar het water door heen stroomt. In de gedeelten waar het water door heen stroomt is geen hout aanwezig of er zijn open takkenbossen aanwezig.

De aanbreng van de patches zorgt op de plaats van de patches voor vernauwing van doorstroomprofiel. Bovendien wordt het doorstroomprofiel beïnvloed door de morfologische veranderingen die plaats vinden door de aanbreng van dood hout in de beek. Daarnaast zorgt het hout in de beek ook voor een verhoging van de hydraulische weerstand.

Door de aanleg van de patches kunnen er ook morfologische veranderingen ontstaan tussen de patches. De morfologische veranderingen zorgen voor een verandering in het doorstroomprofiel tussen de patches.

c. Hoe zijn de verschillende patches te beoordelen?

De patches zijn te beoordelen aan de hand van het taxatieschema. Deze is weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 16. Taxatieschema

Patch			
Beoordelingscriteria			eenheid
1	Algemene eigenschappen		
	Lengte		(m)
2	Materiaal		
	Blokkerende stukken		Stobben, takkenbossen, Ø takken
	Doorstroombare stukken		Stobben, takkenbossen, Ø takken
3	Verkleining van het doorstroomprofiel		
	Blokkerende stukken	Maatgevende breedte	(m)
		Maatgevende overstroomhoogte	(m)
	Doorstroombare stukken	Maatgevende breedte	(m)
		Maatgevende overstroomhoogte	(m)
4	Morfologische veranderingen		
	Verandering van het dwarsprofiel patch		(m ²)
	Verandering van het dwarsprofiel tussenstuk		(m ²)

2. Hoe zijn de eigenschappen van een patch te parametriseren in een SOBEK-model?

a. Hoe is de taxatie van de patches te vertalen naar een schematisatie in SOBEK?

De effecten van de patches dood hout worden geschematiseerd door de waarden uit het taxatieschema te parametriseren. In de schematisatie worden volgende eigenschappen vast te leggen:

- Doorstroomprofiel van patch
 - De verandering van het doorstroomprofiel door de patches worden geschematiseerd als twee rechthoekige blokken in het zomerbed. In de bepaling van afmetingen van deze blokken zijn de volgende zaken van belang:
 - oppervlakte blokkade
 - overstroom hoogte
 - versmalling van het profiel
- De lengte van patch
- Bodemruwheidscoëfficiënt

b. Welke parameterwaarden moeten worden gebruikt?

Uit kalibratie blijkt dat het model waarin de patches een bodemruwheidscoëfficiënt Chezy-waard 9 m^{1/2}/s hebben, resulteren in een goede 'fit' van de berekende waarden aan de gemeten waarden. De ruwheid van patches die zijn opgebouwd uit stobben en takkenbossen van takken met een diameter tussen de 0 en 10 cm wordt het best beschreven door bodemruwheidscoëfficiënt Chezy 9 (m^{1/2}/s).

c. Kan de schematisatie van dood hout patches in SOBEK de situatie juist modelleren?

Het model is in staat de totale opstuwing door meerdere patches goed te voorspellen. De opstuwing per patch wordt juist voorspelt in termen van 'grote' of 'kleine' opstuwing. Het model is niet in staat om de exacte opstuwing per patch aan te geven. Door de gebruikte methode van parameterisatie is er een goede koppeling ontstaan tussen de situatie in de praktijk en de in het model gebruikte schematisatie. Hierdoor kan er worden aangenomen dat de berekende Q-h relatie om de goede redenen aansluit bij de gemeten Q-h relatie. Dit geeft het model voorspellende waarde.

7. Discussie

Bij het interpreteren van de uitkomsten van dit onderzoek is het van belang om een aantal zaken in ogenschouw te houden. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen zaken die van toepassing zijn op het gehele onderzoek en zaken die van toepassing zijn op het modelleer gedeelte.

Het gehele onderzoek:

- Er is alleen onderzoek gedaan naar de Leerinkbeek.
- De bevindingen zijn van toepassing voor patches die zijn opgebouwd uit takkenbossen en boomstobben, zoals aanwezig in de Leerinkbeek. Naast het dood hout aanbrengen als patches zijn er andere methoden om dood hout aan te brengen in de beek. Over deze methoden kan op grond van dit onderzoek niks worden gezegd. Het toepassingsbereik is hiermee zeer klein.
- De opstuwing per patch is alleen gemeten bij 1 afvoersituatie. Hierdoor is moeilijk te zeggen in hoeverre het model de opstuwing per patch kan voorspellen.
- Het doel van dood hout patches is om de ecologische kwaliteit van een beek te verbeteren. Dit onderzoek richt alleen op de hydraulische effecten van patches dood hout. Er is geen koppeling gemaakt tussen de hydraulische effecten en de ecologische effecten. Hierdoor kan geen aanbeveling worden gedaan over de 'Ideale' patch. Er is een vervolg onderzoek nodig om inzicht te krijgen in de ideale patch.

Het gebruik van het model:

- De inschatting van de afmetingen van de patches is zeer gevoelig/per persoon verschillend.
- Bij patches waar veel hout is aangebracht leidt een klein verschil in inschatting van de afmetingen van de patch tot grote verschillen in opstuwing, zie patch 4 en 5. Om inzicht te krijgen in dit effect zou een gevoeligheidsanalyse gedaan kunnen worden.
- Als het model wordt gebruikt in een ontwerpproces is het wel noodzakelijk dat een goede inschatting gemaakt kan worden van de afmetingen van de patch. Het is echter niet duidelijk of dit mogelijk is.

8. Aanbevelingen

Om de opstuwingseffecten van dood hout patches te voorspellen is de methode zoals gebruikt in dit onderzoek bruikbaar. Om voor het aanbrengen van dood hout patches een goede inschatting te kunnen maken van de opstuwing is het van belang om goed in beeld te krijgen over hoe de patch er uit gaat zien. Daarnaast moet ook rekening worden gehouden met de bodemsoort om in te kunnen schatten of en welke uitslijting of aanzanding van de bodem zal ontstaan. De uitvoering van de patch is bepalend voor de uiteindelijke mate van opstuwing.

Als eenmaal duidelijk is hoe de patches er in de praktijk uit gaan zien, kunnen de opstuwingseffecten voorspeld worden met een modelstudie in SOBEK. Voor een goede weergave van de patches in SOBEK kan gebruik worden gemaakt van de in dit rapport gebruikte taxatieschema en parametrisatiemethode. Hierbij moet wel de kanttekening worden geplaatst dat de methode alleen bruikbaar is voor dood hout patches zoals aangebracht in de Leerinkbeek. Het model is in staat de totale opstuwing te voorspellen. De berekende opstuwing per patch is alleen een indicatie of de patch een grote of kleine opstuwing zal veroorzaken.

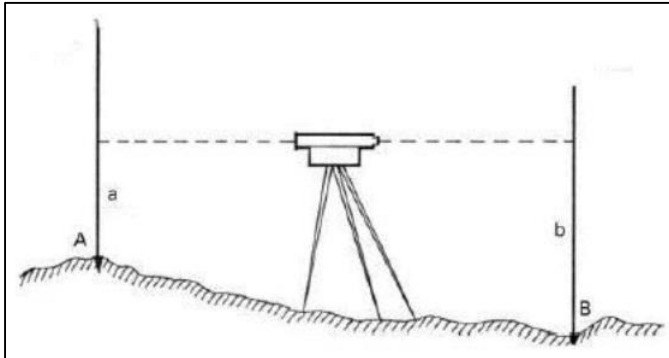
In dit onderzoek is geen koppeling gemaakt tussen de hydraulische effecten en de ecologische effecten. Het is echter wel de moeite waard om te onderzoeken of de ecologische effecten afhankelijk zijn van blokkade van de patch. Er geconstateerd dat de opstuwing van de patch toeneemt naarmate een groter gedeelte van het doorstroomprofiel wordt geblokkeerd. Stel dat de effectiviteit van de patch op het gebied van ecologie niet afhankelijk is van de mate van de blokkade, dan is het niet nodig om grote dichte patches die veel opstuwing veroorzaken te creëren. Het zou dan volstaan om kleine patches aan te leggen waarvoor het niet noodzakelijk is om een modelstudie naar de opstuwingseffecten uit te voeren.

Bibliografie

- André, D., Bouwknecht, J., Gelok, A., & Hartman, G. (1996). *Handleiding DIWA, Theoretische achtergronden*. Utrecht: Dienst landinrichting en beheer landbouw gronden.
- Boersema, M., Vermeulen, B., Torfs, P., Roelofs, G., & Van den Houten, G. (2011). *Hydraulische functioneren vispasseerbare cascades*. STOWA.
- Fox, R., McDonald, A., & Pritchard, P. (2012). *Fluid Mechanics*. John Wiley & Sons.
- Hamill, L. (2001). *Understanding Hydraulics*. Palgrave Macmillan.
- Hoekstra, A. (2012). *Dictaat Water*. Enschede: Universiteit Twente.
- Huthoff, F. (2007). *Modeling Hydraulic Resistance of Floodplain Vegetation*. Enschede: University of Twente.
- Huthoff, F. (2014, 04 8). *CoP Hermeandering Beken: vegetatie- en bochtweerstand*. Opgeroepen op 05 22, 2015, van Stowa.nl:
http://watermozaiek.stowa.nl/Upload/agenda/20140408%20Cop%20hermeandering/Vegetatieweerstand_Huthoff_CoP_8april2014.pdf
- Jakeman, A., Letcher, R., & Norton, J. (2006). *Ten iterative steps in development and evaluation of environmental models*. Environmental Modelling & Software.
- Koster, A., Reurink-Vuurens, A., & Engelbertink, R. (2015). *Berkel statische beschrijving enindconcept*. Doetinchem: Waterschap Rijn en IJssel.
- Nortier, I., & De Koning, P. (2000). *Toegepaste vloeistofmechanica*. Stam techniek.
- Roelofs, G. (2015, 06 22). Effecten vegetatietoestand. (R. Wegman, Interviewer)
- Torfs, P., & Hoitink, A. (2011). *Advanced environmental hydraulics*. Wageningen University.
- Velner, R., & Spijker, M. (2011). *Standaard werkwijze voor de toetsing van watersystemen aan de normen voor regionale wateroverlast*. Amersfoort: STOWA.
- Verdonschot, P. F. M., Besse, A., Brouwer, J. D., Eekhout, J., & Fraaije, R. (2012). *Beekdalbreed hermeanderen: bouwstenen voor de leidraad voor innovatief beek- en beekdalherstel*. STOWA.
- Waterschap Rijn en IJssel. (2010). *Waterbeheerplan 2010>2015*.
- Werkgroep herziening Cultuurtechnisch vademecum. (1992). *Cultuur technisch vademecum*. Utrecht: Vereniging voor landinrichting.

Bijlage I Waterpassing

Voor de bepaling van de waterstanden is gebruik gemaakt van waterpas instrumenten. Met het waterpasinstrument de hoogte op de baak af gelezen worden. Het verschil in afgelezen hoogte op de baak is het verschil in hoogte tussen de twee punten.



Figuur 50. Waterpassingsinstrumenten

Normaal gesproken wordt de hoogte van punten bepaald ten opzichte van een ingemeten N.A.P. bout. In het geval van de hoogte bepalingen voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van peilschalen van het waterschap Rijn en IJssel. Het is echter niet bekend hoe nauwkeurig de peilschalen zijn ingemeten.

Bijlage II Debietbepaling

Als controle van de debietbepaling op basis specifieke afvoer per hectare bovenstrooms van meetstuw Stuw Leerinkbeek I' is het debiet ter plaatse van de patches ook bepaald met de overlaat formule. Het debiet over de overlaat is bepaald met de afvoer formule voor een lange rechthoekige overlaat. Deze luidt als volgt:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \times g^{\frac{1}{2}} \times C_v \times C_d \times b \times h s^{\frac{3}{2}}$$

(Werkgroep herziening Cultuurtechnisch vademecum, 1992)

Waarin:

Q=debiet

C_d =Afvoercoëfficiënt

g =gravitatie versnelling

b = breedte van de kruin van de overlaat

C_v =Snelheidscoëfficiënt

$h s$ = overstorthoogte

Met deze formule is bepaald dat er op het moment van meten (17-04-2015) een afvoer van 0,125 m³/s plaats vond. Dit komt ongeveer overeen met de schatting (Q=0,127) van de afvoer aan de hand van specifieke afvoer per hectare op 17-04-2015.