

VAT OP HET WATER – WATER IN HET VAT

Onderzoek naar kosten en effecten van zeven bergingsmogelijkheden



Leeropdracht Hogeschool Van Hall-Larenstein



Auteur:

Sander van Beersum

Doetinchem, 6 juni 2012



VAT OP HET WATER – WATER IN HET VAT

Onderzoek naar kosten en effecten van zeven bergingsmogelijkheden



Leeropdracht Hogeschool Van Hall-Larenstein

Plaats, datum

Doetinchem, 6 juni 2012

Auteur

Sander van Beersum

Opdrachtgever

Waterschap Rijn en IJssel

Opleiding

Hogeschool Van Hall-Larenstein

Opleiding Land- en Watermanagement

Minor Hydrologische Modelling en Ecohydrologie

Larensteinselaan 26a

6882 CT, Velp

Begeleiding

Ing. Gerry Roelofs

Waterschap Rijn en IJssel

Ing. A.M.J. Berendsen-Sloot

Hogeschool Van Hall-Larenstein



Voorwoord

Het rapport wat voor u ligt is geschreven naar aanleiding van de afsluitende fase, het afstuderen, van mijn opleiding 'Land- en Watermanagement' aan Hogeschool Van Hall-Larenstein te Velp. Ik heb mijn onderzoek uitgevoerd in opdracht van Gerry Roelofs, hydroloog bij het Waterschap Rijn en IJssel.

Afgelopen maanden heb ik kennis mogen maken met het werken bij het waterschap. Ik hier op veel gebieden geleerd. Naast vakinhoudelijke kennis en verrijking, heb ik bij het waterschap een prettige, -informele- werksfeer mogen ervaren. Ik wil dan ook alle medewerkers en collega studenten bedanken voor hun hulp en ondersteuning. Ook wil ik de mensen van andere waterschappen en bedrijven die hebben bijgedragen aan de informatievoorziening hartelijk bedanken voor hun medewerking. Anouk Berendsen-Sloot wil ik bedanken voor haar begeleiding vanuit de opleiding.

Tot slot wil ik in het bijzonder Gerry Roelofs danken voor zijn tijd en ondersteuning.

Sander van Beersum
6 juni 2012

Samenvatting

Het waterbeleid 21^e eeuw is erop gericht om op een goede manier om te gaan met water. Het actuele beleid wordt gekenmerkt door een 3-traps strategie: water vasthouden, bergen en afvoeren. Waterschappen staan hierdoor letterlijk voor een grote opgave: waterberging. Er kan op verschillende manieren geborgen worden. Verschillende maatregelen hebben verschillende hydrologische en financiële gevolgen. Het waterschap Rijn en IJssel wil meer inzicht in de effectiviteit van zeven maatregelen, voor drie situaties: een bovenloop (primaire), middenloop (secundaire) en benedenloop (tertiaire). Daarnaast wil het waterschap weten op welke manier er in een bepaalde situatie geborgen moet worden.

Om de effectiviteit te bepalen is met behulp van het modelleerprogramma SOBEK een model gemaakt met de eigenschappen zoals van toepassing in het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel. Vooraf zijn er uitgangspunten gedefinieerd. Op basis van de uitkomsten van dit model (effectiviteit), zijn de kosten per waterbergingsscenario berekend. De kosten zijn bepaald op basis van diverse voorbeeldprojecten en een literatuurstudie. Daarnaast zijn de neveneffecten door middel van een enquête en een literatuurstudie inzichtelijk gemaakt. De kosten en neveneffecten zijn gebruikt als input voor een multicriteria-analyse.

Daaruit blijkt dat voor een bovenloop en een middenloop de maatregel 'niets doen' het meest interessant is. Voor de benedenlopen blijkt de maatregel 'verruimen watergang' de beste optie. De effectiviteit van vasthoudmaatregelen is lager dan bergingsmaatregelen. De afvoermaatregel 'verruimen watergang' heeft de grootste effectiviteit.

Inhoud

Samenvatting

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Probleemanalyse	4
1.3	Doelstelling	5
1.4	Onderzoeksvragen	5
1.5	Leeswijzer	5
2	Methodiek	6
2.1	Maatregelen	6
2.2	Model	6
2.3	Effecten	6
2.4	Kosten	7
2.5	Multicriteria-analyse	7
3	Maatregelen	8
3.1	Vasthouden	8
3.1.1	Bodemberging	8
3.1.2	Boerenstuwen	9
3.2	Bergen	9
3.2.1	Bergen in plassen	9
3.2.2	Bergen op maaiveld	10
3.2.3	Niets doen	10
3.3	Afvoeren	11
3.3.1	Verruimen watergang	11
3.3.2	Actief peilbeheer	11
4	Modelopbouw	12
4.1	Theoretisch model	12
4.2	Uitgangspunten	12
4.3	Afvoergolven	13
4.3.1	Duitsland	13
4.3.2	Nederland	13
4.4	Bergingsopgave	16
4.5	Maatregelen implementeren	16
4.5.1	Vasthouden	16
4.5.2	Bergen	17
4.5.3	Afvoeren	17

5	Resultaten effecten	18
5.1	Vasthouden	18
5.2	Bergen	19
5.3	Afvoeren	19
6	Resultaten kosten	21
6.1	Vasthouden	21
6.1.1	Bodemberging	21
6.1.2	Boerenstuwen	21
6.2	Bergen	21
6.2.1	Bergen in plassen	21
6.2.2	Bergen op maaiveld	22
6.2.3	Niets doen	22
6.3	Afvoeren	22
6.3.1	Verruimen watergang	22
6.3.2	Actief peilbeheer	22
6.4	Samenvatting kosten	23
7	Multicriteria-analyse	25
7.1	Resultaat MCA	26
8	Conclusie en aanbevelingen	28
9	Discussiepunten	30
10	Bronnen	31

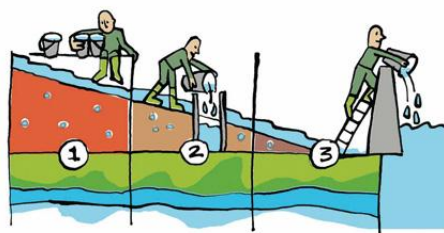
Bijlagen

- I. Berekening afvoer
- II. SOBEK resultaten 'vasthouden'
- III. Theoretische effectenanalyse bodemberging
- IV. Theoretische effectenanalyse boerenstuwen
- V. SOBEK resultaten 'bergen' (bergen buiten watersysteem)
- VI. SOBEK resultaten 'afvoeren' (verruimen watergang)
- VII. SOBEK resultaten 'afvoeren' (actief peilbeheer)
- VIII. Kostenberekening 'vasthouden' (bodemberging)
- IX. Kostenberekening 'vasthouden' (boerenstuwen)
- X. Kostenberekening 'bergen' (bergen in plassen)
- XI. Kostenberekening 'bergen' (bergen op maaiveld)
- XII. Kostenberekening 'bergen' (niets doen)
- XIII. Kostenberekening 'afvoeren' (verruimen watergang)
- XIV. Kostenberekening 'afvoeren' (actief peilbeheer)
- XV. Nadeeltaxatie waterberging, Regge en Dinkel
- XVI. Resultaten M.C.A.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Waterschap Rijn en IJssel houdt zich bezig met het beheer van water kwantiteit en -kwaliteit in het oostelijk deel van de provincie Gelderland. Eén van de primaire taken is het beheeren van peilen en zorgen voor veiligheid. Op advies van de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw (Commissie Tielrooij), hebben het Rijk, het interprovinciaal overleg (IPO), de Unie van Waterschappen en de vereniging van



Figuur 1-1 Vasthouden, bergen, afvoeren

gemeenten (VNG), in februari een 'startovereenkomst waterbeleid 21^e eeuw' opgesteld. Hierin staat onder andere dat watersystemen toegerust moeten zijn op de omstandigheden die we volgens de klimaatscenario's van het KNMI in 2050 mogen verwachten. Voorheen werd in Nederland het water zo snel mogelijk afgevoerd. In de nieuwe aanpak is een drietrapstrategie¹: water vasthouden, bergen en afvoeren, zie figuur 1-1.

Er zijn verschillende vormen van waterberging die elk weer verschillende hydrologische en financiële gevolgen hebben. Daarnaast zijn er neveneffecten. Het waterschap Rijn en IJssel wil graag inzicht hebben in de effectiviteit² en de kosten van een aantal afzonderlijke maatregelen.

1.2 Probleemanalyse

Door projectleiders en adviseurs worden diverse waterbergingsopgaven uitgevoerd. Er bestaan hierdoor verschillende ideeën over de kosten en effecten van bergingsmaatregelen³. Dit blijkt ook uit een enquête⁴ die gehouden is onder de unit 'Kennis en Advies' van het Waterschap Rijn en IJssel, zie figuur 1-2. Niet eerder is een overzicht gemaakt van de voor- en nadelen van de verschillende bergingsvormen.

3. Geef aan, welke vorm van berging bij een beek volgens u het goedkoopst is? *uitgaande van maatschappelijke kosten. *1 = goedkoop en 7 = duur. (gelieve alle cijfers één keer gebruiken).									Diagram maken	Downloaden
	1	2	3	4	5	6	7	Gemiddelde score	Reactie telling	
1. Het vasthouden van water in de bodem	16,7% (2)	25,0% (3)	16,7% (2)	16,7% (2)	8,3% (1)	8,3% (1)	8,3% (1)	3,33	12	
2. Het vasthouden van water in bovenstrooms gelegen boeren slootjes (haarvaten)	0,0% (0)	16,7% (2)	16,7% (2)	25,0% (3)	33,3% (4)	8,3% (1)	0,0% (0)	4,00	12	
3. Het 'bergen' van water in verruimde watergangen (meestromende waterberging)	0,0% (0)	8,3% (1)	8,3% (1)	8,3% (1)	33,3% (4)	8,3% (1)	33,3% (4)	5,25	12	
4. Het bergen van water in bestaande plassen met een inlaat stuw (gecontroleerde en niet meestromende waterberging)	8,3% (1)	16,7% (2)	50,0% (6)	16,7% (2)	8,3% (1)	0,0% (0)	0,0% (0)	3,00	12	
5. Het gecontroleerde bergen van water op het maaiveld (gecontroleerde en niet-meestromende waterberging)	0,0% (0)	16,7% (2)	16,7% (2)	33,3% (4)	16,7% (2)	8,3% (1)	8,3% (1)	4,08	12	
6. Actieve sturing van het peilbeheer om water langer in het oppervlaktewatersysteem vast te houden	16,7% (2)	0,0% (0)	0,0% (0)	25,0% (3)	25,0% (3)	25,0% (3)	8,3% (1)	4,50	12	
7. Niets doen en schadevergoedingen uitkeren, accepteren van schade	25,0% (3)	16,7% (2)	0,0% (0)	33,3% (4)	0,0% (0)	16,7% (2)	8,3% (1)	3,50	12	

Figuur 1-2 Enquête waterberging

¹Uni van Waterschappen, (2002)

²Met effectiviteit wordt bedoeld in welke mate de maatregel in een bepaalde situatie het gewenste effect heeft.

³Met bergingsmaatregelen wordt in dit rapport maatregelen die, waterbergen en water vasthouden bedoeld, zie par. 1.4

⁴Binnen de unit 'K&A' is een enquête gehouden over de kosten van verschillende bergingsmaatregelen, 12 deelnemers hebben gereageerd

Bergingsvormen/maatregelen

Het waterschap wil meer inzicht in de volgende maatregelen:

Vasthouden (maatregel buiten het watersysteem)

1. Het vasthouden van water in de bodem
2. Het vasthouden van water in bovenstrooms gelegen boerenslootjes (haarvaten)

Bergen (maatregel buiten het watersysteem)

3. Het bergen van water in bestaande plassen met een inlaat stuw (gecontroleerde en niet-mee stromende waterberging)
4. Het gecontroleerd bergen van water op het maaiveld (gecontroleerde en niet-mee stromende waterberging)
5. Niets doen en schadevergoedingen uitkeren, bergen op maaiveld (theoretisch)

Afvoeren (maatregel binnen het watersysteem)

6. Het 'bergen' van water in verruimde watergangen (mee stromende waterberging)
7. Actieve sturing van het peilbeheer om water langer in het oppervlaktewatersysteem vast te houden

De beschrijving van deze maatregelen staan in hoofdstuk 3.

1.3 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is het inzichtelijk maken van kosten en neveneffecten voor verschillende vormen van waterberging, voor drie verschillende locaties in het watersysteem: bovenloop, middenloop en benedenloop. De opgedane kennis uit het afstudeeronderzoek kan als leidraad dienen bij de keuze uit een van de bergingsmaatregelen voor een bepaald type systeem. De doelgroepen zijn projectleiders en adviseurs binnen het waterschap en overige geïnteresseerden zoals studenten.

1.4 Onderzoeksvragen

De vraag die centraal staat is:

'Welke bergingsmaatregelen zijn het meest efficiënt⁵ voor het vasthouden- en bergen van water in een tertiair, secundair en primair systeem?'

Sub onderzoeksvragen:

- ✓ Welk model c.q. uitgangspunten zijn geschikt voor het toetsen van de effectiviteit van de maatregelen?
- ✓ Waaruit bestaan de kosten per bergingsmaatregel en wat bedragen deze kosten per locatie in het watersysteem?
- ✓ Welke voor- en nadelen hebben de maatregelen?

1.5 Leeswijzer

De inleiding is in dit hoofdstuk opgenomen. Hoofdstuk twee gaat in op de gebruikte methodiek, waarbij de aanpak van dit onderzoek wordt beschreven. De maatregelen worden toegelicht in hoofdstuk 3. In hoofdstuk vier wordt het gebruikte model beschreven. De resultaten van de SOBEK-analyse, de hydrologische effecten, worden beschreven in hoofdstuk vijf. In hoofdstuk zes worden de kosten uiteen gezet per bergingsvorm. Hoofdstuk zeven geeft een beschrijving van de multicriteria-analyse. De conclusie en aanbevelingen staan in hoofdstuk 8. De discussie staat in hoofdstuk 9. De gebruikte bronnen staan in hoofdstuk 10. Tot slot staan de bijlagen in hoofdstuk 11.

⁵ Door de effectiviteit van de maatregelen te vergelijken met de kosten, kan uiteindelijk een uitspraak worden gedaan over de efficiëntie van de maatregelen.

2 Methodiek

In dit hoofdstuk wordt de methode beschreven. De methode is opgedeeld uit vijf onderdelen. Eerst wordt uitgelegd hoe de maatregelen gedefinieerd zijn en op welke wijze de voor- en nadelen in kaart zijn gebracht (paragraaf 2.1). De reden voor het gebruik van SOBEK-model, staat beschreven in (paragraaf 2.2) 'model'. Door de maatregelen door te rekenen in het model wordt inzicht verkregen in de effectiviteit van de maatregel; hierop wordt ingegaan in paragraaf 2.3. De methodiek die toegepast is om de kosten in kaart te brengen staat beschreven in paragraaf 2.4. In paragraaf 2.5 staat de uitleg van de multicriteria-analyse.

2.1 Maatregelen

Zoals vermeld is het waterschap geïnteresseerd in zeven maatregelen. Eerst moeten de maatregelen gedefinieerd worden. Overleg met verschillende medewerkers binnen het waterschap en een literatuurstudie hebben geleid tot een beschrijving per maatregel. Door middel van een enquête⁶ en literatuurstudie zijn de neveneffecten inzichtelijk gemaakt.

2.2 Model

Om de (hydrologische) effecten te onderzoeken wordt het SOBEK (1D-flow) model gebruikt. Gebruikelijk is om een bestaand studiegebied te modelleren. Het waterschap is echter niet geïnteresseerd in één gebied en wil algemeen inzicht in de effectiviteit per maatregel. Er is daarom gekozen voor een theoretisch model. Deze is qua grootte gebaseerd op stroomgebied de 'Oude IJssel'. Het voordeel bij een theoretisch model is dat alle uitgangspunten vooraf gedefinieerd zijn. In dit model wordt een knelpunt (bergingsopgave m^3) gecreëerd in drie verschillende waterlopen; primaire, secundaire en tertiaire waterloop. Vervolgens is het doel deze bergingsopgave/knelpunt op te lossen door middel van de zeven maatregelen. Door deze 21 scenario's (7×3) door te rekenen in SOBEK wordt inzicht verkregen in de hydrologische effectiviteit van de maatregel.

2.3 Effecten

Zoals hierboven beschreven ontstaat door gebruik van het SOBEK-model inzicht in de effectiviteit van de toekomstig te nemen maatregelen. Wat met effectiviteit bedoeld wordt, wordt uitlegd aan de hand van een eenvoudig rekenvoorbeeld.

Voorbeeld 1

Stel; de bergingsopgave is $1000 m^3$ water. Dit betekent dat er op een bepaalde plek in het systeem $1000 m^3$ inundeert.

Als men wil voorkomen dat dit gebeurt, kan er bijvoorbeeld voor gekozen om water vast te houden. Echter, misschien moet wel $2000 m^3$ water vast worden gehouden (=bergingsbehoefte*), om het knelpunt van $1000 m^3$ op te kunnen lossen. De effectiviteit is in dit geval dan: $50 \% (1000 m^3 / 2000 m^3 * 100\%)$.

Voorbeeld 2

We nemen ook het voorbeeld 'watergang verruimen' onder de noemer 'afvoeren'. Stel dat met $250 m^3$ grond ontgraven (dus watergang verruimen) het knelpunt (van $1000 m^3$) is opgelost, dan heeft dit een effectiviteit van $400\% (1000/250*100)$.

De reden dat er een verschil is komt doordat de verschillende maatregelen een verschillende hydrologische werking hebben. Op basis van de uitkomsten uit het SOBEK model, worden de kosten berekend.

⁶ Binnen de unit 'K&A' is een enquête gehouden over de neveneffecten van verschillende bergingsmaatregelen, 12 deelnemers hebben gereageerd, uitgedrukt in voor- en nadelen

*Op basis van de bergingsbehoefte worden de kosten per scenario berekend.

2.4 Kosten

Om de verschillende maatregelen met elkaar te vergelijken is het noodzakelijk de kosten voor de verschillende vormen van waterberging inzichtelijk te maken. Op basis van een literatuurstudie en praktijkvoorbeelden zijn de kosten per maatregel bepaald. Uit calculaties in SOBEK is de effectiviteit van de maatregel, ook wel de omvang van de maatregel (in m³), te bepalen. Op basis hiervan zijn de kosten berekend voor een periode van 40 jaar. Door alle kosten (in €) te delen door de bergingsopgave (in m³) verkrijgen we uiteindelijk de kosten uiteindelijk in €/m³ per scenario. Hierdoor zijn de scenario's onderling vergelijkbaar.

2.5 Multicriteria-analyse

Om uiteindelijk uitspraak te kunnen doen over welke maatregel in welke situatie volgens deze studie het meest geschikt is, wordt een multicriteria-analyse gebruikt. Met behulp van een multicriteria-analyse is het mogelijk verschillende groot- en eenheden bij elkaar op te tellen en een afweging te maken tussen de verschillende maatregelen in verschillende situaties. Naast de kosten, zijn de neveneffecten de input voor de multicriteria-analyse. Uiteindelijk ontstaat een overzicht van de geschiktheid per maatregel per situatie.

3 Maatregelen

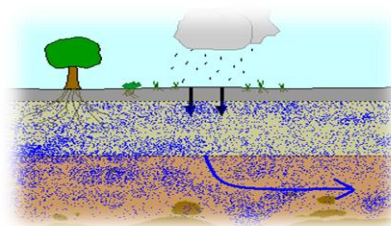
Het waterschap wil meer inzicht in zeven maatregelen. Deze zijn onderverdeeld zijn onder de noemers; 'vasthouden, bergen en afvoeren'. In dit hoofdstuk staat een beschrijving van de zeven, door het waterschap voorziene maatregelen. Per maatregel staan ook de neveneffecten vermeld (in voor- en nadelen).

3.1 Vasthouden

Vasthouden van water gebeurt veelal bovenin het systeem, daar waar de neerslag valt. Het is een maatregel aan de bron. Er zijn grofweg twee effecten. Enerzijds zorgt het voor een lagere dynamiek (afvoer), waardoor inundatie voorkomen kan worden. Anderzijds kan het bijdragen aan de droogtebestrijding (landbouw, natuur). Deze maatregel is bij uitstek dan ook geschikt bij verdroogde landbouw of natuur. Het gedeelte van de neerslag dat het aardoppervlak bereikt kan op twee manieren worden afgevoerd: door middel van oppervlakkige afstroming naar het oppervlakte watersysteem, of door infiltratie in de bodem. In het laatste geval kunnen de wortels van planten het water opnemen, overtollig water zal wegzakken naar het grondwater. Voor dit onderzoek bekijken we twee vasthoudmaatregelen; bodemberging en boerenstuwen. Deze hebben hetzelfde (hydrologische) effect, de kosten zijn echter onderscheidend.

3.1.1 Bodemberging

Bij deze maatregel wordt de bodem bewerkt. Dit kan op drie manieren: het percentage organische stof te verhogen (vocht vasthouden als spons), de grond losser maken (betere infiltratie), of door het toepassen van bodemverbeteraars. Voor dit afstudeeronderzoek wordt enkel ingegaan op de eerste optie: het verhogen van het organische stof gehalte met behulp van Biochar. In tabel 3-1 staan de voor- en nadelen van het verhogen van organisch stof met Biochar.



Figuur 3-1.1 Bodemberging

Tabel 3-1 Voor- en nadelen bodemberging

	VOORDELEN	NADELEN
Bodemberging	Duurzaam: Biochar blijft lang in de bodem zitten Kosten kunnen wellicht gedeeld worden met de boer Biochar kan bijdragen als kooldioxide opslag (klimaatverandering) Weinig jaarlijkse kosten (eenmalige investering) Agrariër is actief met waterbeheer bezig Bergen volgens WB21e eeuw (vasthouden aan de bron) Nalevering van vocht ten tijde van droogte (gunstig voor natuur + landbouw) Bodemstructuurverbetering draagt ook bij aan beter vasthouden van nutriënten (minder uitspoeling) Hogere gewasopbrengst	Afhankelijk van bijdrage derden (agrariërs) voor uitvoering Onduidelijk of er nog schadelijke neveneffecten zijn Percentage verhogen is een langzaam proces (bijv. 20 jaar) Maximum quotum belasting mest op maaiveld Maatregel werkt niet als grond als nog dicht gereden wordt Maatregel werkt niet optimaal bij dichte (slecht doorlatende) gronden Als de org. Stof naar beneden wordt geploegd is dit nadelig voor bodemleven, en dan ook weer voor infiltratie Niet alle gewassen hebben baat bij een hoger organische stof gehalte Biochar blijft lang in de bodem, dus vrij definitieve maatregel, waarschijnlijk lastig te verwijderen Boeren kunnen minder snel het land op Na regenperiode mag de bodem niet te lang verzadigd blijven (zuurstof te kort voor gewassen/bodemleven) Maatregel werkt minder goed in de winter, als er hoge GWS zijn, (grond is dan al verzadigd) Waterkwaliteit kan veranderen nadat het water "geborgen" wordt

3.1.2 Boerenstuwen

De kleinste waterlopen in het systeem zijn de haarvaten, ook wel boerensloten genoemd. Deze zijn veelal in het beheer van agrariërs. In de zomer ondervinden veel agrariërs last van verdroging. Door het plaatsen van kleine stuwttjes (zie figuur 3-2) is het mogelijk meer water vast te houden en kan verdroging bestreden worden. Deze handbediende stuwttjes zijn dan in beheer (bediening) van de agrariërs. In dit onderzoek bekijken we



wat het (hydrologische) effect is van deze stuwttjes en worden de kosten inzichtelijk gemaakt. In tabel 3-2 staan de voor- en nadelen van boerenstuwen.

Figuur 3-2 Boerenstuwen

Tabel 3-2 Voor- en nadelen boerenstuwen

	VOORDELEN	NADELEN
Boerenstuwen	Vernatting kan positief werken op natuur In de zomer kan deze maatregel positief werken voor landbouw opbrengsten (anti-verdroging) Agrariër is actief met waterbeheer bezig Bergen volgens WB21e eeuw (vasthouden aan de bron) Nalevering van vocht ten tijde van droogte (gunstig voor natuur + landbouw)	Effect en werking zijn afhankelijk van bijdrage derden (agrariërs) Effect in zomer groter dan in de winter Niet overal toepasbaar; afhankelijk van gewas eisen Niet overal toepasbaar; maatregel werkt niet optimaal bij dichte (slecht doorlatende) gronden Na regenperiode mag de bodem niet te lang verzadigd blijven (zuurstof te kort voor gewassen/bodemleven) Maatregel werkt minder goed in de winter, als er hoge GWS zijn, (grond is dan al verzadigd) Boeren kunnen minder snel het land op Controle is lastig en kost ook tijd + geld Binnen beheersgebied WRIJ blijkt weinig animo (2011-2012) Waterkwaliteit kan veranderen nadat het water "geborgen" wordt

3.2 Bergen

Bij deze vorm van berging wordt het overschot aan water (tijdelijk) buiten het watersysteem 'geparkeerd'. Daardoor bevindt zich minder water in het oppervlakte watersysteem en wordt inundatie vermeden. We onderzoeken drie maatregelen: 'bergen in plassen', 'bergen op maaiveld' en 'niets doen'. De drie maatregelen hebben hetzelfde (hydrologisch) effect, onderscheidend zijn de kosten.

3.2.1 Bergen in plassen

Bij deze vorm van berging wordt vanuit de bestaande waterloop een watergang aangelegd naar een externe locatie. Bijvoorbeeld een zandwinput of een grote plas, zie figuur 3-3. Deze locatie is in eigendom van derden. Uitgangspunt is dat er een kunstwerk wordt aangelegd en een watergang naar de plas toe. De hoogte van de waterschijf is groot (ongelimiteerd). De voor- en nadelen staan in tabel 3-3.



Figuur 3-3 Bergen in plassen

Tabel 3-3 Voor- en nadelen bergen in plassen

	VOORDELEN	NADELEN
Plasberging	Alleen inrichtingskosten Regeling landruil of uitbereidingsmogelijkheid mogelijk	Meestal geen (geschikte) locatie in de buurt van het probleem Waterkwaliteit kan veranderen nadat het water "geborgen" wordt Meestal niet mogelijk te berging i.c.m. recreatief zwemwater (waterkwaliteit) Zou effect kunnen hebben op de omgeving (grondwaterstand verhoging) Timing essentieel voor effectiviteit maatregel Peilfluctuaties niet altijd toegestaan

3.2.2 Bergen op maaiveld

Bij deze vorm van berging wordt geborgen op (landbouw)grond, waarbij het land niet wordt aangekocht door het waterschap. Deze gronden zijn meestal in eigendom van agrariërs. Om optimaal te kunnen bergen worden er inrichtingsmaatregelen genomen. Dit betekent een kade om het perceel, zodat het mogelijk wordt een waterschijf van 40 cm te bergen. Vanzelfsprekend treedt er tijdens periode van berging gewasschade op. De hoogte van deze schade hangt af van het soort gewas, het moment van inundatie (zomer/winter) en de periode van de inundatie (dagen). Naast gewasschade is er ook waardedaling van de grond. Om tegemoet te komen in de schade zijn verschillende berekeningen mogelijk. De voor- en nadelen zijn weergegeven in onderstaande tabel 3-4.



Figuur 3-4 Bergen op maaiveld

Tabel 3-4 Voor- en nadelen bergen op maaiveld

	VOORDELEN	NADELEN
Bergen op maaiveld	Afhankelijk van de betalingsvorm; waterschap is er maar vanaf (bij eenmalige vergoeding) Zekerheid waar er inundatie optreedt (gestuurd)	Schade aan gewassen Geen mogelijkheden uitbouwen bebouwing etc. Eventuele verplichtingen die de boer heeft naar bijv. winkelketens kunnen niet nagekomen worden Bij opbrengstderving is zonde van "energie van de agrariër" Timing essentieel voor effectiviteit maatregel Jaarlijkse kosten voor taxateurs (veel administratie) Waterkwaliteit kan veranderen nadat het water "geborgen" wordt

3.2.3 Niets doen

Elke maatregel brengt bepaalde kosten met zich mee. Als bergingskosten hoger zijn dan de vermeden schade, dan is het waarschijnlijk niet zinvol om de maatregel te nemen. Stel dat er nou niets gedaan wordt en enkel wordt uitgekeerd als er inundatie is, welke schadevergoedingen worden er dan toepast, en wat is een juiste onderbouwing? Bij deze maatregel gaan we er vanuit dat er geen inrichtingswerkzaamheden gedaan worden. Hierdoor is het mogelijk slechts 20 cm water te bergen. In tabel 3-5 staan de voor- en nadelen voor deze bergingsvorm.



Figuur 3-5 Niets doen

Tabel 3-5 Voor- en nadelen niets doen

	VOORDELEN	NADELEN
Niets doen	Boer kan over het uitgekeerde bedrag rente ontvangen Bij eenmalige vergoeding: waterschap is er maar vanaf Het waterschap is bij eenmalige betaling voor lange tijd van de schade / bergingsopgave af Weinig ingrepen/investering nodig; wel inundatiekaarten maken! Geen ingrepen in het landschap nodig Meest natuurlijke situatie	Kan "onveilig" gevoel geven aan mensen (geloofwaardigheid van het waterschap ten gronden) Bij opbrengstderving is zonde van "energie van de boer" Eventuele verplichtingen die de boer heeft naar bijv. winkelketens kunnen niet nagekomen worden Risico dat de agrariër het geld in 1 keer uitgeeft Indien slecht voorbereid kan onzekerheid bestaan over de kosten Jaarlijkse kosten voor taxateurs Discussies of bepaalde gebeurtenis binnen- of buiten de norm valt Waterkwaliteit kan veranderen nadat het water "geborgen" wordt

3.3 Afvoeren

Elk watersysteem heeft een bepaalde capaciteit. Indien men het systeem 'leegt' ontstaat er meer ruimte in het watersysteem om aankomende afvoerpieken 'op te vangen'. Als het systeem namelijk vol zit, kan er niets meer bij en inundeert er op bepaalde plekken water. Onder 'afvoeren' worden de maatregelen 'verruimen watergang' en 'actief peilbeheer' verstaan. Deze staan hieronder beschreven.

3.3.1 Verruimen watergang

Bij deze lokale maatregel wordt het watersysteem ter plaatse van het knelpunt vergroot. Als gevolg hiervan gaat het waterpeil omlaag waardoor inundatie wordt vermeden. Alle kunstwerken (duikers, stuwen, etc.) benedenstrooms van het knelpunt, die opstuwend werken, zullen ook aangepast moeten worden. Vaak wordt deze maatregel in combinatie met andere (natuur/KRW-) doelen gerealiseerd. Er wordt dan een zogenaamde 'natuurvriendelijke oever' aangelegd. Als gevolg van de vergroting van de watergang, kan er ook een groter debiet door de watergang stromen. Deze maatregel valt daardoor onder de noemer 'afvoeren'. De voor- en nadelen staan in tabel 3-6.



Figuur 3-6 Verruimen watergang

Tabel 3-6 Voor- en nadelen verruimen watergang

	VOORDELEN	NADELEN
Verruimen watergang	- Vaak mogelijkheden i.c.m. natuurontwikkeling (mits waterkwaliteit geen beperkingen levert) - Weinig jaarlijkse kosten (eenmalige investering) - Minimale claim op andere functies / gronden - Heeft lokaal direct resultaat zonder dat je afhankelijk bent van anderen	- Door het verruimen kan er potentieel een hoger debiet optreden - Risico op probleemverplaatsing - Stroomsnelheid (v) neemt af, gevolg: strominigsminnendesoorten kunnen verdwijnen - Bij natuurontwikkeling kan ook wildschade (door bijv. vogels) aan gewassen optreden - Aantasting van het landschap - Andere opstuwende obstakels moeten aangepast worden (kan duurder uitvallen) - Maatregel i.c.m. vispassages zorgt voor opstuwung, onderhoud daarvan is duur

3.3.2 Actief peilbeheer

In de watergangen wordt het peil veelal gestuurd door middel van stuwen. In grote waterlopen zijn deze stuwen vaak geautomatiseerd, in kleine watergangen meestal niet. Door de stuwen te automatiseren is het in theorie mogelijk om het peil actief te beheren en te anticiperen op een aankomende extreme neerslaggebeurtenis en daarmee extreme waterafvoer. Hierdoor is het bijvoorbeeld mogelijk om het systeem vooraf te legen waardoor meer ruimte in het oppervlaktewatersysteem beschikbaar komt. Daarnaast kan er bij droogte meer water vast gehouden worden. Sturing kan op basis van debiet of peil. Nadat er meetapparatuur is geïnstalleerd kan de stuw op afstand bestuurd worden. De voor- en nadelen staan in tabel 3-7.



Figuur 3-7 Actief peilbeheer

Tabel 3-7 Voor- en nadelen actief peilbeheer

	VOORDELEN	NADELEN
Actief peilbeheer	- Riscospreiding in een gebied; er kunnen keuzes worden gemaakt - Betere kennis van je watersysteem, door actieve monitoring - Optimaal het watersysteem benutten - Kosten voor grote watergangen zijn beperkt (meestal al geautomatiseerd) - Nat en droogte schade kan hiermee voorkomen worden	- In hellend gebied is het effect kleiner dan in vlak gebied - Ook andere opstuwende obstakels moeten aangepast worden (kan duurder uitvallen) - Door het verruimen kan er potentieel een hoger debiet optreden - Het knelpunt moet binnen (stuw)bereik zitten - Systeem moet voldoende speling hebben - Inschatting en timing lastig maar essentieel voor effect van maatregel - Risico instorten talud bij het vooraf legen van systeem

4 Modelopbouw

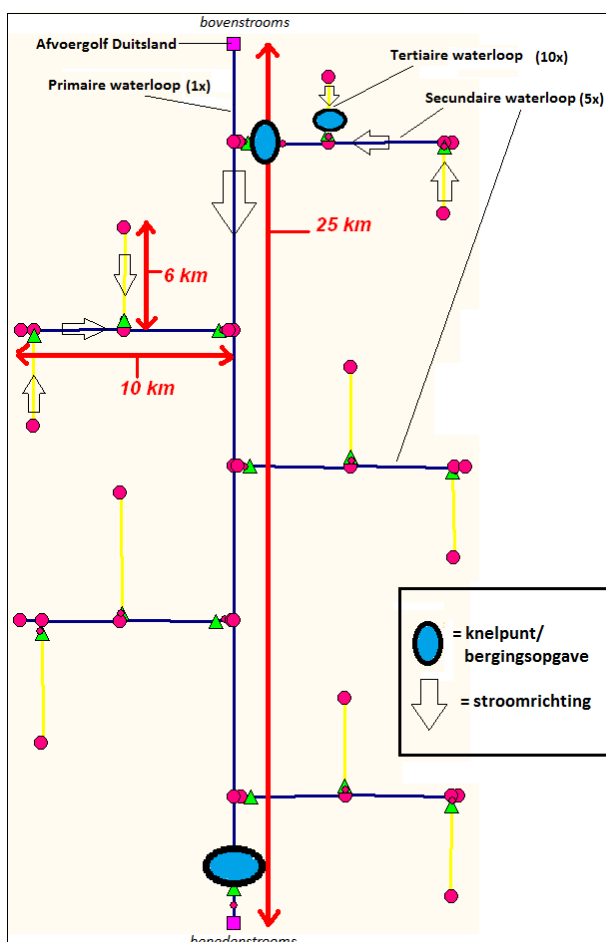
In dit hoofdstuk wordt de opbouw van het SOBEK (1D-flow) model uiteen gezet.

4.1 Theoretisch model

Het in SOBEK gemodelleerde watersysteem bestaat uit een Duits- en een Nederlands deel, wat typerend is voor het watersysteem van het Waterschap Rijn en IJssel. Het is gebaseerd op een stroomgebied met een omvang zoals het watersysteem van de 'Oude IJssel'. De bovenrandvoorwaarde van het model (voor de primaire waterloop) is een afvoergolf uit Duitsland, die binnenkomt op de grens. Het Nederlandse deel is opgebouwd uit drie verschillende soorten (klasse) waterlopen; primaire- (1x), secundaire- (5x) en tertiaire (10x). De tertiaire waterloop watert af op de secundaire waterloop, en de secundaire watert af op de primaire waterloop. De bergingsopgave is, zoals eerder vermeld, de hoeveelheid water (in m³) die inundeert als gevolg van een (te grote) afvoergolf. Bij elke type waterloop is een bergingsopgave (m³). In figuur 4-1 is het model schematisch weergegeven.

4.2 Uitgangspunten

De uitgangspunten⁷, in tabel 4-1 zijn gebaseerd op het watersysteem van de 'Oude IJssel', met uitzondering de opstuwing benedenstrooms (stuw 'Doesburg').



Figuur 4-1 Modelopbouw

Tabel 4-1 Overzicht uitgangspunten

	Deelgebied	Oppervlakte stroomgebied (afgerond) (ha)	Lengte (km)	Aantal	Reliëf Vlak (‰)	Drempelhoogte stuw (m-insteekhoogte)	Stuw breedte (m)
	Totaal stroomgebied	100.000					
Boven boundary	Stroomgebied DE	90.000					
	Stroomgebied NL	20.000					
SOBEK-1D-fow MODEL	Primaire waterloop	20.000	25	1	0,2	1,5	24
	Secundaire waterloop	4.500	10	5	0,2	0,91	3,5
	Tertiaire waterloop	2.000	6	10	0,2	0,93	2
	Boerensloot*	50	1	400	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

⁷ Op basis van de legger, en informatie van Waterschap Rijn en IJssel

* De boerensloten zijn niet in het model opgenomen, maar als randvoorwaarde voor de laterale toestroming (uit onverhard gebied) gebruikt.

Verder gelden de volgende uitgangspunten:

- ✓ Afmetingen watergangen op basis van de legger
- ✓ Toetsing landelijk gebied, niet stedelijk
- ✓ Zomersituatie (met zomer-begroeiing⁸)
- ✓ Een afvoer uit Duitsland die eens per 10 jaar voorkomt; ca. 80 m³/sec)
- ✓ Een afvoer uit Nederland afgeleidt op basis meetgegevens WISKI⁹
- ✓ 3 bergingsopgaven; primair, secundair, tertiair
- ✓ 7 maatregelen
- ✓ 21 scenario's
- ✓ Basisafvoer¹⁰ tertiaire watersysteem (NL-deel) is 1 l/sec/ha.

4.3 Afvoergolven

Zoals vermeld, zijn er twee afvoergolven; één uit Duitsland en één uit Nederland. Van belang is dat er een goede verhouding is tussen de verschillende afvoergolven. Op basis van de afvoergolf uit Duitsland is (door middel van 'schalen') de afvoergolf voor de (tien) tertiaire watergangen (in Nederland) bepaald. De vorm van een afvoergolf wordt bepaald door vier onderdelen; de hoeveelheid (m³), de duur (uren), het tijdstip (T) van de piekafvoer (Q_{max}) en de hoogte (h) van de piekafvoer (Q_{max}).

4.3.1 Duitsland

In het model wordt bovenstrooms de afvoergolf opgelegd, die de bovenstroomse belasting van de primaire watergang vertegenwoordigd (vanuit Duitsland). Om deze golf te bepalen is gebruik gemaakt van de gegevens uit WISKI, een gebeurtenis van de periode van 2 januari 2003 t/m 5 januari 2003, zie figuur 4-2. Uit de meetgegevens blijkt dat als gevolg van deze gebeurtenis, er een piekafvoer (ca. 80 m³/sec) ontstaat die ongeveer eens per 10 jaar voorkomt. Als basis aanloopdebiet (voor- en na deze afvoerpiek) wordt 25 m³/sec gehanteerd. Dit doen we zodat het model 'gevuld' is met water, en zo kan 'stabiliseren', voordat de grote afvoerpiek (ca. 80 m³/sec) tot afvoer komt. Omdat we niet weten wat de afvoer uit het Nederlandse deel is, gaan we er vanuit dat de neerslaggebeurtenis die deze afvoer veroorzaakte over het hele stroomgebied (NL + DE) gevallen is.

4.3.2 Nederland

Uit de meetgegevens weten we de totale afvoersom (in m³) (van de afvoergolf) uit Duitsland, namelijk ca. 17,3 miljoen m³, zie tabel 4-2. Op basis hiervan, is ook de afvoergolf voor het Nederlandse stroomgebied bepaald. Dit, door te schalen op basis van de oppervlakte van het stroomgebied behorende bij de waterloop. Voor het Nederlandse deel geldt dan dat de totale som een factor 41,6 kleiner is (92.138 ha/22.161ha), en komt daarmee op ca. 4,2 miljoen m³. Dit wordt verdeeld over 10 tertiaire waterlopen, per tertiaire waterloop heeft de afvoergolf een totale som van ca. 400.000 m³.

⁸ Bos en Bijkerk begroeiingswaarden gebaseerd op document "Richtlijn Hydrologische modellering oppervlaktewater, van Waterschap Rijn en IJssel".

⁹ WISKI is het validatie en opslagpakket voor kwantitatieve meetdata bij het Waterschap Rijn en IJssel

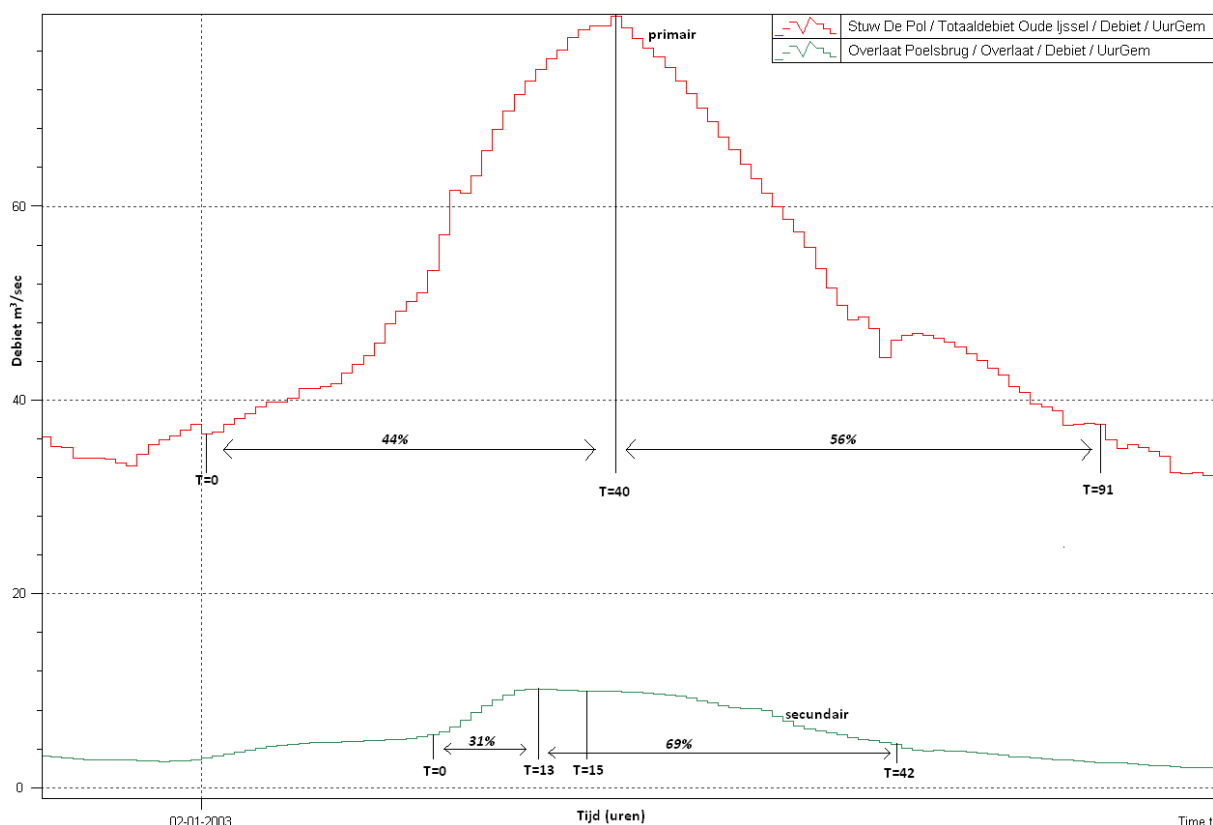
¹⁰ http://www.wpm.nl/regelgeving/beleidsnotitie_uitgangspunten_nieuwe_legger_2005

Tabel 4-2 Kenmerken afvoergolf

	Primaire waterloop DE-deel	Primaire waterloop NL-deel (som)	Secundaire waterloop (5x)	Tertiaire waterloop (10x)
Oppervlakte (ha)	92.138	22.161	4.432	2.216
Som debiet golf (m ³)	17.309.416	4.163.255	832.651	416.325
Duur van golf (uren)	91	91	42	41 uur
Qmax. piekafvoer is na X-aantal uur	40 uur (44%)	40 uur (44%)	13 uur (31%)	12 uur (31%)

Duur van de afvoer golf

De totale som van de afvoergolf voor het tertiaire systeem is nu bepaald, maar de duur van de afvoergolf nog niet. Deze kan afgeleid worden. Een groot watersysteem heeft een grote afvoergolf die lang duurt. In dit geval duurt de afvoer golf uit Duitsland ca. 91 uur. Een kleiner systeem zal sneller afvoeren en kent dus een kortere afvoergolf. We weten nu dat de duur van de afvoergolf voor het secundaire en tertiaire systeem <91 uur is. Om de duur te bepalen wordt WISKI gebruikt. Bij meetstation 'Poelsbrug' wordt het debiet gemeten, en is vergelijkbaar met een secundaire waterloop. De afvoerpiek als gevolg van de gebeurtenis duurde ca. 42 uur (zie figuur 4-2). Nu is de afvoerpiek van de tertiaire waterloop nog onbekend. Door deze lineair af te leiden (zie bijlage I) is deze 41 uur.



Figuur 4-2 Afvoergolven primaire en secundaire waterloop

Qmax (tijdstip piekafvoer)

Bekend is nu dat de afvoergolf van de tertiaire watergang een grootte heeft van ca. 400.000 m³ en ca. 41 uur duurt. Onbekend is echter op welk tijdstip (T), de piekafvoer (Qmax) plaats vond. Bij een klassieke golf zou deze precies in het midden zijn. In dit geval willen we die berekenen door weer te schalen t.o.v. de afvoergolf van primaire waterloop en secundaire waterloop. De piekafvoer (van de primaire waterloop was op tijdstip T=40 uur, en de golf duurde 91 uur, zie figuur 4-2. Gesteld kan worden dat de piekafvoer op 44% van de tijdsduur zit (91 uur/40 uur * 100%).

Doordat bij de meetlocatie 'Poelsbrug' een overstort zit, is de piek afgevlakt. Af te lezen is dat deze tussen de 11 en 15 uur zit. Uitgangspunt is dat de Qmax in het midden zit, dus op T=13 uur. De piekafvoer (Qmax) van de secundaire waterloop, kwam dus na 31% na het begin van de afvoergolf (13 uur/42 uur * 100%). Dit percentage kan weer geëxtrapoleerd worden naar de tertiaire waterloop, met een lineair verband (zie bijlage I, 2^e grafiek). Daaruit blijkt dat ook de piekafvoer voor de tertiaire waterloop op tijdstip T=31% ligt (van 40 uur), dus op T=12 uur.

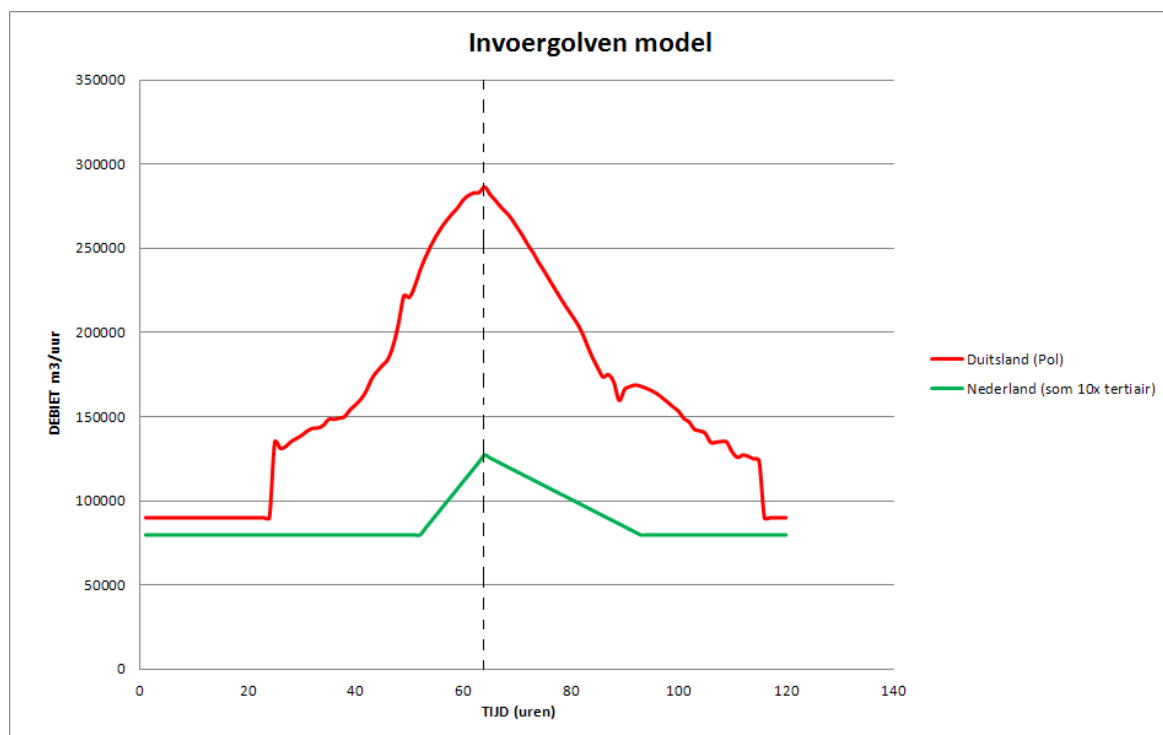
Qmax (hoogte piekafvoer)

De afvoergolf is nu bijna compleet, het enige wat ontbreekt is de hoogte van de Qmax (in m³/uur). De berekening is te vinden in bijlage I. We komen uit op een hoogte van (Qmax) 12.720 m³/uur.

Conclusie

Eerder is gesteld dat over het hele stroomgebied de neerslag gelijkmatig valt. Dit betekent dat de neerslag in Nederland eerder tot afvoer komt, en de golf uit Duitsland later. Om een extreme (nadelige) situatie na te bootsen, is het uitgangspunt dat de pieken samenvallen. De afvoerpiek uit Nederland valt dus samen met de afvoerpiek uit Duitsland. In dat geval regent het eerst in Duitsland en als de afvoergolf tot afvoer komt, dan begint het in Nederland te regenen.

Figuur 4-3 laat de invoergolf uit Duitsland zien, afgeleid uit WISKI (rode lijn), en de som van alle 10 invoergolven uit de tertiaire watergangen (groene lijn) vanuit Nederland. Hoe de vorm van de groene lijn tot stand is gekomen leest u op de voorgaande pagina's.



Figuur 4-3 Invoergolven model

Samenvatting

Voor de tertiaire waterlopen (10x) geldt:

- ✓ Totale som van afvoerpiek: 416.325 m³
- ✓ Duur afvoergolf: 41 uur
- ✓ Maximum afvoerpiek is op tijdstip: T = 12 uur
- ✓ De hoogte van de Q_{max} is ca. 13.000 m³/uur

4.4 Bergingsopgave

Het model is vastgesteld, en de afvoergolven zijn bepaald. Voor dit onderzoek zijn drie knelpunten gemaakt. De omvang van het knelpunt (bergingsopgave) voor de drie systemen zijn te zien in onderstaande tabel 4-3.

Tabel 4-3 Bergingsopgave onderzoek

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)
Tertiair	16.820
Secundair	68.280
Primair	3.079.000

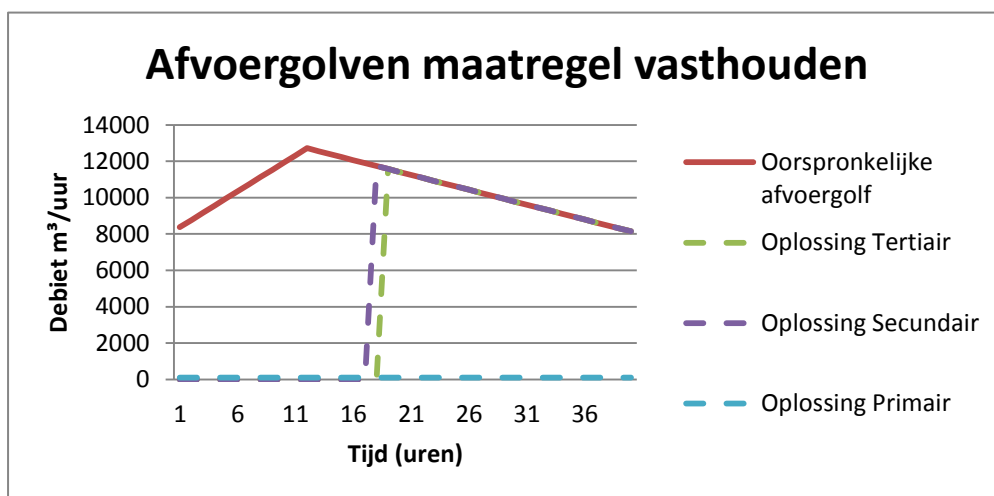
De volgende stap is het implementeren van de maatregelen in het model en met als doel het knelpunt (bergingsopgave) op te lossen.

4.5 Maatregelen implementeren

Zoals eerder vermeld, is het doel de bergingsopgave (par. 4.5) mogelijk op te lossen met behulp van de maatregelen. Dit wordt voor elk deel (primair, secundair, tertiair) in het systeem getoetst. De zeven maatregelen en 3 locaties in het systeem, leveren vervolgens 21 scenario's op. Het doel is nu het knelpunt (inundatie) op te lossen door het nemen van de maatregelen waardoor het waterpeil onder insteekniveau zakt, en wordt inundatie vermeden wordt. Hieronder is beschreven hoe de maatregelen in het SOBEK-model zijn ingebouwd.

4.5.1 Vasthouden

De maatregelen 'bodemberging' en 'boerenstuwen' zijn op één wijze gemodelleerd. Beide zijn vasthoudmaatregelen. Dit is gemodelleerd door in het Nederlandse deel, de afvoergolf van de tertiaire watergangen, aan te passen. De hoeveelheid water die de maatregel 'vast kan houden', is van het eerste deel van de afvoergolf afgehaald, zie figuur 4-4. De gestreepte lijnen zijn de nieuwe afvoergolven, die nodig zijn om het probleem om te lossen (de maatregel).



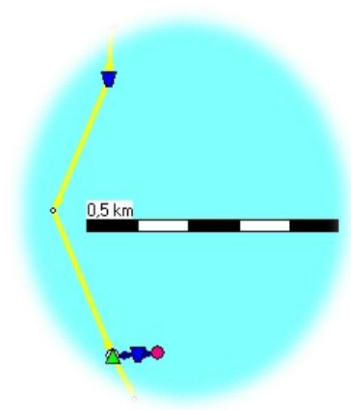
Figuur 4-4 Implementatie maatregel 'vasthouden'

Voorbeeld

Om de tertiaire bergingsopgave op te lossen (door middel van water vasthouden), wordt de afvoergolf (voor de 10 tertiaire waterlopen) zoals de groene lijn aangeeft in figuur 4-4.

4.5.2 Bergen

De bergingsmaatregelen 'plasbergen', 'bergen op maaiveld' en 'niets doen' zijn op één wijze in SOBEK gemodelleerd. Op de locatie waar de inundatie optreedt, is aan de betreffende waterloop een zijtak gekoppeld. Door middel van een stuw is een overstort gemaakt naar een lager gelegen bak waar het water in blijft staan. Doordat de dimensies van deze bak bekend zijn, kan de hoeveelheid water die inundeert, berekend worden. In dit geval is die hoeveelheid gelijk aan de 'bergingsopgave'. In figuur 4-5 is het voorbeeld gegeven voor een tertiaire waterloop, onderaan is de overstortbak.



Figuur 4-5 Schematisatie bergen

4.5.3 Afvoeren

Onder deze noemer vallen de bergingsmaatregelen 'verruimen watergang' en 'actief peilbeheer'.

Verruimen watergang

Bij deze maatregel is de watergang op de plaats van het knelpunt verruimd. In figuur 4-6 is geïllustreerd hoe deze verruiming is ingevoerd. Zoals vermeld, moeten ook de kunstwerken, benedenstrooms van de maatregel, aangepast worden. In het model zit, benedenstrooms van de maatregel, een stuw. Deze is eveneens verruimd, zie kader *voorbeeld*.



Figuur 4-6 Implementatie verruimen watergang

Voorbeeld

De waterloop heeft een bovenbreedte van 10 meter, en wordt verruimd tot 12 meter. Dit is een verruiming van 20%. De bovenbreedte van de stuw wordt dan ook met 20% verruimd.

Actief peilbeheer

Het doel is dat door aanpassing van de stuwen inundatie voorkomen wordt. Bij deze maatregel zijn de stuwen in het model geautomatiseerd. Op het moment dat de afvoerpiek eraan komt, wordt de stuw volledig gestreken. Op deze manier krijgt het systeem meer (bergings-)ruimte. Als de hoge piekafvoeren de stuw daadwerkelijk passeren, wordt er een hoger peil gehanteerd (in dit geval een paar cm onder insteekhoogte).

5 Resultaten effecten

In dit hoofdstuk worden de resultaten met betrekking tot de effecten beschreven. Er zijn 21 scenario's doorerekend in SOBEK. In SOBEK is de bergingsbehoefte per scenario bepaald. De screenshots (side-views) daarvan zijn in de bijlagen opgenomen.

Op basis hiervan is bij elk scenario de effectiviteit van de maatregel berekend. Naast de SOBEK-effecten-analyse is er een theoretische-effectanalyse voor de vasthoudmaatregelen. Op basis van deze twee analyses wordt de effectiviteit bepaald. Hiermee rekenen we de omvang van de maatregel uit. De berekeningen zijn wederom opgenomen in de bijlagen.

5.1 Vasthouden

SOBEK

Uit de SOBEK-analyse blijkt dat effectiviteit van deze maatregel laag is.

In tabel 5-1 is te staat hoeveel m³ water er vast gehouden moet worden (=bergingsbehoefte) om het knelpunt (=bergingsopgave) op te lossen. De effectiviteit¹¹ staat in de rechter kolom.

Tabel 5-1 Effectiviteit vasthouden

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	Bergingsbehoefte (m ³)	Effectiviteit (%)
Tertiair	16.820	199.442	8
Secundair	68.280	375.406	18
Primair	3.079.000	>4.163.251	<74

Het primaire knelpunt, is niet op te lossen door middel van vasthoudmaatregelen. Het probleem wordt o.a. veroorzaakt door de afvoergolf uit Duitsland (bovengrens). De maatregel vasthouden wordt uitsluitend toegepast op het Nederlandse deel van de afvoergolf. De resultaten (screenshots) voor de vasthoudmaatregelen staan in bijlage II.

Theorie bodemberging

Uit de theoretische effectanalyse blijkt dat 1 % organische stof verhogen met Biochar, leidt tot een berging van 37 m³/ha. De grootte van het tertiaire stroomgebied is 2216 ha, wat resulteert in een berging van ca. 81.000 m³. Zoals af te lezen in tabel 5-1 blijkt uit de modelanalyse dat er 199.442 m³ water vastgehouden moet worden om het knelpunt op te lossen (voor het tertiaire systeem). 1 % organisch stof verhoging is dus niet voldoende. We kunnen terugrekenen met hoeveel procent de organische stof in de bodem verhoogd zou moeten worden om 199.442 m³ water vast te houden. Dit blijkt voor de tertiaire-, secundair- en primaire watergangen respectievelijk; 2.46%, 2.32% en >5.14%. De berekening is opgenomen in bijlage III en bijlage VIII. Uit de theoretische-effecten-analyse kan daarnaast het volgende geconcludeerd worden.

Conclusie

Zware landbouwvoertuigen hebben een grote invloed op de potentie voor het bodembergen dan de overige maatregelen zoals het verhogen van het organische stof. Over het algemeen is er sprake van een infiltratieprobleem bij kleigronden. Voor zandgronden is meer potentie, als er geen storende lagen in de bovengrond aanwezig zijn. Zijn deze wel aanwezig dan moeten ze worden verwijderd en voorkomen dat door landbewerking (meestal landbouwmachines) in de toekomst de bodem verdicht wordt. Een ander aandachtspunt is de grondwaterstand. In gebieden waar deze hoog is, is geen mogelijkheid voor bodemberging (de grond is immers al verzadigd). Tot slot merken we op dat het verhogen van de organische stof een lang proces is (decennia).

¹¹ In paragraaf 2.3 staat hoe de effectiviteit berekend wordt

Theorie boerenstuwen

Uit de theoretische effectanalyse (bijlage IV) blijkt dat één boeren stuw, circa 1250 m³ water kan bergen. We weten de bergingsbehoefte uit de modelanalyse, zie tabel 5-2. Nu kan de omvang van de maatregel uitgerekend worden. De hoeveelheid stuwen die nodig zijn blijkt voor de tertiaire-, secundair- en primaire watergangen respectievelijk; 160 stuks, 301 stuks, >3331 stuks. De berekening is opgenomen in bijlage IV.

5.2 Bergen

Onder deze noemer vallen de maatregelen 'bergen in plassen', 'bergen op maaiveld' en 'niets doen'. Bij deze vormen van waterberging wordt buiten het oppervlakte-watersysteem geborgen. Zoals vermeld in paragraaf 4.5.2 is de bergingsopgave gelijk aan de bergingsbehoefte, zie tabel 5-2. De effectiviteit is dan ook 100%. De SOBEK-screen shots staan in bijlage V.

Tabel 5-2 Effectiviteit bergen

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	Bergingsbehoefte (m ³)	Effectiviteit (%)
Tertiair	16.820	16.820	100
Secundair	68.280	68.280	100
Primair	3.079.000	3.079.000	100

5.3 Afvoeren

Hieronder vallen de maatregelen 'verruimen watergang' en 'actief peilbeheer'.

Verruimen watergang

In SOBEK is de watergang verruimd en zijn de stuwen ook verbreed. De SOBEK screenshots staan in bijlage VI. De hoeveelheden grond die ontgraven moet worden om de watergang te verbreden staan in tabel 5-3.

Tabel 5-3 Effectiviteit verruimen watergang

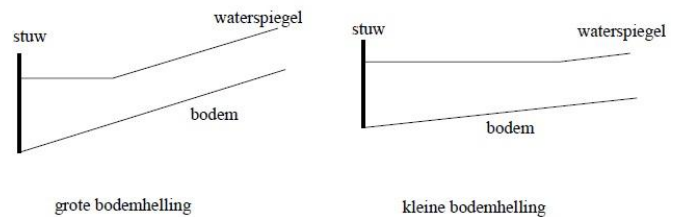
Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	Ontgraven grond (m ³)	Effectiviteit (%)
Tertiair	16.820	5.000	336
Secundair	68.280	9.800	697
Primair	3.079.000	180.000	1711

Uit de SOBEK effecten analyse blijkt dat het geen zin heeft om de watergang te verruimen wanneer er zich benedenstrooms van de maatregel vernauwende kunstwerken bevinden zoals in dit geval een stuw. Deze is daarom relatief meeverruimd. Uit de analyse blijkt echter ook dat wanneer enkel de stuw verruimd wordt, het knelpunt ook opgelost is. We kunnen daardoor concluderen dat niet de te kleine watergang, maar een te kleine stuw de oorzaak is van het inundatieprobleem. Men kan zich dan ook afvragen of het 'verruimen van de watergang' een geschikte maatregel. Uit dit voorbeeld blijkt dan ook de noodzaak van een goede probleemanalyse alvorens tot uitvoering van de maatregelen overgegaan wordt.

Actief peilbeheer

Uit de model-analyse (bijlage VII) blijkt dat deze maatregel vooral effectief is in de secundaire- en primaire watergang. Het knelpunt in de tertiaire watergang wordt door deze maatregel niet opgelost. Dit komt doordat de afvoergolf te groot is voor de dimensies van het tertiaire watersysteem. Als de stuw volledig gestreken is, inundeert het bovenstrooms alsnog. Er kan geconcludeerd worden dat deze maatregel enkel interessant is als er voldoende ruimte in het watersysteem is (t.o.v. de afvoergolf). De exacte hoeveelheid berging is in SOBEK niet bepaald, omdat onduidelijk is hoe deze maatregel (hydrologisch) werkt. Daarmee is het helaas niet mogelijk de effectiviteit te berekenen. Uitgangspunt is dat als de waterschijf die inundeert (in cm) kleiner is dan de stuwstand speling (cm), de maatregel werkt. Indien dit omgekeerd is, dan werkt de maatregel niet, want dan is de (bergings)capaciteit van het systeem te klein, of de afvoer (Q_{max}) te groot.

Een andere voorwaarde is dat het knelpunt zich binnen het bereik van de stuw bevindt. Bij een groot verhang is het stuwbereik kleiner, zie figuur¹² 5-1.



Figuur 5-1 Stuwbereik vs bodemhelling

¹² Bron: Waterconserveringplan Gemert-Bakel, DHV Milieu en Infrastructuur BV (2003)

6 Resultaten kosten

In dit hoofdstuk zijn op basis van de model-effecten-analyse de kosten berekend voor een periode van 40 jaar. Informatie is afkomstig uit diverse voorbeeldprojecten en literatuurstudie. Per scenario worden de kosten (in €), gedeeld door de bergingsopgave (in m³). Daardoor ontstaat een overzicht van de kosten per kuub (in €/m³) en zijn de kosten per scenario onderling vergelijkbaar. De kostenberekeningen zijn opgenomen in de bijlagen. De maatregelen die niet effectief blijken uit de effectenanalyse zijn weggelaten.

6.1 Vasthouden

6.1.1 Bodemberging

Uit een studie van Damkot (2011), blijkt dat Biochar één van de betere bodemverbeteraars is voor het waterschap en voor de agrariër. Daarom wordt in dit onderzoek uitgegaan van Biochar als bodemverbeteraar. Biochar wordt op dit moment nog niet op grote schaal gefabriceerd. Dit heeft als gevolg dat de prijzen uiteenlopen. De berekening is te vinden in bijlage VIII. Daaruit blijkt dat de kosten per m³, voor het tertiaire- en secundaire systeem respectievelijk € 450/m³ € 968/m³ zijn, zie tabel 6-1.

Tabel 6-1 Kostenoverzicht 'bodemberging'

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	Kosten 40 jaar (€) mln	Kosten maatregel (€/m ³)
Tertiair	16.820	16,3	968
Secundair	68.280	30,8	450

6.1.2 Boerenstuwen

Voor een inschatting van de kosten is gebruik gemaakt van drie bronnen; informatie van Ing. Verdonshot (waterschap Peel en Maasvallei, persoonlijke mededeling) en informatie van de website van het Waterschap Rijn en IJssel en informatie van het waterschap Aa en Maas. In tabel 6-2 staan de kosten per m³ voor deze maatregel. De onderbouwing hiervan is te vinden in bijlage IX.

Tabel 6-2 Kostenoverzicht 'boerenstuwen'

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	Kosten 40 jaar € mln	Kosten maatregel (€/m ³)
Tertiair	16.820	1,47	88
Secundair	68.280	2,77	41

6.2 Bergen

6.2.1 Bergen in plassen

De kosten bedragen tussen de één en vijf euro per m³, zie tabel 6-3. De onderbouwing hiervan staan in bijlage X.

Tabel 6-3 Kostenoverzicht 'bergen in plassen'

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	Kosten 40 jaar € mln	Kosten maatregel (€/m ³)
Tertiair	16.820	0,07	4,31
Secundair	68.280	0,162	2,36
Primair	3.079.000	4,416	1,43

6.2.2 Bergen op maaiveld

Voor de berekening van de kosten is gebruik gemaakt van verschillende bronnen. We gaan uit van geleden zomerschade. In tabel 6-4 staan de resultaten. De kostenberekening is te vinden in bijlage XI.

Tabel 6-4 Kostenoverzicht 'bergen op maaiveld'

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	Kosten 40 jaar € mln	Kosten maatregel (€/m ³)
Tertiair	16.820	0,09	5,36
Secundair	68.280	0,36	5,32
Primair	3.079.000	13,24	4,30

6.2.3 Niets doen

De kosten voor deze maatregel bestaan enkel uit het uitkeren van schadevergoedingen en eventuele waardedaling van de grond. Waterschap Rijn en IJssel heeft geen (schade)regeling. Daarom is gebruik gemaakt van de schaderegelingen van waterschap Vallei en Eem, Aa en Maas en Regge en Dinkel. De berekeningen staan in bijlage XII. Voor het tertiaire-, secundaire en primaire knelpunt zijn de kosten van deze maatregel per kuub ca. € 1,50. In de praktijk zal de omvang van de schade afhangen van hoe het watersysteem er bij ligt.

Tabel 6-5 Kostenoverzicht 'niets doen'

Waterloop	Vallei en Eem €/m ³ Zomer	Aa en Maas €/m ³ Zomer	Regge en Dinkel €/m ³ Zomer	Kosten gemiddeld €/m ³ Zomer
Tert. + Sec. + Pri.	1,31	2,28	0,97	1,52

6.3 Afvoeren

6.3.1 Verruimen watergang

Voor deze maatregel is gebruik gemaakt van drie bronnen. Rechts in tabel 6-6 staan de kosten per m³, voor de variant zonder- en met KRW doelen. De onderbouwing hiervan staat in bijlage XIII. In onderzoek rekenen we verder met de variant 'met KRW doelen'.

Tabel 6-6 Kostenoverzicht 'verruimen watergang'

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	- KRW Kosten 40 jaar € mln	+ KRW Kosten 40 jaar € mln	Kosten - KRW €/m ³	Kosten + KRW €/m ³
Tertiair	16.820	0,057	0,082	3,4	4,4
Secundair	68.280	0,101	0,15	1,5	2,2
Primair	3.079.000	1,2	2,1	0,4	0,7

6.3.2 Actief peilbeheer

Hierbij is gebruik gemaakt van drie bronnen. De kosten per kuub staan in onderstaande tabel 6-7. De berekening is te vinden in bijlage XIV.

Tabel 6-7 Kostenoverzicht 'actief peilbeheer'

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	*Kosten 40 jaar € mln	Kosten maatregel (€/m ³)
Secundair	68.280	0,204	2,99
Primair	3.079.000	0,022	0,007

6.4 Samenvatting kosten

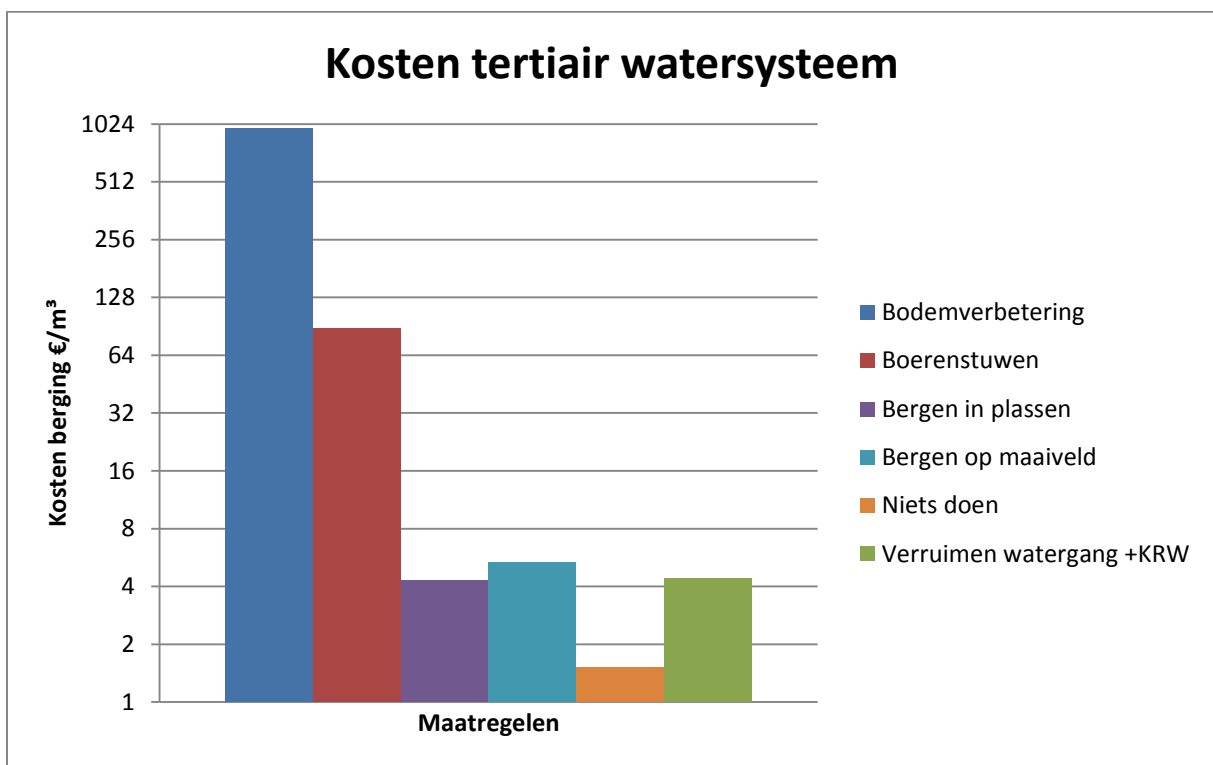
In onderstaande tabel 6-8 staat de samenvatting van de kosten voor het tertiaire- secundaire en primaire systeem.

Tabel 6-8 Kostenoverzicht samenvatting

Maatregel	Kosten €/m ³ (in 40 jaar)		
	Primair	Secundair	Tertiair
Bodemverbetering	#	450	968
Boerenstuwen	#	41	88
Bergen in plassen	1,43	2,36	4,31
Bergen op maaiveld	4,30	5,32	5,36
Niets doen	1,52	1,52	1,52
Verruimen watergang +KRW	0,68	2,20	4,40
Actief peilbeheer	0,007	2,99	#

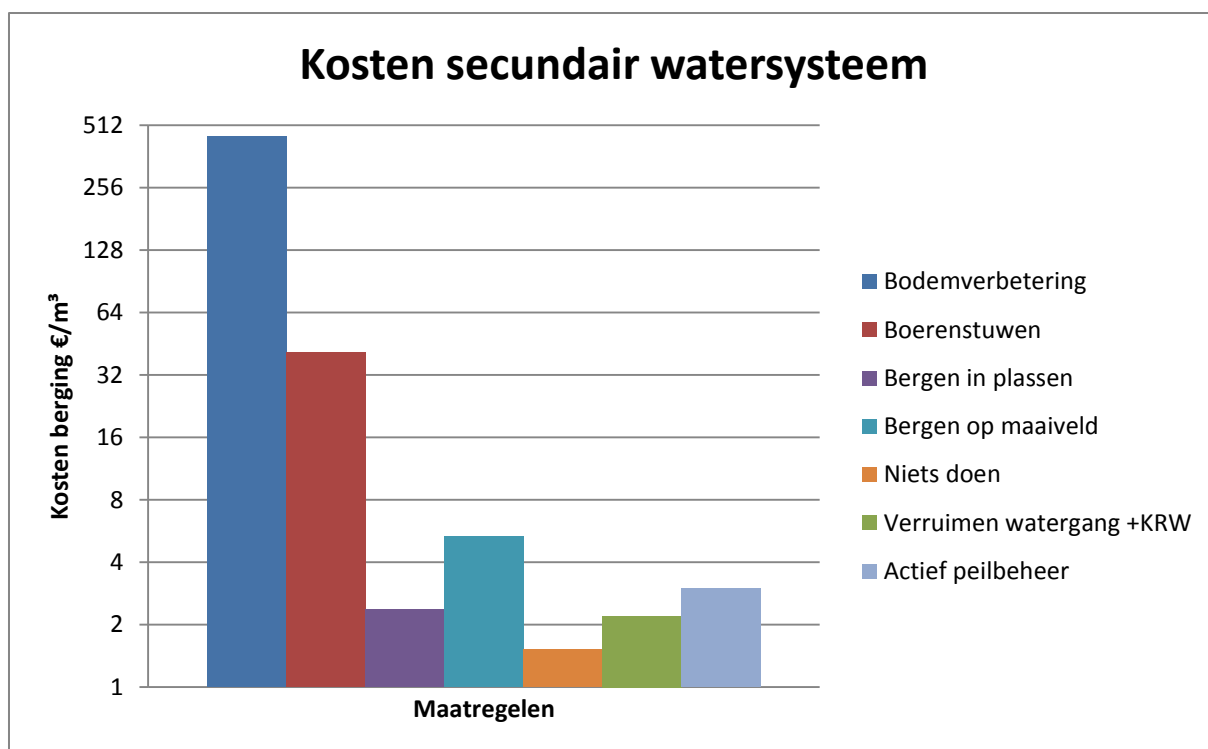
= niet effectief

In onderstaande figuren is een overzicht weergegeven van de kosten per m³ per maatregel, voor zowel het tertiair-, secundair en primaire watersysteem.



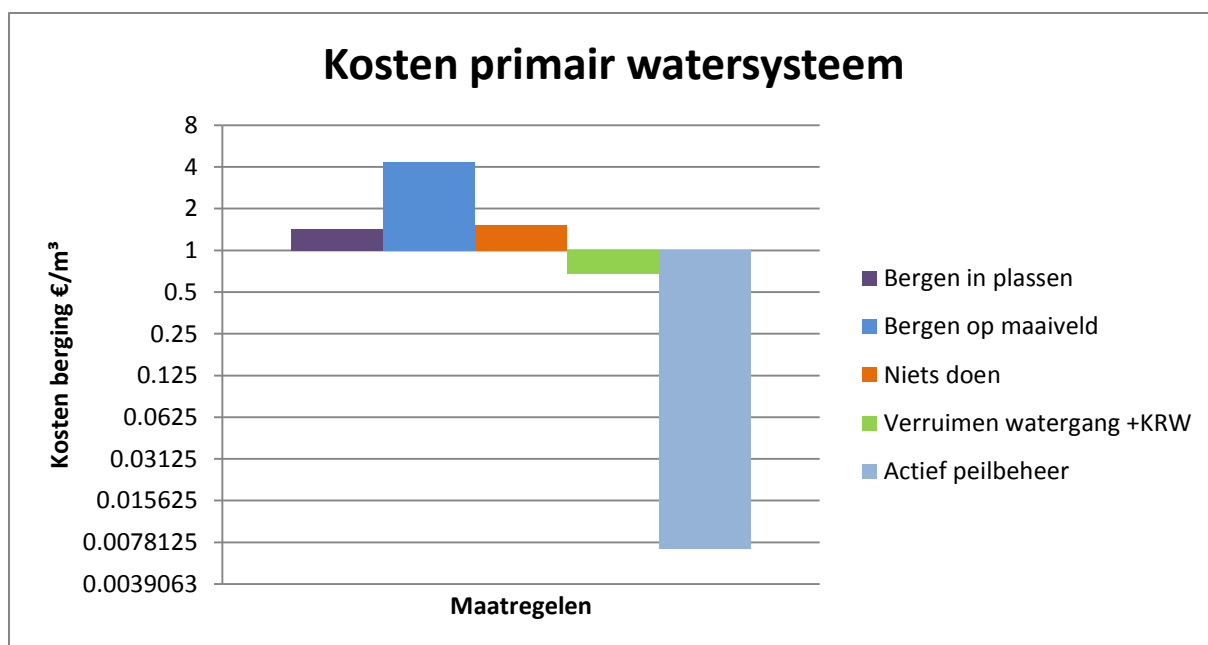
Figuur 6-1 Kostenoverzicht tertiair watersysteem

In figuur 6-1 is te zien dat de maatregel 'niets doen' de goedkoopste maatregel is voor het tertiaire watersysteem, opgevolgd door de maatregel 'bergen in plassen' en 'verruimen van de watergang'.



Figuur 6-2 Kostenoverzicht secundair watersysteem

In bovenstaande figuur 6-2 is te zien dat voor het secundaire systeem de maatregel 'niets doen' de goedkoopste oplossing is. Op de 2^e plek komt de maatregel 'verruimen watergang' en de 3^e plek is de maatregel 'bergen in plassen'.



Figuur 6-3 Kostenoverzicht primair watersysteem

In bovenstaande grafiek 6-3 is te zien dat 'actief peilbeheer' voor het secundaire systeem het goedkoopst is. Dit komt omdat de kosten bestaan uit het automatiseren van stuw, en de stuwen in het primaire systeem vaak al geautomatiseerd zijn. Op de 2^e plek komt 'verruimen watergang'. Op de derde plaats komt de maatregel 'bergen in plassen'.

7 Multicriteria-analyse

Met behulp van een multicriteria-analyse worden verschillende criteria afgewogen en waarden toegekend. Voor elke plek in het systeem (tertiair, secundair en primair) is de M.C.A. uitgevoerd. Hieronder staan de criteria toegelicht.

Kosten

Dit zijn de kosten uitgedrukt in €/m³, per bergingsvorm. Dit zijn de resultaten uit hoofdstuk 6.

Vorbereiding

Dit criterium geeft aan of de voorbereiding veel moeite kost of niet.

Eenheid: eenvoudig (+), neutraal (+/-), complex (-).

Uitvoering

Dit criterium gaat in of de uitvoering van de maatregel complex is of eenvoudig te realiseren is.

Eenheid: eenvoudig (+), neutraal (+/-), complex (-).

Actoren

Dit criterium geeft aan hoeveel verschillende partijen gemoeid zijn met de te nemen maatregel.

Meer mensen betekent meer meningen waardoor de maatregel vaak moeilijker te realiseren is.

Actoren kunnen zijn: agrariërs, externe bedrijven zoals adviesbureaus en uitvoerders, communicatie bureaus. Eenheid: aantal verschillende actoren.

Hydrologische effecten op de omgeving

Naast effect op de watergang kan een maatregel effect hebben op bijvoorbeeld een verandering van de grondwaterstand, of bijdragen als anti-verdroging maatregel. (kan voor- of nadelig werken).

Eenheid: voordelig (+), neutraal (+/-), nadelig (-).

Landschap

Dit criterium beschrijft de invloed van de maatregelen op het landschap. Verandert er weinig of juist veel? Is deze verandering positief of negatief? Eenheid: verandering is positief (+), neutraal (+/-), negatief (-).

Natuur

Sommige maatregelen hebben een positieve uitwerking op de natuur, andere een negatieve.

Uiteraard hangt dit af van de locatie en van de kwaliteit van het betreffende afvoerwater. Over het algemeen is water uit een primair systeem meer geëutrofeerd dan het water uit een tertiair systeem. Eenheid: werking op natuur is positief (+), neutraal (+/-), negatief (-).

Bestaande functies

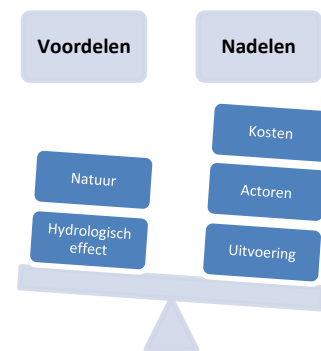
Een maatregel kan invloed hebben op bestaande functies. Zo kan het zwemwater van een gebied met een recreatieve functie niet meer gebruikt worden wanneer er bijvoorbeeld (verontreinigd) oppervlaktewater op wordt geloosd.

Eenheid: effect van de maatregel op bestaande functies is positief (+), neutraal (+/-), negatief (-).

Faalkans

Is de kans klein, middelmatig of groot dat de maatregel niet werkt op het moment dat het nodig is?

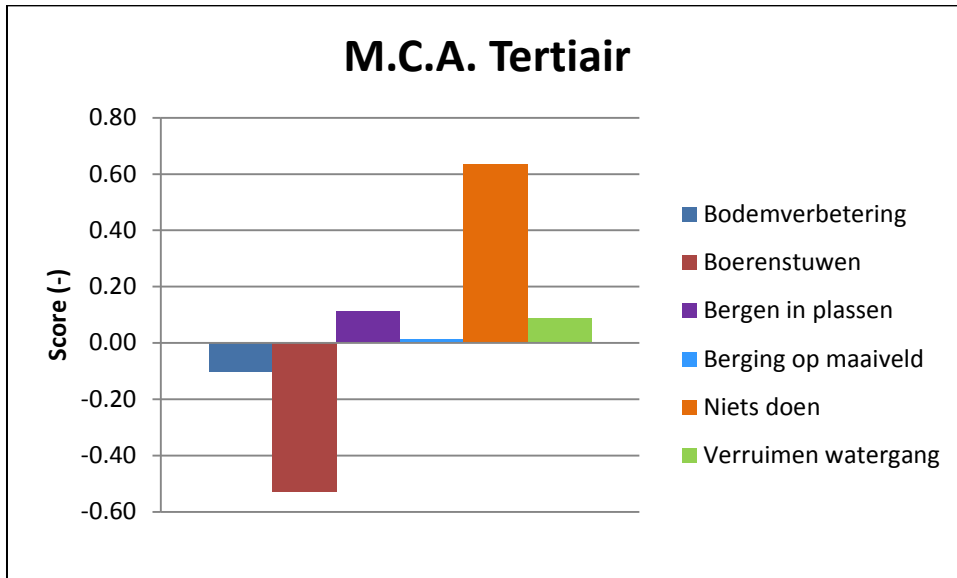
Dit wordt bedoeld met faalkans. Eenheid: klein, middel, groot.



7.1 Resultaat MCA

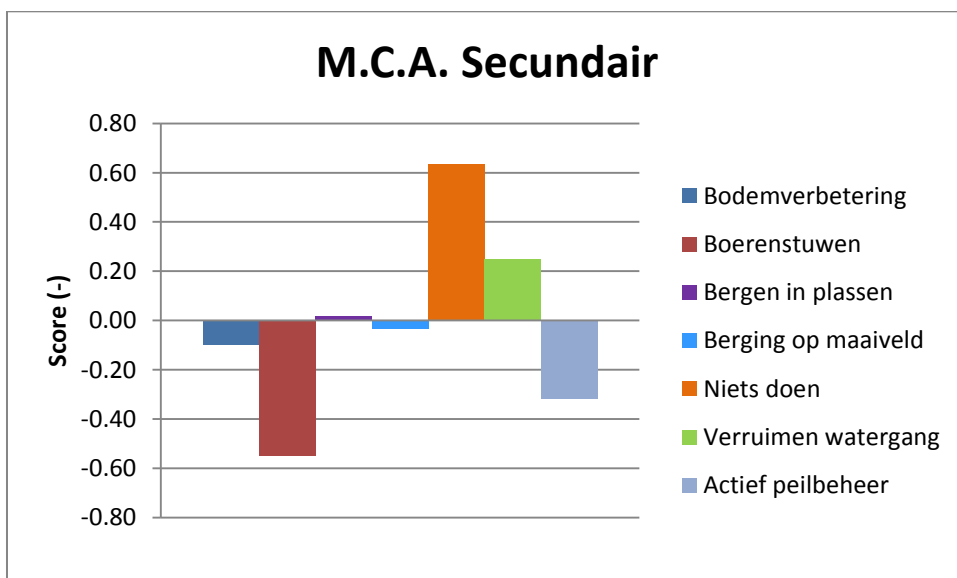
Hieronder zijn de scores voor het tertiaire-, secundaire- en primaire systeem weergegeven. De berekening ervan staan in de bijlagen XVI.

In figuur 7-1 is te zien dat voor het tertiaire systeem de maatregel 'niets doen' het beste scoort (0,63). Op de tweede plek staat de maatregel 'bergen in plassen' met een score van 0,11. De maatregel 'verruimen watergang' staat met een score van 0,09 op de derde plaats.



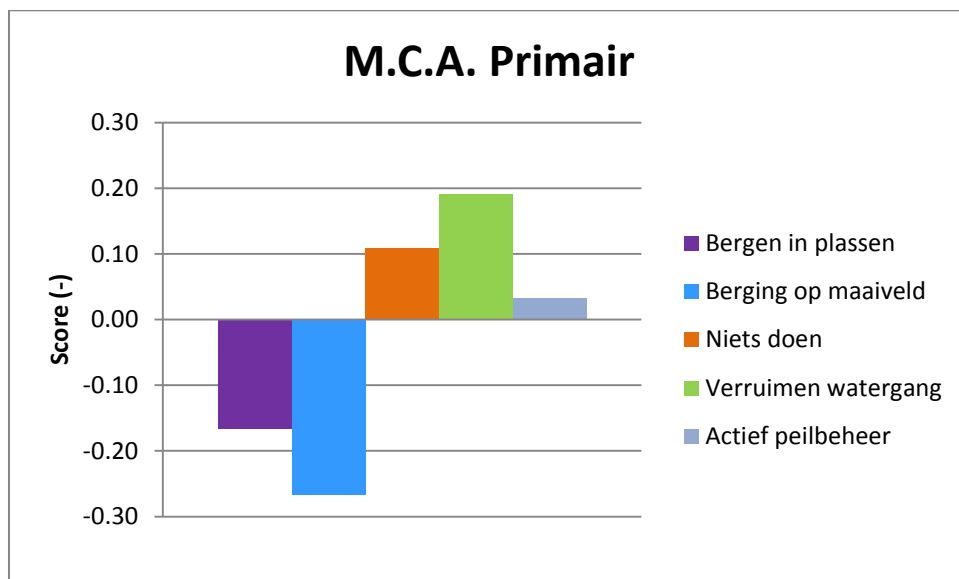
Figuur 7-1 Uitkomsten M.C.A. tertiair watersysteem

In figuur 7-2 is te zien dat voor het secundaire systeem de maatregel 'niets doen' het beste scoort (0,63). Op de tweede plek staat de maatregel 'verruimen watergang' met een score van 0,25. De maatregel 'bergen in plassen' staat met een score van 0,02 op de derde plaats.



Figuur 7-2 Uitkomsten M.C.A. secundair watersysteem

In figuur 7-3 is te zien dat voor het primaire systeem de maatregel 'verruimen watergang' de hoogste score heeft (0,19). Op de tweede plek staat de maatregel 'niets doen' met een score van 0,11. De maatregel 'actief peilbeheer' staat met een score van 0,03 op de derde plaats.



Figuur 7-3 Uitkomsten M.C.A. primair watersysteem

8 Conclusie en aanbevelingen

Het onderzoek

Ingaand op de hoofdvraag ‘Welke bergingsmaatregelen zijn het meest efficiënt voor het vasthouden en bergen van water in een tertiair, secundair en primair systeem?’, blijkt dat de bergingsvorm ‘niets doen’ voor het tertiaire en secundaire systeem de beste oplossing is. Voor het primaire watersysteem is het verruimen van de watergang de beste optie, zie onderstaande tabel 8-1.

Tabel 8-1 Beste bergingsvorm per situatie

Waterloop	Bergingsvorm
Tertiair	Niets doen
Secundair	Niets doen
Primair	Verruimen watergang

Effectiviteit van de bergingsmaatregelen

Uit het onderzoek blijkt dat de effectiviteit van vasthoudmaatregelen laag is (<80%). De effectiviteit van bergingsmaatregelen is 100%. De afvoermaatregelen hebben de grootste effectiviteit, waarbij de maatregel ‘verruimen watergang’ meer betrouwbaar is dan de maatregel ‘actief peilbeheer’. De maatregel ‘actief peilbeheer’ is interessant als het systeem voldoende groot is om de afvoerpieken op te vangen.

Neveneffecten

Naast hydrologische effecten zijn er neveneffecten die doorslaggevend kunnen zijn in de keuze voor een bepaalde maatregel. In onderstaande tabel 8-2 zijn belangrijke voor- en nadelen per maatregel weergegeven.

Tabel 8-2 Belangrijke voor- en nadelen

MAATREGEL	VOORDELEN	NADELEN
Bodembergen	Hogere gewasopbrengst	Effect lange termijn onbekend
Boerenstuwen	Werkt anti-verdrogend	Kans dat werking faalt is groot
Bergen in plassen	Goedkoop: regeling landruil mogelijk	Vaak niet op juiste locatie
Bergen op maaiveld	Gecontroleerde berging = zekerheid	Timing is essentieel voor effectiviteit
Niets doen	Goedkoop en meest natuurlijk	Discussie achteraf
Verruimen watergang	Weinig actoren + natuurontwikkeling	Debiet kan toenemen
Actief peilbeheer	Optimaal benutten van systeem	Systeem moet voldoende groot zijn

Aanbeveling

Het waterschap heeft uit diverse projecten ervaring met de maatregel 'verruimen watergang'. Op basis van de resultaten adviseer ik het waterschap ook de mogelijkheden voor de maatregel 'niets doen' te onderzoeken. De hoogte van de kosten is afhankelijk van het watersysteem. Als deze bijna op orde is, dan zal de inundatie klein zijn en de kosten laag. Indien dit niet het geval is, zullen de kosten hoger zijn. De omvang van het probleem kan inzichtelijk worden gemaakt als er inundatiekaarten gemaakt worden. Daarnaast adviseer ik het waterschap om contact op te nemen met andere waterschappen om hun ervaringen te delen.

Adviesbureaus kunnen bemiddelen bij het overeenkomen van regelingen voor schadevergoeding. Dit zijn de zogenaamde waterbanken, retentie- en waterfondsen waarbij bijvoorbeeld eenmalige afkoopbedragen, verspreidt worden uitbetaald aan de betreffende grondeigenaar. Meer informatie over deze zogenaamde waterbanken, kan gevonden worden in het een rapport¹³ *'Compenserende retentievoorzieningen buiten plangebieden'*.

Daarnaast is op internet informatie te vinden, bijvoorbeeld op www.gebiedsontwikkeling.nu¹⁴. Tot slot adviseer ik het waterschap mijn resultaten te toetsen (door middel van een kostenberekening) voor een werkelijke bergringsopgave.

¹³ Waterschap Brabantse delta, 2009

¹⁴ <http://www.gebiedsontwikkeling.nu/actualiteit/persberichten/meer-ruimtelijke-kwaliteit-met-de-waterbergingsbank/>

9 Discussiepunten

Belangrijk is om te vermelden dat de resultaten betrekking hebben op de uitgangspunten van dit onderzoek. Aangezien het een modelstudie betreft, zullen andere situaties mogelijk andere uitkomsten kennen. Voordat men bergingsmaatregelen neemt is een probleemanalyse noodzakelijk. Met een goede probleemanalyse krijgt men inzicht in de oorzaak van het knelpunt. Mocht men overgaan tot waterberging, dan is het raadzaam om de omgeving te bestuderen en te kijken naar de (on)mogelijkheden en kansen die een bepaald beheersgebied biedt.

Er zijn een aantal discussiepunten:

- In de praktijk zal het waterschap vaak kiezen voor de goedkoopste maatregel. Vaak zijn dit de maatregelen waar subsidie aan verbonden is. Dit is jammer, want subsidiegeld is gemeenschapsgeld.
- De kosten in deze rapportage zijn gebaseerd op een zomersituatie. Voor de maatregelen 'bergen op maaiveld' en 'niets doen' zullen de kosten uiteindelijk lager uitvallen wanneer men er vanuit gaat dat een deel van de inundaties ook in de winter zal plaats vinden.
- De kostenramingen in deze rapportage zijn schattingen, de betrouwbaarheid daarom is lastig vast te stellen. Soms vallen de kosten hoger uit doordat bij sommige projecten kosten worden gerekend die eigenlijk niet bij het project behoren. Dit wordt soms gedaan om andere –niet goed lopende projecten- beter uit te laten komen. Bij andere projecten bestaat er soms een deel uit subsidiegeld. Hierdoor vallen de kosten juist lager uit.
- Bij de berekening van de bergingmaatregel 'niets doen' wordt er vanuit gegaan dat een T=10 situatie de inundatie veroorzaakt. De T=9 en T=20 situaties zullen ook schade opleveren, maar deze zijn niet meegenomen in de kostenberekening. Dus de kosten (in schade) zou daardoor hoger uit kunnen vallen dan geraamd over de periode van 40 jaar.

Implementatie maatregel 'bodemberging' en 'boerenstuwen'

- Bij de maatregel 'boeren-stuwen' is in het model geïmplementeerd, dat het eerste deel van de afvoergolf vastgehouden wordt (zie paragraaf 4.5.1). In de praktijk zal in plaats van een boerenstuw, een knijpconstructie worden toegepast waardoor een groter effect ontstaat. Waarschijnlijk is de maatregel dan ook effectiever dan dit onderzoek doet vermoeden.
- De maatregel 'bodemberging' is gemodelleerd zoals beschreven in paragraaf 4.5.1. In werkelijkheid zal deze maatregel echter als een spons werken en er zal daardoor een meer vertraagde afvoer optreden. Hierdoor wordt de effectiviteit van de maatregel groter en de kosten lager.
- Uit het onderzoek blijkt dat de twee maatregelen 'bodemberging' en 'boerenstuwen', het duurste zijn. Ik verwacht dat wanneer de effectiviteit vergroot wordt, dit niet afweegt tegen de hoge kosten van de maatregelen.

10 Bronnen

Literatuur

Bakel, van, P.J.T., Poelman, A., Stuyt, L.C.P.M., *Water vasthouden in de provincie Noord-Brabant*, Alterra, 2007

Beersum, van, S., *Divers, een divers meetinstrument* (stageonderzoek), Grontmij, 2011

Damkot, P., *Bodemstructuur in relatie tot watervraagstukken*, MWH B.V., 2011

DHV Milieu en Infrastructuur BV, *Waterconserveringplan Gemert-Bakel*, 2003

Eekeren, van, N., Zaneveld-Reijnders, J., *Bewust herstel van de natuurlijke buffercapaciteit van de bodem*, Louis Bolk Instituut & ZLTO Projecten, 2010

Heitbrink, L.F., Worm, P.B., Veerman-Donkert, M., *Notitie blauwe diensen en blauwe maatregelen*, Waterschap Regge en Dinkel, 2006

Kooistra, M.J. en O.H. Boersma, *Subsoil compaction in ditch marine sandy loams: loosening practices and effects*. In: *Soil & Tillage Research* 29: pp. 237-247, 1994

Kuhlman, T., Michels, R., Groot, B., *Kosten en baten van bodembeheer*, LEI, 2010

Noorduyn, L., Kierkels, T., Jacobs, W., *Stuwkracht : integrale gebiedsgerichte aanpak waterconservering Limburg en Noord-Brabant*, Project Waterconservering 2e Generatie , 2004

Terwan, P., *Waterberging op Voorne-Putten: verkenning van kansen voor piekberging op landbouwgrond*, Paul Terwan Onderzoek en Advies, 2006

Uni van Waterschappen, *Waterbeheer 21e eeuw: WB21: aanleiding, afspraken en maatregelen*, (2002)

Velden, van der M., Coevering, van de F.P.T., *Raamplan wateropgave Delfgauw, Gemeente Pijnacker-Nootdorp (projectnr. 149439)*, 2006

Versteeg, R., Kloptstra, D., *Ruimte voor water Inundatiekansenkaarten van Schammerpolder, Asschat en Binnenveld*, HKV Lijn in Water, 2003

Waterschap Aa en Maas, *Rapport Bijlage A: Vergoedingsnormen voor inundatieschade behorende bij en onderdeel uitmakende van de beleidsregels schadevergoeding waterberging*

Waterschap Brabantse delta, *Compenserende retentievoorzieningen buiten plangebieden*, ARCADIS, 2009

Waterschap Rijn en IJssel, *Rapport Richtlijn Hydrologische modellering oppervlaktewater*

Weide, van der R., et al., *En de boer, hij ploegde niet meer?*, Alterra, 2008

Bronnenlijst figuren

Figuur 1-1: rijksoverheid.nl

Figuur 3-2: wpm.nl/algemene_onderdelen/friendly_url/de_stuwende_kracht

Figuur 3-3: handhavingsportaal.nl/nieuws/vergunningaanvraag-nodig-voor-toets-rechter

Figuur 3-4: roelofszandwinning.nl/nieuwsitem/130/1/93/Voortgang_aanleg_retentiegebied_Heerenveen.html

Figuur 3-5: quizlet.nl/quiz/315008/wat-voor-type-ben-jij/details.php?winner=592266

Figuur 3-6: aaenmaas.nl/over_ons/service/nieuws/@215754/nieuwe_0/

Figuur 3-7: veltenvecht.nl/projecten/nieuwlande_nieuwe

Figuur 11-2: inhabitat.com/biochars-promise-to-provide-carbon-negative-fuel-and-better-soil/

Internetbronnen

http://www.wpm.nl/regelgeving/beleidsnotitie_uitgangspunten_nieuwe_legger_2005

<http://www.gebiedsontwikkeling.nu/actualiteit/persberichten/meer-ruimtelijke-kwaliteit-met-de-waterbergingsbank/>

<http://edepot.wur.nl/3507>

http://www.deltaplanhogezeandgronden.nl/best_practices/water_vasthouden

<http://www.frieschdagblad.nl/index.asp?artID=31793>

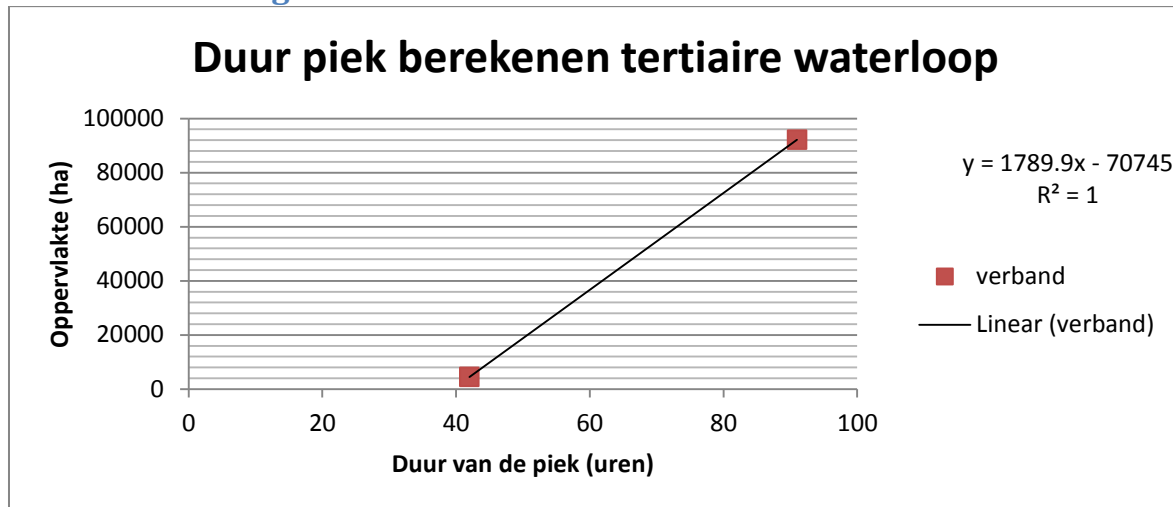
http://www.achtkarspelen.nl/wonen-en-leven/nieuws_41357/item/verbreden-watergang-kuipersweg-de-hoefslag-buitenpost_4709.html

<http://www.neerslag-magazine.nl/magazine/artikel/299/>

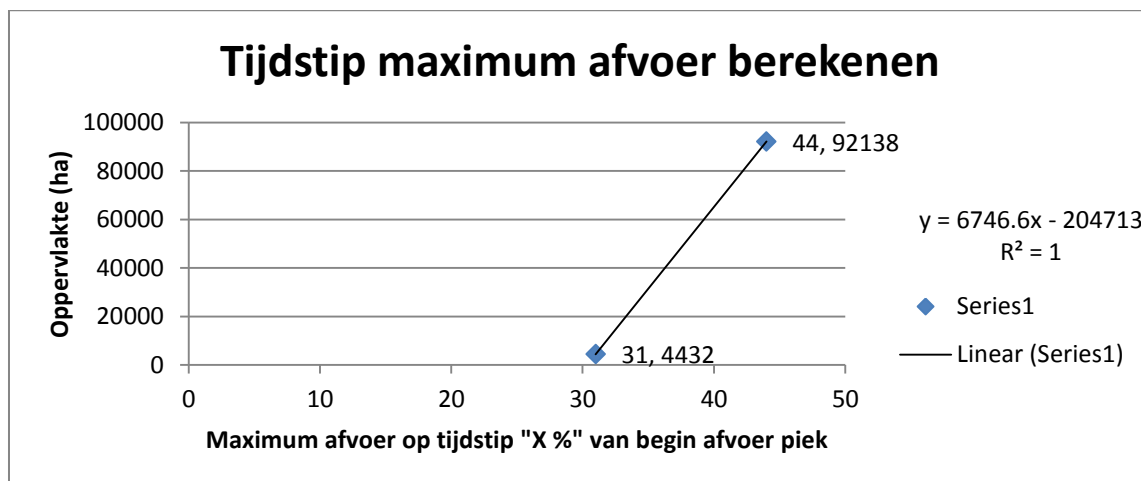
http://www.hdsr.nl/werk_in_uitvoering/index-gemeenten/woorden/@220243/automatisering_stuw

Bijlagen

I. Berekening afvoer

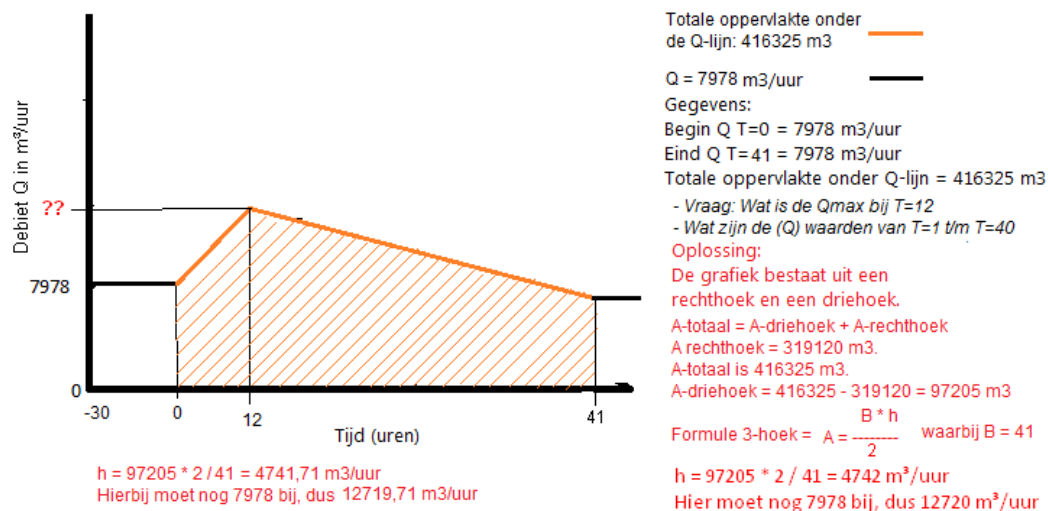


Berekening: $(2216 + 70745) / 1789,9 = 40,8$ uur.



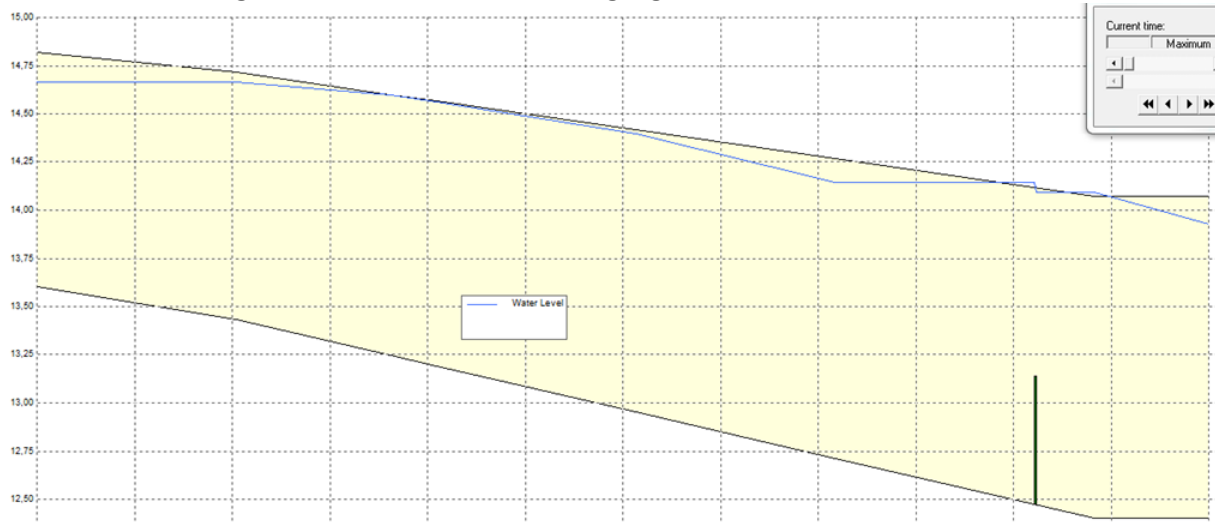
Berekening: $(2216 + 204713) / 6746,6 = 30,7$ %.

Berekening hoogte Qmax:

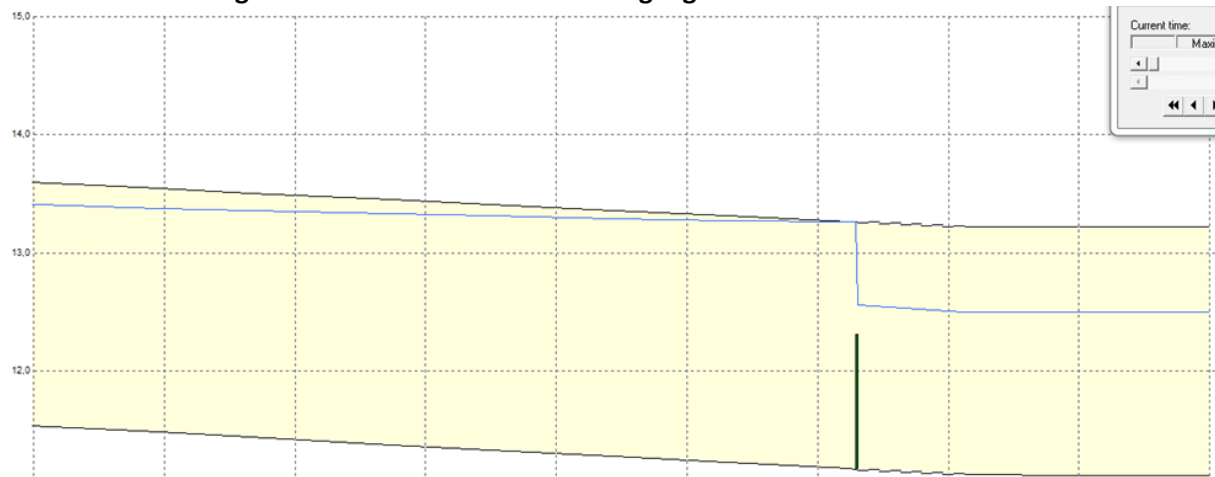


II. SOBEK resultaten 'vasthouden'

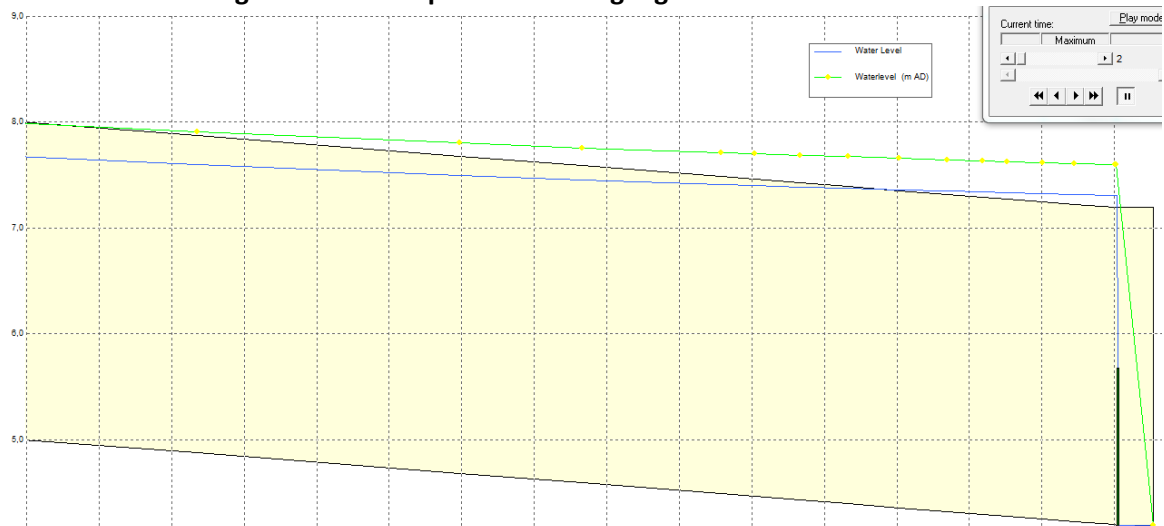
Resultaten maatregel vasthouden tertiaire watergang



Resultaten maatregel vasthouden secundaire watergang



Resultaten maatregel vasthouden primaire watergang

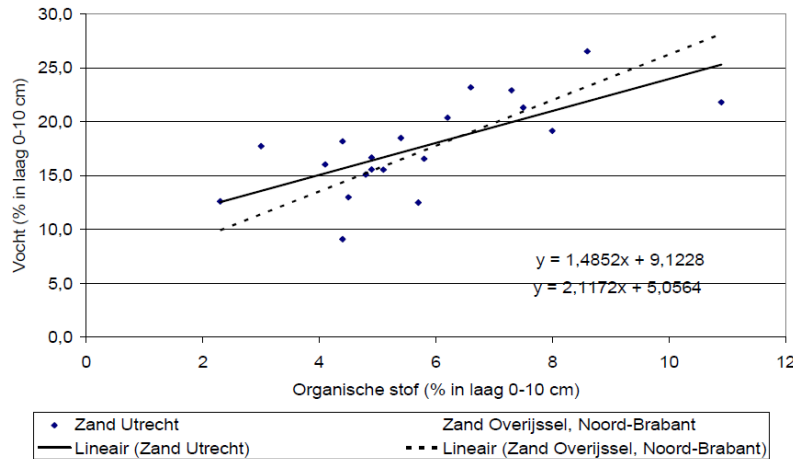


Opmerkingen:

- Onderste lijn is na het nemen van de maatregel, bovenste lijn is knelpunt
- Primair probleem is niet op te lossen d.m.v. deze vorm van maatregel (wordt o.a. veroorzaakt door afvoergolf vanuit Duitsland)

III. Theoretische effectenanalyse bodemberging

In de grond bevinden zich kleine poriën die opgevuld kunnen worden met water. Als de bodem meer organische stof bevat heeft het meer kleine poriën, er kunnen dan grotere hoeveelheden vocht vastgehouden worden. In onderstaande figuur 0-1 staat de relatie tussen percentage organische stof en percentage bodemvocht.



Figuur 0-1 relatie tussen organisch stofgehalte in de laag 0-10 cm en het vochtpercentage in de laag 0-10 cm in Utrecht en Overijssel en Noord-Brabant¹

Meestal begint het probleem van bodemberging al aan de toplaag van de grond. Infiltratie is vaak niet mogelijk. Enkele problemen die zich voordoen met betrekking tot infiltratie zijn:

- Toplaag is dicht gedrukt (hierdoor stroomt het water oppervlakkig af)
- Infiltratie stagneert op de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen
- De bodem is al verzadigd (hoge grondwaterstand)

Deze problemen zijn op drie manieren op te lossen

- ✓ Grond bedekt houden met bodembedekker of gewasresten
- ✓ Grond niet te zwaar belasten (met landbouw machines)
- ✓ Grond verbeteren met organische stof of bodemverbeteraar

Een agrariër kan er voor kiezen om gewasresten op het land laten liggen. Daardoor voorkomt men oppervlakkige afstroming naar het oppervlakte water. De toplaag werkt dan als een spons. Daarnaast kan een agrariër kiezen om de grond minder te belasten. Dit is een bepaalde vorm van landbewerking (ook wel niet kerende grondbewerking of NKG genoemd). Meer informatie hierover is te vinden op de nationale website www.nietkerendegrondbewerking.nl. Deze vormen van vertraagde afvoer zijn in deze studie niet onderzocht.



Figuur 0-2 Biochar

Voor dit onderzoek gaan we in op het toevoegen van organische stof. Dit is mogelijk door het achterlaten van gewasresten, groenbemesting, compost en dierlijke mest. Daarnaast kan afname van de grondbewerking (in de toplaag van de grond) zorgen voor een verhoging van het percentage organische stof. Uit een onderzoek (Damkot, 2011) blijkt dat de beste methoden voor bodemstructuurverbetering bestaan uit het opbrengen van potstalmest of compost (voor de agrariër), het gebruiken van Biochar (voor het waterschap) en het gebruik maken van minimale grondbewerking. Minimale grondbewerking heeft ook nadelen, er

¹ Eekeren et al, 2010

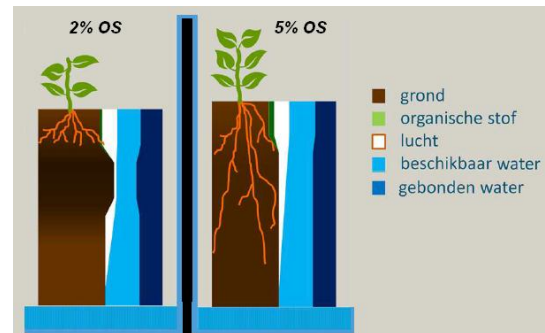
bestaat een risico op een toename van onkruid². Het op het land aanbrengen van extra meststoffen zal niet vaak voorkomen. In de praktijk zal de agrariër zijn eigen mest kwijt willen en met de mestquota is het opbrengen van meer mest niet toegestaan. Uitgangspunt is dat er geen oppervlakkige afvoer is naar de watergangen toe.

Effect bodembergen

Voor de vraag hoeveel waterberging in de bodem mogelijk is na het verhogen van organische stofgehalte en bodemverbetering wordt gerefereerd aan een proefberekening van Dr. Ir. Bert Vermeulen. Hierbij wordt uitgegaan van het volgende bodemprofiel:

- 2% organische stof in de bouwvoor (0-25 cm)
- Daaronder een dichte laag tot 50 cm diep
- Daaronder een matig dichte ongestoorde ondergrond
- Grondwater zit meter onder maaiveld.

Er wordt uitgegaan van een verhoging van organische stof van 3% (van 2% naar 5%) en de slecht doorlatende laag wordt losgemaakt, zie figuur 0-3.



Figuur 0-3 Situatie voor (links), en na (rechts) het verhogen van O.S. met 3%

Dit resulteert in een extra berging van minimaal 11 mm, volgens onderstaande tabel 0-1.

Tabel 0-1 Overzicht bergingstoename na verhogen van 3% organisch stof

	Berging in mm bij 2% OS	Berging in mm 5% OS	Toename berging door OS 3% verhogen (0-25 cm)	Toename berging verwijderen slecht doorlatende laag (25—50 cm)	Toename berging totaal
Buffer lege ruimte Macroporiën >32μ	72	91	+ 2 mm	> + 17 mm	+19 mm
Buffer gewas beschikbaar water Microporiën <32μ	90-188	213	+ 9 mm	> + 16 mm	> + 25 mm
Totale berging	260	314	+ 11	> + 33 mm	> + 44 mm

Het blijkt dat als de storende laag (25-50 cm) los wordt gemaakt, de infiltratiecapaciteit zal toenemen. Daardoor is het ook mogelijk om onder deze laag (25-50 cm), water in de bodemporiën te bergen. De totale berging zal in dat geval groter zijn dan 44 mm. Uit een onderzoek³ (Kooistra en Boersma, 1994) blijkt dat 'diepwoelen' een effectieve maatregel is om een slecht doorlatende laag te herstellen. Indien er geen slecht doorlatende lagen zijn kan het water infiltreren in de bodem en afstromen naar het grondwater. Daardoor wordt de neerslag afgevoerd via het grondwater en het oppervlaktewater deels ontlast van de piek-regenbui. Het effect is dat het waterafvoer vertraagt verloopt. De effectiviteit van deze vorm van berging hangt sterk af van de doorlatendheid van de bodem en daarmee de grondsoort. Het effect zal in zandgrond groter zijn dan in grond met slecht doorlatende lagen, zoals een kleigrond.

² van der Weide et al, 2008

³ Kooistra en Boersma, 1994

Naast de bovengenoemde inschatting geeft Janssen (in Bakker en Locher, 1991) vuistregels voor het berekenen van het vochtbindend vermogen van 1 tot 8 liter water per kilogram organische stof. Dit komt voor de bovenste laag (0-10 cm) neer op een toename 1,3 tot 10,6 mm extra waterberging per procent toename organische stof. Naast deze bodemberging neemt het gewas ook nog water op.

Na het verwijderen van een slecht doorlatende laag, blijkt dat deze binnen enkele jaren weer verdicht. Het is dan ook belangrijk dat na het nemen van deze maatregel, het land op een alternatieve manier bewerkt wordt. Dit kan bijvoorbeeld met minder zware landbouw machines, rijbanen teelt, of lage druk banden op landbouwvoertuigen⁴.

Het beheersgebied van het waterschap Rijn en IJssel bestaat voornamelijk uit zandgronden. Deze grond is goed doorlatend. Dit zou betekenen dat enkel het organische stof verhogen, tot de maatregel behoort. Verder gaan we er vanuit dat er een lineair verband bestaat tussen de verhoging van organische stof en de toename van berging (zie ook figuur 10-1). Op basis van de berekening van Dr. Vermeulen wordt aangenomen dat 1% verhoging van organische stof, leidt tot een toename van (11/3) 3,67 mm berging. Dit valt eveneens binnen de inschatting van Janssen (in Bakker en Locher, 1991). De extra berging bedraagt dan ca. 37 m³/ha (3,67 mm * 100*100 meter). De oppervlakte van het stroomgebied behorende bij de tertiaire watergang is 2216 ha.

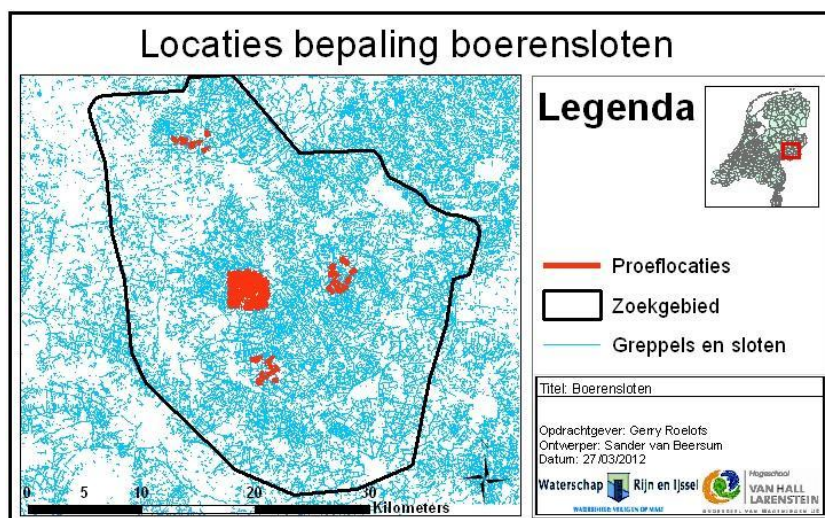
Dit betekent dat deze maatregel per tertiaire watergang in totaal (2216 ha * 36,7 m³/ha) ca. 81.000 m³ extra waterberging zou kunnen opleveren.

⁴ Kuhlman, 2010

IV. Theoretische effectenanalyse boerenstuwen

Waterschap Rijn en IJssel

Op dit moment wordt onderzocht binnen het waterschap Rijn en IJssel of agrariërs interesse hebben in deze maatregel. Deze valt onder de noemer 'Blauwe Diensten'. Het waterschap Rijn en IJssel heeft hiervoor een zoekgebied vastgesteld (zie figuur 0-4). Met behulp van GIS⁵ is de totale lengte van het aantal boerenloten binnen dit zoekgebied bepaald.

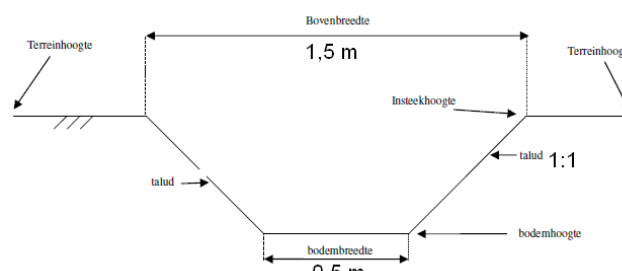


Figuur 0-4 Zoekgebied waterschap Rijn en IJssel

Per deelgebied is bepaald hoeveel meter watergang er achter een boerenstuw zit. Deze zijn weergegeven in tabel 0-2. Dit komt neer op ca. 1 km watergang per boerenstuw.

Tabel 0-2 Lengte watergang stuw

Locatie	lengte/stuw (mtr)
1	1.034
2	990
3	1.095
4	1.040



Figuur 0-5 Dimensies boerenstuw

Uitgangspunt is dat een gemiddelde boerenstuw de dimensies heeft zoals aangegeven in figuur 0-5. Dit betekent een natte oppervlakte van ca. 0,5 m². In een zomersituatie, waarbij de sloten droogstaan, betekent dit een totale berging van 500 m³ per boerenstuw.

⁵ Bestand: basiskaart.mxd, layer: top10nl_water_lijn

Andere waterschappen

Het project “Water vasthouden aan de bron” is een samenwerkingsproject van: Waterschappen Aa en Maas, De Dommel en Brabantse Delta, Provincie Noord-Brabant, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, Brabants Landschap en Brabants Particulier Grondbezit, Zuidelijke Land- en Tuinbouworganisatie en Brabantse Milieu Federatie. Door middel van praktijkonderzoek probeert men inzicht te krijgen in de effectiviteit van bovenstroomse maatregelen om benedenstroomse problemen te voorkomen. Tot nu toe zijn er nog geen resultaten gepubliceerd. Grondslag voor deze maatregel is een onderzoek van Alterra⁶. Hieruit blijkt dat “het plaatsen van knijpstuwen” en het “blokkeren van maaiveldafvoer” het grootste effect hebben. Volgens het rapport heeft de laatste maatregel heeft als nadeel dat de natschade niet opweegt tegen de droogteschade die wordt voorkomen. Wellicht is deze maatregel dan alleen interessant bij grasland. Daarnaast blijkt dat de maatregelen het grootste effect hebben indien er een goed doorlatende grond is. Informatie over dit project is te vinden op de website⁷.

Waterschap Aa en Maas

Uit emailcontact met Dhr. van Rens van waterschap Aa en Maas (betrokken bij bovenstaand project) is duidelijk geworden dat onderscheid gemaakt moet worden tussen boeren LOP stuwen en knijpstuwen. LOP stuwen zijn gericht om droogte te bestrijden en de knijpstuwen zijn er om daarnaast ook piekafvoeren te reduceren. De kosten voor deze twee stuwen zijn vergelijkbaar. Er zijn berekeningen gemaakt met behulp van een hydrologisch (MODFLOW) model. Hierbij is het effect berekend. Het streefeffect is dat per maatregel ca. 1750 m³ water wordt vastgehouden, en 5 ha wordt beïnvloed⁸.

Samenvatting

Over het effect is nog geen duidelijkheid. De schatting van 500 m³ is misschien wat aan de lage kant, omdat de afstroming naar het grondwater niet wordt meegenomen. De verwachtingen/streven van het Waterschap Aa en Maas is ca. 1750 m³ berging per stuw. Voor mijn berekeningen neem ik aan dat de waarheid in het midden ligt, maar meer richting de inschatting van het waterschap. Daarmee komt de berging per maatregel op ca. 1250 m³ per stuw.

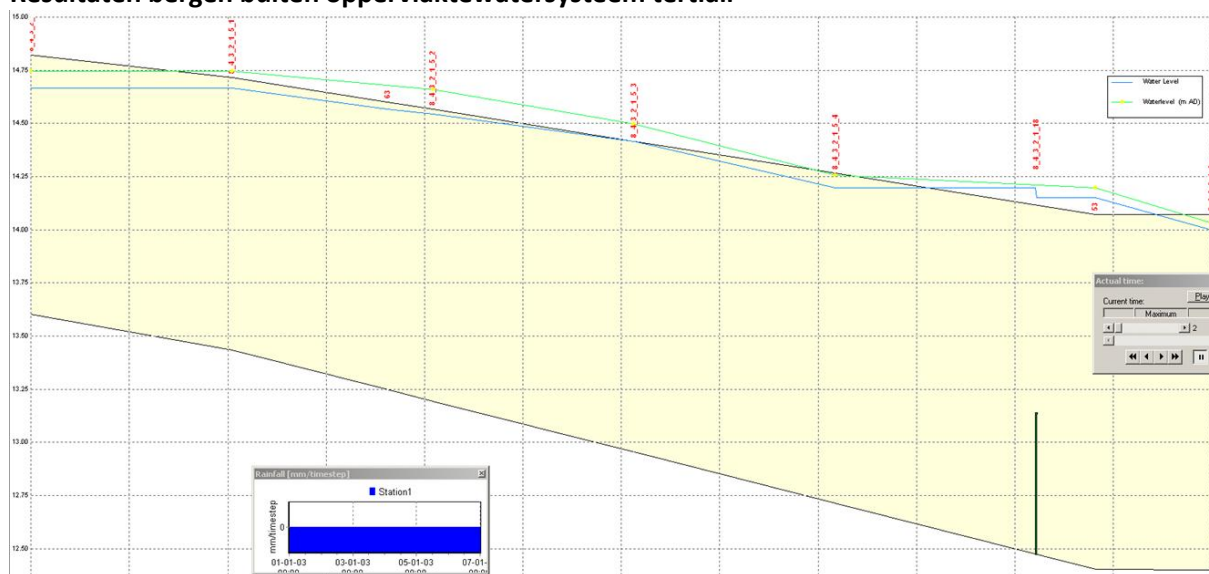
⁶ Van Bakel et al., 2007

⁷ http://www.deltaplanhogezeandgronden.nl/best_practices/water_vasthouden

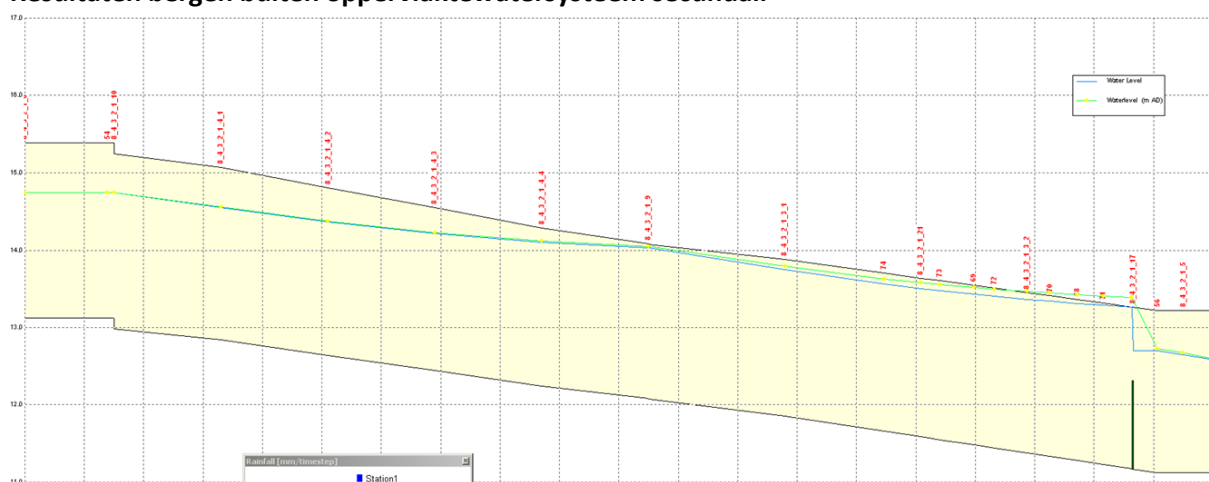
⁸ Informatie van Son-Louwers, op basis van Noorduyn et al., 2004

V. SOBEK resultaten 'bergen' (buiten het oppervlaktewatersysteem)

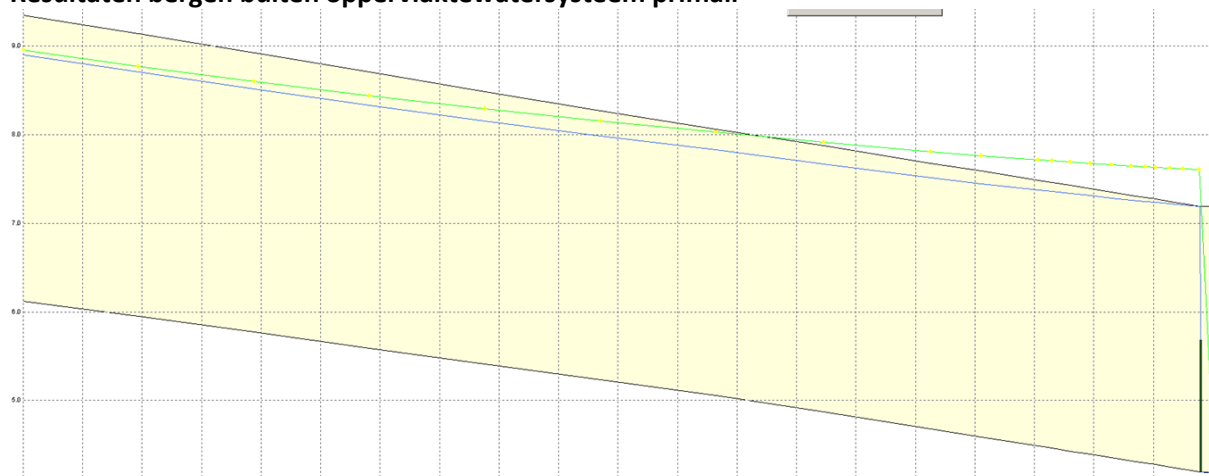
Resultaten bergen buiten oppervlaktewatersysteem tertiair



Resultaten bergen buiten oppervlaktewatersysteem secundair



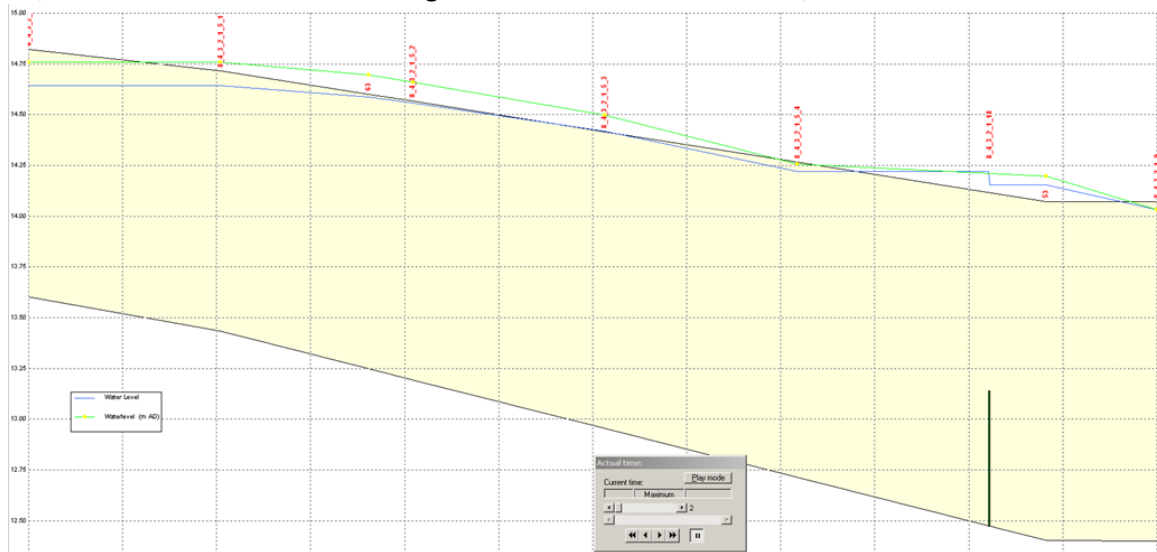
Resultaten bergen buiten oppervlaktewatersysteem primair



VI. SOBEK resultaten 'afvoeren' (verruimen watergang)

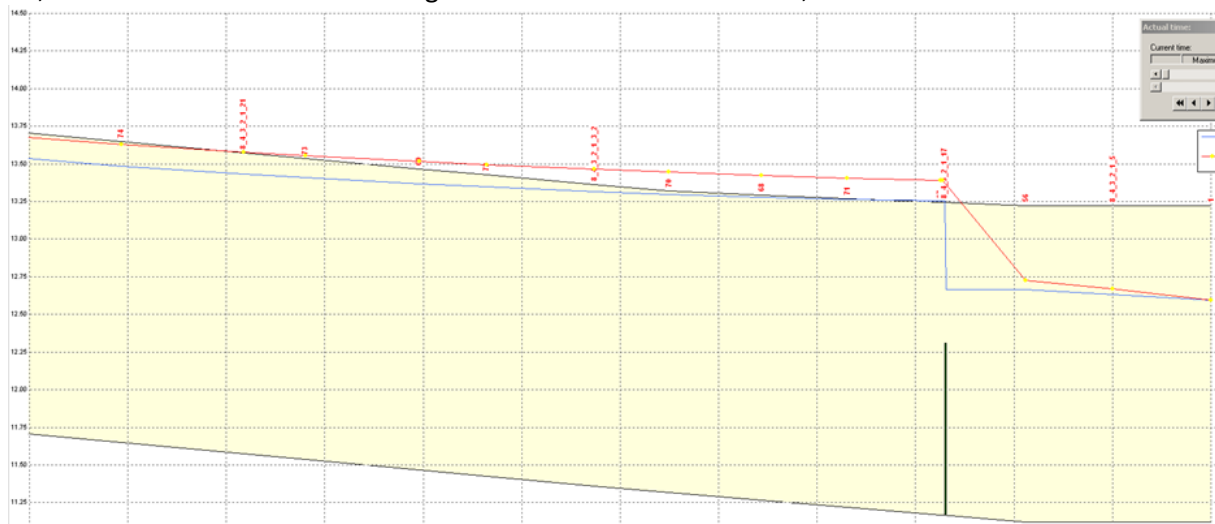
Resultaten maatregel verruimen tertiaire watergang

*0,8 meter verbreden over een lengte van 5000 meter + de stuw 0,25 meter verbreden



Resultaten maatregel verruimen secundaire watergang

*3,5 meter verbreden over een lengte van 1400 meter + de stuw 0,80 meter verbreden



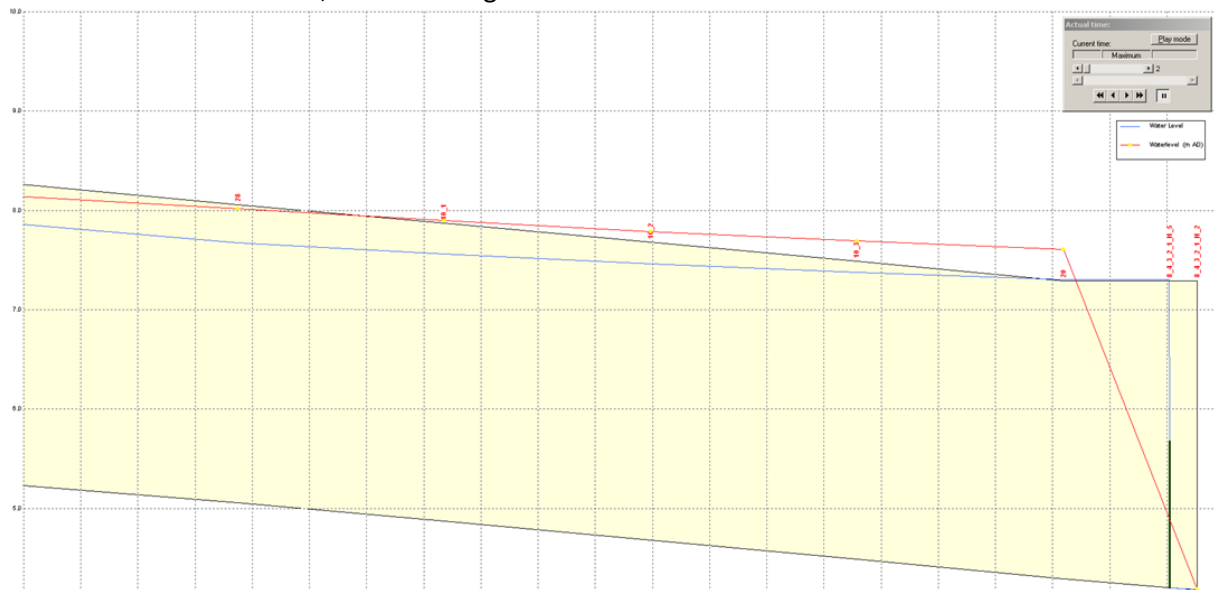
Resultaten maatregel verruimen secundaire watergang (aanpassen stuw)

*Alleen de stuw met 1 meter verbreed



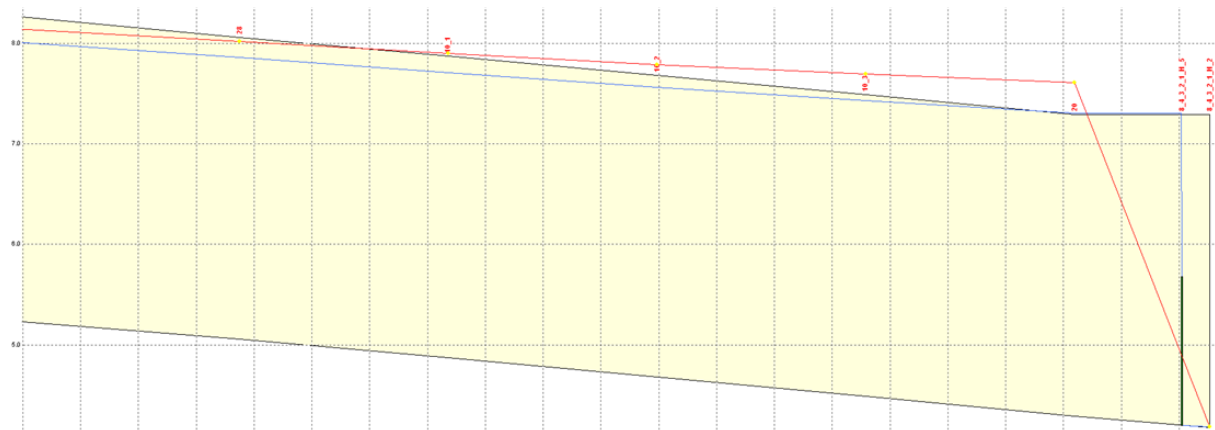
Resultaten maatregel verruimen primaire watergang

*Verruimen met 15 meter, over een lengte van 4 km + stuw verbreden met 7 meter



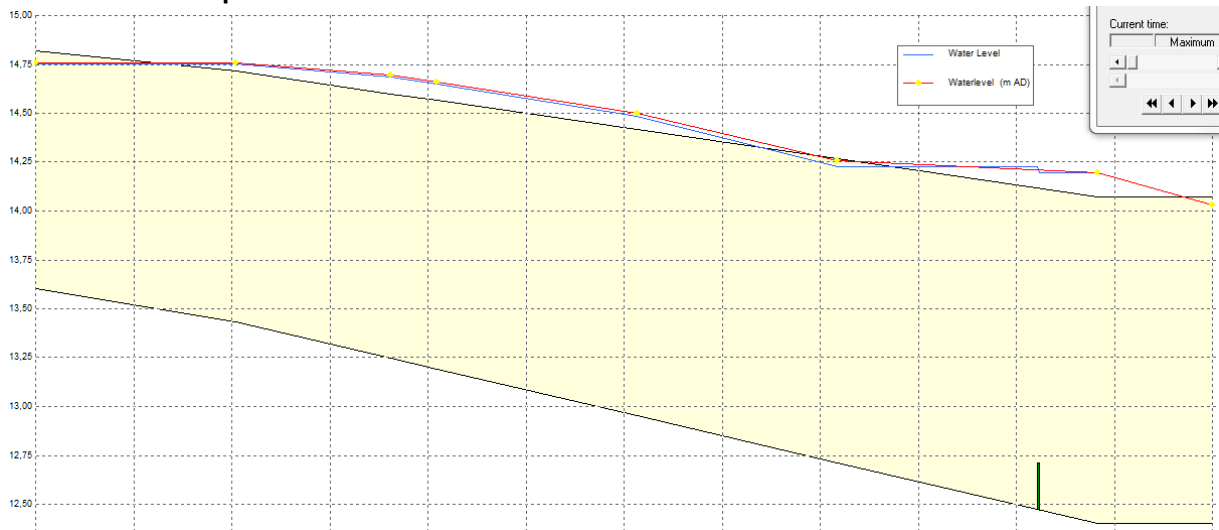
Resultaten maatregel verruimen primaire watergang (aanpassen stuw)

*Alleen de stuw met 7 meter verbreed

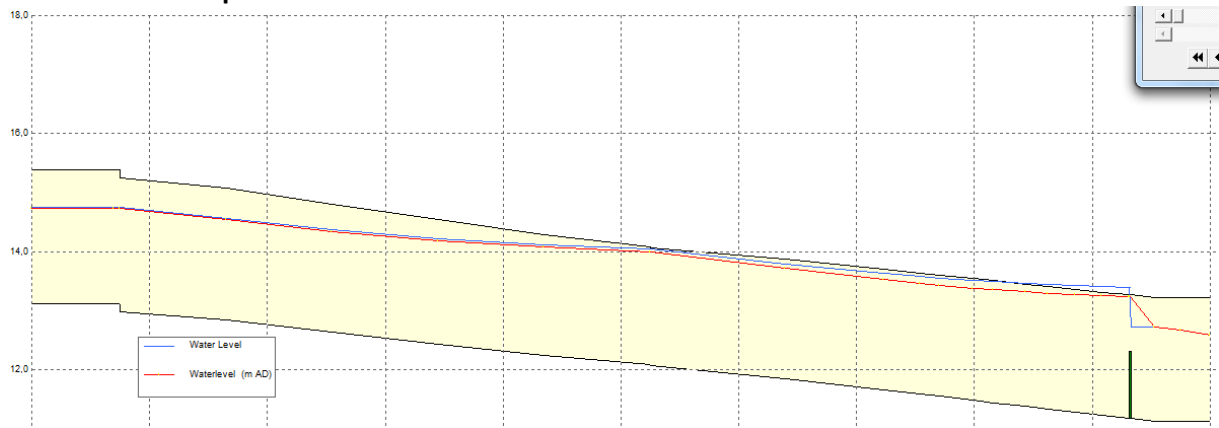


VII. SOBEK resultaten 'afvoeren' (actief peilbeheer)

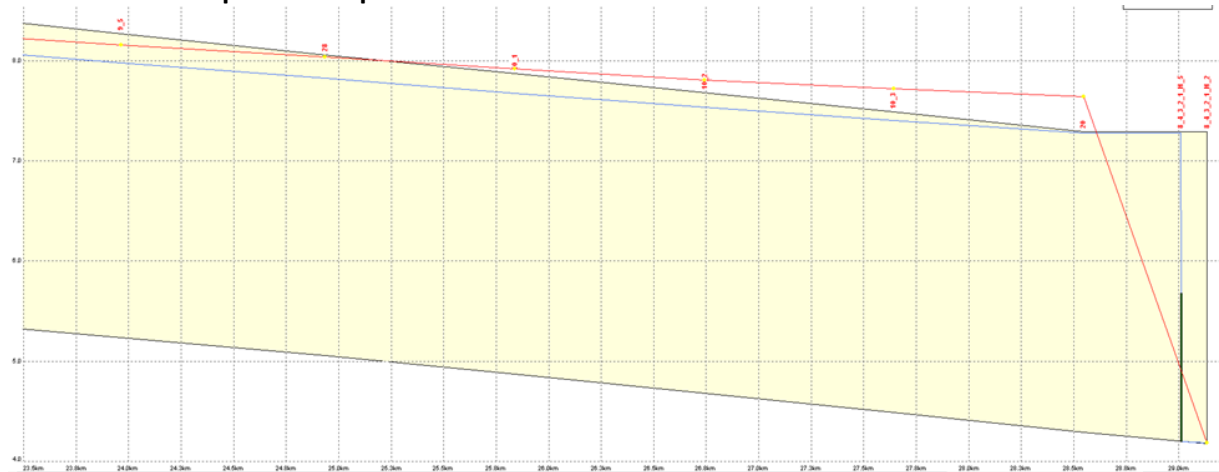
Resultaten actief peilbeheer tertiair



Resultaten actief peilbeheer secundair



Resultaten actief peilbeheer primair



VIII. Kostenberekening 'vasthouden' (bodemberging)

De berekening is opgebouwd uit een aantal stappen:

STAP 1. Kosteninschatting van Biochar

STAP 2. Berekening benodigd hoeveelheid Biochar 1 % stijging voor 1 ha

STAP 3. Kosten per tertiair systeem, 1 % verhoging

STAP 4. Bergingseffect en bergingsbehoefte (SOBEK-analyse)

STAP 5. Berekening percentage stijging om het knelpunt op te lossen

STAP 6. Berekening kosten op basis van [stap 5], voor 150 jaar

STAP 7. Berekening kosten op basis van [stap 6], voor 40 jaar

STAP 8. [Stap 7] delen door bergingsopgave

STAP 1.

Dr. Zwart (Alterra, afdeling bodem) is betrokken bij het testen van de effecten van Biochar. Voor het huidige onderzoek, heeft men Biochar gekocht voor € 300 tot € 400 euro per ton. Daarbij moet vermeld worden dat dit een lage prijs is. Er zijn namelijk ook prijzen bekend van € 1500 per ton. Uitgaande dat de maatregel op grote schaal wordt toegepast wordt uitgegaan van € 350 per ton.

STAP 2.

De vraag is hoeveel ton Biochar nodig is om het organische stof gehalte met 1% te doen stijgen. Volgens de berekening van Dr. Zwart is dit ca. 32 ton te zijn, bij één ha landbouwgrond met een bouwvoor van 25 cm diep, zie tabel 0-3.

Tabel 0-3 Voorbeeldberekening 1% stijging

Berekening landbouwgrond	Hoeveelheid	Eenheid
Bouwvoor dikte ca.	0.25	m
1 ha	10.000	m ²
Volume bouwvoor	2.500	m ³
Dichtheid bouwvoor ca.	1,25	kg /L
Massa bouwvoor ca.	3.125.000	kg
Massa bouwvoor ca.	3125	ton bodem
om OS met 1% te verhogen is	31,25	ton OS nodig

STAP 3.

De kosten komen uit op: 32 ton Biochar * € 350 /ton = € 11.200 per ha. Voor het tertiaire systeem is deze 11.200 €/ha * 2216 ha =ca. € 24,8 miljoen. Biochar blijft decennia lang in de grond zitten en is daarmee een zeer duurzame maatregel, uitgangspunt is ca. 150 jaar.

STAP 4 t/m 7

Uit de effecten analyse (3.1.1) blijkt dat het verhogen van 1% in de bovenste laag, leidt tot een berging van ca. 37 m³/ha. Het stroomgebied van het tertiaire watersysteem is 2216 ha, dit resulteert in een totale berging van ca. 81.000 m³. In de kolom 'bergingsbehoefte' (tabel 0-4) staat hoeveel berging er nodig is om het knelpunt op te lossen. Zoals te zien, is dit niet voldoende. Op basis van de bergingsbehoefte kan berekend worden met hoeveel procent de organische stof in de grond verhoogd moet worden om deze maatregel effectief te laten zijn. Deze percentages staan onder de kolom "percentage verhoging". De kosten om de organische stof met 1% te verhogen (voor het tertiaire watersysteem) zijn ca. € 24,8 miljoen, zie stap 3. Uitgaande dat Biochar 150 jaar in de bodem blijft, zijn de kosten voor een periode van 40 jaar te berekenen. Het secundaire afwateringssysteem is twee keer zo groot als het tertiaire, de kosten zijn ook ongeveer twee keer zo groot. Bij het primaire systeem wordt het probleem mede veroorzaakt in het Duitse deel, waar de maatregelen niet genomen kunnen worden. Met de gestelde 4 miljoen m³ berging is het knelpunt dus niet opgelost, daarom staat deze doorgestreept, de maatregel is niet effectief.

Tabel 0-4 Maximale berging en bergingsbehoefte n.a.v. SOBEK-model

Waterloop	*Max. berging m ³ bij 1% verhoging	*Bergingsbehoefte (m ³)	Percentage Verhoging (%)	Kosten (150 jaar) € (mln)	Kosten (40 jaar) € (mln)
Tertiair	81	199	2,46	61,1	16,3
Secundair	162	375	2,32	115,2	30,8
Primair	810	>4.163	>5,14	>1281	>340

*berging x1000

STAP 8.

In onderstaande tabel 0-5 staan de uiteindelijke kosten per kuub berging. Hiervoor is de bergingsopgave van bergen op maaiveld gebruikt. De kosten voor de primaire watergang staan doorgestreept omdat het knelpunt niet op te lossen is d.m.v. deze maatregel.

Tabel 0-5 Overzicht maatregel kosten per kuub

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	Kosten 40 jaar (€) mln	Kosten maatregel (€/m ³)
Tertiair	16.820	16,3	968
Secundair	68.280	30,8	450
Primair	3.079.000	>340	>110

IX. Kostenberekening 'vasthouden' (boerenstuwen)

De berekening is opgebouwd uit een aantal stappen

STAP 1. Kosten bron waterschap Peel en Maasvallei

STAP 2. Kosten bron waterschap Rijn en IJssel

STAP 3. Kosten bron waterschap Aa en Maas

STAP 4. Bepaling kosten (samenvatting)

STAP 5. Aantal stuwen berekenen + kosten 40 jaar

STAP 6. Berekening kosten per kuub; [Stap 5] delen door bergingsopgave

STAP 1.

Het waterschap Peel en Maasvallei is gelegen in Limburg. Enkele jaren geleden is hier het project 'Boeren met water' uitgevoerd. Het waterschap heeft in samenwerking met de agrariërs dit project uitgevoerd om vooral de droogte te bestrijden. Hierbij zijn ca. 700 agrariërs betrokken en er zijn ca. 1.500 boeren stuwen geplaatst. In tabel 0-6 zijn de kosten (in euro) opgebouwd uit de volgende aspecten (n.a.v. interview).

Tabel 0-6 Overzicht kosten

Activiteit		Eenheid	Min bedrag	Max bedrag	Kosten €
aanschaf stuw	E	p/stuw	1.000	1.500	1.250
plaatsen stuw	E	p/stuw			500
informatievoorziening gesprekken	E	p/uur/agrariër	75	125	100
informatievoorziening flyers e.d.	E	totaal			1.000
jaarlijks overleg	O	uur/agrariër/jaar	75	125	100

Opmerking: hydrologische effecten zijn nooit in kaart gebracht, omdat deze maatregelen enkel tegen verdroging is.

STAP 2.

Daarnaast heeft Waterschap Rijn en IJssel een project genaamd 'Blauwe diensten'. Eén onderdeel van Blauwe diensten is het plaatsen van boerenstuwen. In tabel 0-7 zijn de kosten weergegeven.

Tabel 0-7 Kosten

Activiteit		Eenheid	Kosten €
Aanleg eenvoudige balken stuw	E	p/stuw	2.500
Onderhoud	E	p/stuw/jaar	260

STAP 3.

Mevr. van Son-Louwers, werkzaam bij waterschap Aa en Maas heeft evaluatierapporten opgestuurd van afgeronde LOP projecten. De kosten voor het aanschaffen en plaatsen van ca. 75 stuwen zijn de kosten ca. € 110.000 (excl. BTW). Dit komt neer op ca. € 1500 per stuw.

STAP 4.

Omdat de bronnen schattingen bedragen, is er een samenvatting opgesteld met de kosten voor deze maatregel. Deze opgebouwd zoals te zien in tabel 0-8.

Tabel 0-8 Samenvatting kosten

Activiteit		Eenheid	Kosten €
aanschaf stuw	E	p/stuw	1.000
plaatsen stuw	E	p/stuw	500
informatievoorziening gesprekken	E	p/agrariër	200
informatievoorziening flyers e.d.	E	totaal	1.000
jaarlijks overleg	O	stuw/jaar	75
onderhoud	O	p/stuw/jaar	75

*Afschrijving is 20 jaar.

* 2 uur gesprek (á € 100,-/uur) per jaar per agrariër

* 1 agrariër heeft 2 stuwen

Totaal eenmalig per stuw: € 1.600,-

Totaal eenmalig project: € 1.000,-

Totaal onderhoud en overleg /stuw/jaar: € 150,-

STAP 5.

In tabel 0-9 staat een overzicht van de kosten.

Tabel 0-9 Berekening kosten

Waterloop	Bergings-behoefte (m ³) (10 jaar)	Aantal stuwen	Kosten Eenmalig (40 jaar) €	Kosten onderhoud (40 jaar) € *1000	Totale kosten (40 jaar) € mln
Tertiair	199	160	514.000	960	1,47
Secundair	375	301	965.200	1.806	2,77
Primair	4.163	3331	>10.661.200	>19.986	>30,64

* Berging x1000

STAP 6.

Door de kosten te delen door de bergingsopgave staat er een overzicht in kosten per kuub, zie tabel 0-10.

Tabel 0-10 Overzicht maatregel kosten per kuub

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	Kosten 40 jaar (€) mln	Kosten maatregel (€/m ³)
Tertiair	16.820	1,47	88
Secundair	68.280	2,77	41
Primair	3.079.000	>30,64	>10

De kosten voor het bergen in het primaire systeem worden weg gelaten, omdat met deze vorm van berging het probleem niet wordt opgelost.

X. Kostenberekening 'bergen' (berging in plassen)

De berekening is opgebouwd uit een aantal stappen

STAP 1. Bron Krantenartikel friesch dagblad

STAP 2. Eenmalige kosten berging periode van 40 jaar

STAP 3. Kosten onderhoud

STAP 4. Overzicht totale kosten

STAP 5. Kosten per kuub

STAP 1. Bron: Wetterskip Fryslan⁹

Deze maatregel bestaat uit het bergen van water in bestaande plassen of een zandwinput. In een krantenartikel van 13-12-2006 in het 'FrieschDagblad', staat dat in voormalig zandwinput 'Tjonger' bij Mildam 1,3 miljoen m³ water geborgen wordt tijdens hoog water. Bij navraag¹⁰ bij het Waterschap blijkt dat de maatschappelijke (eenmalige) kosten circa 2,75 miljoen bedragen. Dit zijn inrichtingskosten zoals het aanbrengen van een hoge kade om de zandwinput en een inlaatkunstwerk. Een deel van deze kosten zijn eenmalig, maar een kunstwerk moet worden afgeschreven. De afschrijffperiode is 150 jaar, en de andere helft heeft een afschrijvingsperiode van 40 jaar. De kosten komen daarbij op 1,742 miljoen in 40 jaar (0,37 miljoen + 1,375 miljoen). Dit komt neer op 1,34 €/m³.

STAP 2. Eenmalige kosten berging 40 jaar

Op basis van bovenstaande gaan we er vanuit dat deze vorm van berging gemiddeld ca. € 1,34 per kuub kost. De bergingsopgave is bekend, en daarmee ook de eenmalige kosten per situatie, zie tabel 0-11.

Tabel 0-11 Jaarlijkse kosten berging (40 jaar)

Waterloop	Bergingsopgave (10 jaar) m ³	Eenmalige kosten berging (40 jaar) €
Tertiair	16.820	22,5
Secundair	68.280	91,5
Primair	3.079.000	4126

* Kosten x1000

STAP 3. Kosten onderhoud

De onderhoudskosten zijn weergegeven in tabel 0-12.

Tabel 0-12 Kosten onderhoud watergang

Waterloop	¹¹ *Maaien watergang €/jaar	*Onderhoud Inspectie	*Totaal onderhoud (40 jaar) €
Tertiair	1	0,25	50
Secundair	1.5	0,25	70
Primair	7	0,25	290

* Kosten x1000

* Kosten maaien watergang zijn € 0,10 per m².

⁹ <http://www.frieschdagblad.nl/index.asp?artID=31793>

¹⁰ Dhr. J. Noordenbos, Wetterskip Fryslan

¹¹ Maaien en afvoeren, bron: Kostenraming beheer Dortherbeek west vanaf Kring van Dorth, WRIJ

STAP 4. Overzicht totale kosten

In tabel 0-13 staat het overzicht van de totale kosten in 40 jaar.

Tabel 0-13 Overzicht totale kosten (40 jaar)

Waterloop	*Totaal onderhoud (40 jaar) €	*Eenmalige kosten berging (40 jaar) €	*Totale Kosten (40 jaar) €
Tertiair	50	22,5	72,5
Secundair	70	91,5	161,5
Primair	290	4126	4.415,9

* Kosten x1000

STAP 5. Kosten per kuub

Door de kosten (40 jaar) te delen door de bergingsopgave staat er een overzicht in kosten per kuub, zie tabel 0-14.

Tabel 0-14 Overzicht maatregel kosten per kuub

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	*Kosten 40 jaar (€)	Kosten maatregel (€/m ³)
Tertiair	16.820	72,5	4,31
Secundair	68.280	161,5	2.36
Primair	3.079.000	4.415,9	1,43

* Kosten x1000

XI. Kostenberekening 'bergen' (bergen op maaiveld)

De berekening bestaat uit een aantal stappen.

STAP 1. Bron onderzoek Voorne-Putten

STAP 2. Bron waterschap Aa en Maas

STAP 2.1 Eenmalige kosten €/m³

STAP 2.2 Berekening eenmalige kosten

STAP 2.3 Inundatie oppervlak

STAP 2.4 Berekening benodigd hoeveelheid hectare

STAP 2.5 Vergoeding per hectare

STAP 2.6 Berekening vergoedingskosten 10 jaar

STAP 2.7 Samenvatting kosten

STAP 2.8 Kosten per kuub

STAP 1. Bron onderzoek Voorne-Putten

P. Terwan (2006) heeft onderzoek gedaan naar vier vormen van waterberging op maaiveld. Hij maakt onderscheid tussen wel- of niet aankopen van grond en wel- of geen inrichtingsmaatregelen nemen. Uit berekening (met als uitgangspunt bergen op grasland) blijken de volgende resultaten, zie tabel 0-15.

Tabel 0-15 onderzoeksresultaten P. Terwan

Bergingsvariant	Kosten (€/m ³)
Aankoop met inrichting	29
Aankoop zonder inrichting	63
Vergoedingsregeling met inrichting	22
Vergoedingsregeling zonder inrichting	6

Conclusie; Het aankopen van grond is niet kosteneffectief is.

De onderbouwing dat de variant "vergoedingsregeling met inrichting" duurder is dan zonder inrichting, komt omdat er vanuit gegaan wordt dat er mét inrichting meer schade is, dus hogere kosten.

STAP 2. Bron waterschap Aa en Maas

Dhr. E. Oomen van waterschap Aa en Maas heeft een overzicht gestuurd van de kosten van bergen op maaiveld. De eenmalige kosten bestaan voornamelijk uit voorbereidingskosten en inrichtingskosten. De inrichtingskosten worden voor een groot deel bepaald door de aanleg van een stuw. Bij deze projecten is een kade aangelegd op die plekken waar dit nodig was. Gebied 'Howadois' is een poldergebied, waarbij vrijwel het hele gebied is omgeven door een kade.

STAP 2.1 Eenmalige kosten €/m³

Op basis van vier bergingsgebieden (zie tabel 0-16) bedragen de kosten voor kleine en grote gebieden, respectievelijk ca. € 5,- en € 4,- per kuub, gemiddeld zijn (eenmalige) inrichtingskosten ca. € 4,50 per m³.

Tabel 0-16 Kosten bergen op maaiveld Waterschap Aa en Maas

Project	Waterberging (ha)	Berging m ³	Hoogte (m)	*Kosten	€ / m ³
Diesdonk	140	1.000	0,71	2.855	2,86
Groene peelvallei	112	200	0,18	705	3,53
Ham hamvelt	61	150	0,25	953	6,35
Howado	750	4.500	0,6	19.000	4,22
Totaal	1.063	5.850			4,24

* Berging x1000

* Kosten x1000

STAP 2.2 Berekening eenmalige kosten

De kosten per kuub worden vermenigvuldigd met de bergingsopgave, zie tabel 0-17.

Tabel 0-17 Kosten eenmalige kosten op basis SOBEK bergingsopgave

Waterloop	Bergingsopgave (m ³) SOBEK	Eenmalige kosten €
Tertiair	16.820	84
Secundair	68.280	341
Primair	3.079.000	12.316

*Kosten x1000

STAP 2.3 Inundatie oppervlak

Aangenomen wordt dat na de inrichtingsmaatregelen er 40 cm geborgen kan worden. Op één hectare levert dit een berging op van 4000 m³.

STAP 2.4 Berekening benodigd hoeveelheid hectare

In tabel 0-18 staat hoeveel hectare nodig is voor het bergen van de bergingsopgave voor 10 jaar. Dit is voor het tertiaire, secundaire en primaire systeem respectievelijk 5, 18 en 770 hectare.

STAP 2.5 Vergoeding per hectare

De hoogte van de vergoeding hangt af van het gewas. We gaan in dit onderzoek uit van grasland, en dat de eerste snede verloren is gegaan. Volgens het rapport¹² is de vergoeding dan 1105,13 €/ha. De kans is erg klein dat de inundatie precies in de zomer valt, en precies voordat de eerste snede geoogst moet worden. Daarom is vergoeding van 1105,13 €/ha misschien niet reëel, maar voor dit onderzoek is uitgegaan van een maximale schade. In de praktijk zal de vergoeding lager zijn. Om een idee te krijgen; in 2010 is gebied 'Diesdonk' onder water gezet, en er is toen 300 euro per hectare uitgekeerd als schadevergoeding.

¹²Bijlage A: Vergoedingsnormen voor inundatieschade behorende bij en onderdeel uitmakende van de beleidsregels schadevergoeding waterberging, Waterschap Aa en Maas

STAP 2.6 Berekening vergoedingskosten 10 jaar

In tabel 0-18 zijn de vergoedingskosten berekend voor een gebeurtenis van eens per 10 jaar. Dit zal theoretisch vier keer voorkomen in 40 jaar. In de rechter kolom staan de kosten per 40 jaar.

Tabel 0-18 Bergingsopgaven en benodigde hectare

Waterloop	Bergingsopgave (m ³) (10 jaar)	Aantal ha nodig (10 jaar)	*Jaarlijkse kosten schadevergoedingen € (10 jaar)	Jaarlijkse kosten schadevergoedingen € (40 jaar)
Tertiair	16.820	5	5,526	22,1
Secundair	68.280	18	19,892	79,6
Primair	3.079.000	770	850,950	3.404

* Kosten x1000

STAP 2.7 Samenvatting kosten

In onderstaande tabel 0-19 zijn de samenvattingen te zien van [stap 2.2] en [stap 2.6].

Tabel 0-19 Samenvatting kosten

Waterloop	Eenmalige kosten €	Jaarlijkse kosten schadevergoedingen € (40 jaar)	Kosten totaal € (40 jaar)
Tertiair	84	22,1	106
Secundair	341	79,6	421
Primair	12.316	3.404	15720

* Kosten x1000

STAP 2.8 Kosten per kuub

In onderstaande tabel 0-20 staan de kosten per kuub berekend.

Tabel 0-20 Kosten per kuub

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	*Kosten 40 jaar (€)	Kosten maatregel (€/m ³)
Tertiair	16.820	106	6,31
Secundair	68.280	421	6,16
Primair	3.079.000	15720	5,11

* Kosten x1000

XII. Kostenberekening 'bergen' (niets doen)

De berekening bestaat uit een aantal stappen

STAP 1. Bron onderzoek Voorne-Putten

STAP 2. Bron waterschap Vallei en Eem

STAP 2.1 Eenmalige kosten €/m³

STAP 2.2 Berekening eenmalige kosten

STAP 2.3 Inundatie oppervlak

STAP 2.4 Berekening benodigd hoeveelheid hectare

STAP 2.5 Vergoeding per hectare

STAP 2.6 Berekening vergoedingskosten 10 jaar

STAP 2.7 Samenvatting kosten

STAP 2.8 Kosten per kuub

STAP 3. Bron waterschap Aa en Maas

STAP 3.1 Berekening inundatieoppervlak (10 jaar)

STAP 3.2 Vaststelling vergoeding

STAP 3.3 Berekening vergoeding 40 jaar

STAP 3.4 Kosten per kuub

STAP 4. Bron waterschap Regge en Dinkel

STAP 4.1 Ander beleid (ter kennisgeving)

STAP 4.2 Blauwe maatregel

STAP 4.3 Berekening kosten zomer eenmalige afkoop

STAP 4.4 Kosten per kuub

STAP 5. Conclusie

STAP 1. Bron onderzoek Voorne-Putten

Zoals te zien in tabel 0-15 blijkt volgens dit onderzoek dat de kosten voor deze variant 6 €/m³ bedragen.

STAP 2. Bron waterschap Vallei en Eem

Achtergrond

Waterschap Vallei en Eem heeft afgelopen jaren diverse waterbergings- en water vasthoudmaatregelen genomen. Echter, in de laaggelegen delen van het watersysteem treedt nog steeds het water buiten de oever, met als gevolg dat laaggelegen percelen inunderen. Door de verwachte klimaatsverandering verwacht men dat dit probleem in de toekomst toeneemt. Daarom treft het Waterschap een vergoedingsregeling waarin de nadelige gevolgen van de waterberging volledig worden gecompenseerd. Dit gebeurt na overleg met grondeigenaren uit het gebied, medewerkers van het Waterschap, het centrum voor Landbouw en Milieu (CLM) en Stichting Adviesbureau Ontroerende Zaken (SAOZ).

Berekening

Met behulp van hydrologische modellen zijn de gebieden bepaald welke zullen inunderen met een kans van voorkomen T=1 t/m T=200. Binnen deze grens komen natuur- en landbouwgebieden voor. Er wordt rekening gehouden met de verwachte situatie van 2050. De schade als gevolg van de waterberging wordt vooraf uitgekeerd. Deze gebieden worden in het beleid van het waterschap, gemeente en provincie opgenomen voor onbepaalde tijd. De hoogte van de schade zijn opgebouwd uit twee componenten:

- ✓ Waardedaling

- ✓ Gewasschade (incl. indirecte effecten, 20%)

Voor de uitbetaling zijn er klassen gemaakt die afhankelijk zijn van de berekende inundatiekans. In tabel 0-21 zijn deze weergegeven.

Tabel 0-21 Inundatiekansen

Klasse	Inundatiekansen	
	Max	min
1	vaker dan 1 x per jaar	1 x per jaar
2	1 x per jaar	1 x per 5 jaar
3	1 x per 5 jaar	1 x per 10 jaar
4	1 x per 10 jaar	1 x per 50 jaar
5	1 x per 50 jaar	1 x per 100 jaar

STAP 2.1 Eenmalige kosten €/m³

In dit rekenvoorbeeld gaan we in op drie gebieden; Schammerpolder, Asschat en Binneveld. Samen zijn deze gebieden ca. 277 ha groot. Met een inundatie diepte van 20 cm, goed voor ca. 554.000 m³ berging. In 2010 is er voor deze drie gebieden ca. 100.000 euro uitgegeven als vergoeding voor de waardedaling van de grond. De kosten per kuub zijn dan 0,18 €/m³.

STAP 2.2 Berekening eenmalige kosten

De kosten per kuub worden vermenigvuldigd met de bergingsopgave, zie tabel 0-22.

Tabel 0-22 Kosten eenmalige kosten op basis SOBEK bergingsopgave

Waterloop	Bergingsopgave (m ³) SOBEK	Eenmalige kosten €
Tertiair	16.820	3,028
Secundair	68.280	12,290
Primair	3.079.000	554,220

* Kosten x1000

STAP 2.3 Inundatie oppervlak

Uitgangspunt is dat er na de inrichtingsmaatregelen er 20 cm geborgen kan worden. Op één hectare levert dit een berging op van 2000 m³.

STAP 2.4 Berekening benodigd hoeveelheid hectare

In tabel 0-23 staat hoeveel hectare men nodig heeft voor het bergen van de bergingsopgave, voor 10 jaar. Dit is voor het tertiaire, secundaire en primaire systeem respectievelijk 9, 35 en 1540 hectare.

STAP 2.5 Vergoeding per hectare

In de voorbeeldberekening in het rapport¹³ van waterschap Vallei en Eem over de totstandkoming van de vergoedingen wordt er vanuit gegaan dat de inundatie niet in de zomer plaats vindt. Daardoor zijn de vergoedingen relatief laag. Bij dit onderzoek gaan we van het andere extreme uit, namelijk dat de inundatie wel in de zomer plaats vindt. Daar vanuit gaande zou de vergoeding ca. 550 €/ha zijn.

¹³Vergoedingsregeling waterberging Waterschap Vallei & Eem

STAP 2.6 Berekening vergoedingskosten 10 jaar

In tabel 0-23 zijn de vergoedingskosten berekend voor een gebeurtenis van eens per 10 jaar. Dit zal theoretisch vier keer voorkomen in 40 jaar. In de rechter kolom staan de kosten per 40 jaar.

Tabel 0-23 Bergingsopgaven en benodigde hectare

Waterloop	Bergingsopgave (m ³) (10 jaar)	Aantal ha nodig (10 jaar)	*Jaarlijkse kosten schadevergoedingen € (10 jaar)	Jaarlijkse kosten schadevergoedingen € (40 jaar)
Tertiair	16.820	9	4,950	19,8
Secundair	68.280	35	19,250	77
Primair	3.079.000	1540	847,000	3.388

* Kosten x1000

STAP 2.7 Samenvatting kosten

In onderstaande tabel 0-24 zijn de samenvattingen te zien van [stap 2.2] en [stap 2.6].

Tabel 0-24 Samenvatting kosten

Waterloop	Eenmalige kosten €	Jaarlijkse kosten schadevergoedingen € (40 jaar)	Kosten totaal € (40 jaar)
Tertiair	3	19,8	22,8
Secundair	12,3	77	89,3
Primair	554	3.388	3942

* Kosten x1000

STAP 2.8 Kosten per kuub

In onderstaande tabel 0-25 staan de kosten per kuub berekend.

Tabel 0-25 Kosten per kuub

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	*Kosten 40 jaar (€)	Kosten maatregel (€/m ³)
Tertiair	16.820	22,8	1,35
Secundair	68.280	89,3	1,31
Primair	3.079.000	3942	1,28

* Kosten x1000

STAP 3. Bron waterschap Aa en Maas

Naast het waterschap Vallei en Eem heeft ook waterschap Aa en Maas beleidsregels opgesteld voor nieuwe waterberging. Deze is anders van opzet dan van het waterschap Vallei en Eem. Waterschap Aa en Maas maakt onderscheid in de volgende kosten:

- ✓ het soort gewas/ vorm van grondgebruik
- ✓ de overstroming periode
- ✓ de overstromingsfrequentie (of herhalingstijd)
- ✓ de duur van overstroming
- ✓ het voor de oogst verloren gegane oppervlak

Berekening

Dit is berekend voor de volgende gewassoorten; mais, gras, consumptie aardappelen, suikerbieten, wintertarwe. Het waterschap Rijn en IJssel is vooral geïnteresseerd in gras. Deze worden hieronder nader toegelicht. Basis voor de berekening zijn grondtallen uit de KWIN-normen¹⁴.

Betalingssystematiek / gewasschade

Voor de betalingssystematiek zijn uitgebreide tabellen gemaakt, deze staan in het door het waterschap opgestelde document¹⁵.

STAP 3.1 Berekening inundatieoppervlak (10 jaar)

Volgens tabel uit paragraaf 3.3.3.1 inundeert er bij een T=10 situatie gemiddeld ca. 20 cm water. Aan de hand van de bergingsopgaven uit SOBEK is hiermee het aantal hectare dat inundeert uit te rekenen ($m^3 / m = m^2$), zie tabel 0-26.

Tabel 0-26 Berekende inundatieoppervlakte op basis van SOBEK model

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	Waterschijf m	Inundatieoppervlak (ha) 10 jaar
Tertiair	16.820	0,2	9
Secundair	68.280	0,2	35
Primair	3.079.000	0,2	1.540

STAP 3.2 Vaststelling vergoeding

Uitgaande van een zomersituatie en grasland, zijn de is de vergoeding 1105,13 €/ha. In 40 jaar zal dit 4 keer voorkomen. Op basis hiervan zijn de totale kosten bekend, zie tabel 0-27

STAP 3.3 Berekening vergoeding 40 jaar

In tabel 0-27 worden de kosten voor een periode van 40 jaar berekend.

Tabel 0-27 Totale kosten op basis zomersituatie met grasland

Waterloop	Inundatieoppervlak (ha) 10 jaar	Schade / kosten € (10 jaar)	Schade / kosten € (40 jaar)
Tertiair	9	10	40
Secundair	35	39	155
Primair	1.540	1.702	6.808

* Kosten x1000

¹⁴ Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2002 (KWIN-AGV) of Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2003-2004 (KWIN-V). KWIN-V is een periodieke uitgave van de Animal Sciences Group van Wageningen UR. KWIN-AGV is een periodieke uitgave van de Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO) van Wageningen UR. De KWIN bevat statistische prijsinformatie over onderdelen van agrarische bedrijven en normen voor het maken van berekeningen, bedrijfsevaluaties en begrotingen.

¹⁵ Bijlage A: Vergoedingsnormen voor inundatieschade behorende bij en onderdeel uitmakende van de beleidsregels schadevergoeding waterberging

STAP 3.4 Kosten per kuub

De kosten worden gedeeld door de bergingsopgave, waardoor een overzicht (in €/m³) ontstaat (tabel 0-28).

Tabel 0-28 Kosten per kuub

Waterloop	Bergingsopgave m ³ (10 jaar)	*Totale kosten (40 jaar) €	Kosten €/m ³
Tertiair	16.820	40	2,37
Secundair	68.280	155	2,27
Primair	3.079.000	6.808	2,21

* Kosten x1000

STAP 4. Bron waterschap Regge en Dinkel

Uit de informatie afkomstig van Dhr. Gels (Paragraaf 3.3.3.2) blijkt in dat de vergoedingen die in het verleden gegeven zijn, om de schade als gevolg van berging eenmalig af te kopen ca. 1,2 €/m³ bedragen.

STAP 4.1 Ander beleid (ter kennisgeving)

Daarnaast is er een project geweest waarbij het volgende gehanteerd werd:

Gebieden die minder dan 10 dagen per jaar onder water staan: 3.630 €/ha → 182 €/ha/jaar

Gebieden die meer dan 10 dagen per jaar onder water staan: 9.091 €/ha → 499 €/ha/jaar.

Omdat het in dit geval gaat om gronden net naast het beekdal, zal hier een grotere waterschijf (dan 0,20 meter) geborgen worden. De hoogte is onbekend, daarom worden de kosten ook niet berekend.

STAP 4.2 Blauwe maatregel¹⁶

Bron: 'Notitie blauwe diensten en blauwe maatregelen'

De kosten voor een zomersituatie zouden op basis van deze notitie 9708 €/ha zijn. Daarbij vermelden we dat dit om gebieden gaat die minimaal 1 keer per jaar overstroomd (dus zeer natte gebieden). Bij deze studie wordt uitgegaan van een situatie die eens per 10 jaar voorkomt, en daarom is het redelijk dit bedrag te delen door 10. Dan komen we uit op een bedrag van 971 € / ha. Er wordt van uitgegaan dat als dit bedrag op de bank wordt gezet, de schade in de toekomst gedekt kan worden (met een rente percentage van ca. 4%). Uitgaande van de gestelde bergingsopgave en een waterschijf van 0,20 meter, is het aantal hectare te berekenen, zie tabel 0-29. Op basis hiervan staat in de meest rechter kolom de (eenmalige) kosten. De notitie is te vinden in bijlage XV.

STAP 4.3 Berekening kosten zomer eenmalige afkoop

Op basis van stap 4.2 worden de kosten berekend, zie tabel 0-29.

Tabel 0-29 Kosten op basis notitie blauwe diensten waterschap Regge en Dinkel

Waterloop	Bergingsopgave (m ³) (10 jaar)	Aantal ha nodig	Kosten eenmalige afkoop op basis zomer €
Tertiair	16.820	9	9
Secundair	68.280	35	34
Primair	3.079.000	1540	1.495

* Kosten x1000

¹⁶ Brochure Blauwe Diensten, Heijtbink et al, 2006

STAP 4.4 Kosten per kuub

Door de kosten te delen door de bergingsopgave staat er een overzicht in kosten per kuub, zie tabel 0-30.

Tabel 0-30 Kosten per kuub

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	Kosten eenmalige afkoop op basis zomer €	Kosten maatregel €/m ³
Tertiair	16.820	9	1,92
Secundair	68.280	34	0,50
Primair	3.079.000	1.495	0,49

* Kosten x1000

STAP 5. Conclusie

In tabel 0-31 staat de samenvatting van de verschillende bronnen, met rechts het gemiddelde. Dit is de uiteindelijke conclusie.

Tabel 0-31 Conclusie

Waterloop	Vallei en Eem	Aa en Maas	Regge en Dinkel	Kosten €/m ³ Zomer
Tertiair	1,31	2,28	0,97	1,52

XIII. Kostenberekening 'afvoeren' (verruimen watergang)

De berekening is opgebouwd uit een aantal stappen

- STAP 1. Kosten bron gemeente Nootdorp
- STAP 2. Kosten bron Marieke Ekelenkamp (E-sence)
- STAP 3. Kosten bron gemeente Achtkaspelen
- STAP 4. Bepaling kosten a.d.v. SOBEK-analyse
- STAP 5. Kosten kunstwerken aanpassen
- STAP 6. Kosten grondaankoop
- STAP 7. Samenvatting kosten
- STAP 8. Kosten per kuub bepalen

STAP 1. Gemeente Nootdorp¹⁷

Voor de wateropgave 'Delfgauw' is in 2006 door gemeente Pijnacker-Nootdorp een raming opgesteld voor het verruimen van een watergang. Over een lengte van 260 meter wordt de watergang met 1,5 meter verbreed. De diepte van de watergang is 1,5 meter. Dit komt neer op $5 \text{ m}^2 * 260 \text{ meter}$ is een opgave van 1300 m^3 . De totale kosten voor het verruimen van de watergang is ca. € 6900,- excl. BTW. Dit komt neer op een bedrag van 5,30 per m^3 . Onduidelijk is of bij deze maatregel ook rekening is gehouden met de inrichting voor ecologische doelen.

STAP 2. Marieke Ekelenkamp (E-sence)

Marieke Ekelenkamp heeft een inschatting gegeven. Zij maakt onderscheid tussen een maatregel met- en zonder ecologische (KRW) doelen. De kosten zullen naar haar mening ongeveer 3,5 euro per m^3 zijn zonder ecologische doelen. Met ecologische inrichting zullen deze ongeveer 10 euro per m^3 bedragen.

STAP 3. Gemeente Achtkaspelen (G. de Haan)¹⁸

Aan de Kuipersweg in de gemeente Achtkarspelen is men bezig met een watergang te verbreden in combinatie met ecologische doelen. Dhr. De Haan is projectleider en heeft de kosten toegestuurd. Er wordt in dit project 750 m^3 waterberging gerealiseerd. De kosten bedragen € 7.175,-. Dit komt neer op €9,50 per m^3 .

STAP 4. Berekening kosten SOBEK-analyse

Op basis van bovenstaande gaan we er vanuit dat het verruimen van de watergang zonder ecologische doelen € 5,-/ m^3 kost, en met ecologische doelen € 10,-/ m^3 . Uit de SOBEK-analyse (3.2.1.1) blijkt dat er een aantal kuubs ontgraven moet worden. Deze staan in tabel 0-32, In de kolom 'ontgraven'. Dit zijn de kosten voor de werkzaamheden aan de watergang (ontgraven, voorbereiding, etc.

¹⁷ Van der Velden en van der Coevering, 2006

¹⁸ http://www.achtkarspelen.nl/wonen-en-leven/nieuws_41357/item/verbreden-watergang-kuipersweg-de-hoefslag-buitenpost_4709.html

STAP 5. Kosten kunstwerken aanpassen

De kosten voor het aankopen van de grond en aanpassen van eventuele kunstwerken zijn hier niet bij inbegrepen. Uitgangspunt is dat de stuw vervangen moet worden, de kosten hiervan staan in tabel 0-32.

Tabel 0-32 Resultaten SOBEK-analyse en kosten aanpassen kunstwerken

Waterloop	Ontgraven m ³	Kosten € -KRW	Kosten € +KRW	Stuwverbreding m	¹⁹ Kosten Stuwvervang
Tertiair	5.000	25	50	0,25	12
Secundair	9.800	49	98	0,80	30
Primair	180.000	900	1.800	7,00	60

* Kosten x1000

STAP 6. Kosten grondaankoop

De grondprijs is ca. € 40.000,-/ha. In tabel 0-33 staan de kosten voor grondaankoop.

Tabel 0-33 Kosten grondaankoop

Waterloop	Verbreding (m) (afgerond)	Afstand verbreding (km)	Oppervlak m ²	Kosten €
Tertiair	1	5	5.000	20
Secundair	4	1,4	5.600	22
Primair	15	4	60.000	240

* Kosten x1000

STAP 7. Samenvatting kosten maatregel

De kosten uit voorgaande stappen staan samengevat in tabel 0-34.

Tabel 0-34 Samenvatting kosten maatregel

Waterloop	Grondaankoop Kosten €	Stuwvervang Kosten €	Maatregel - KRW Kosten €	Maatregel + KRW Kosten €	Totaal - KRW Kosten €	Totaal + KRW Kosten €
Tertiair	20	12	25	50	57	82
Secundair	22	30	49	98	101	150
Primair	240	60	900	1800	1200	2100

* Kosten x1000

STAP 8. Kosten per kuub

In deze laatste stap worden de kosten gedeeld door de bergingsopgave, zie tabel 0-35.

Tabel 0-35 Overzicht maatregel kosten per kuub

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	Kosten - KRW €/m ³	Kosten + KRW €/m ³
Tertiair	16.820	3,39	4,40
Secundair	68.280	1,48	2,20
Primair	3.079.000	0,39	0,68

¹⁹ Schatting van Dhr. Groen, Waterschap Rijn en IJssel

XIV. Kostenberekening 'afvoeren' (actief peilbeheer)

De berekening is opgebouwd uit een aantal stappen

- STAP 1. Bron waterschap Groot Salland
- STAP 2. Bron hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden
- STAP 3. bron Waterschap Rijn en IJssel
- STAP 4. Samenvatting
- STAP 5. Eenmalige Kosten
- STAP 6. Jaarlijkse Kosten
- STAP 7. Totale kosten
- STAP 8. Kosten per kuub

STAP 1. Bron waterschap Groot Salland

In een artikel²⁰ uit KNW Neerslag, beschrijft Dhr. Gerrit Nijhof van waterschap Groot Salland het proces van het automatiseren van stuwen. Na een telefonisch interview op 03-04-12 blijkt dat de kosten voor het automatiseren van vaste stuwen ca. € 17.000 bedragen. Dit geldt zowel voor een stuwen op het elektriciteitsnet als op zonne-energie.

STAP 2. Bron hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden

Op de website²¹ van hoogheemraadschap 'de Stichtse Rijnlanden' is een verslag gevonden over het automatiseren van bestaande stuwen. Dhr. Theo Buijserd (projectleider) heeft een raming van twee geautomatiseerde stuwen opgestuurd. Stuw Hellevliet (zonne-energie) en stuw Stenenburg (elektriciteitsnet), zie figuur 0-6. Op locaties waar elektriciteit beschikbaar is worden kabels getrokken. Maar dit is niet in elke situatie mogelijk. Op deze plaatsen wordt een zonnecollector of windmolen geplaatst, om zo de elektriciteit op te wekken. De kosten zijn weergegeven in tabel 0-36.



Tabel 0-36 Overzicht kosten automatiseren stuwen

Figuur 0-6 Stuw Stenenburg, Theo Buijserd

Kostenpost	Kosten € stuw Hellevliet	Kosten € stuw Stenenburg
Aannemerskosten t.b.v. automatisering	20.390	11.500
Schakelkast HDSR	2.215	2.215
Beschermkap aandrijving	n.v.t.	3.000
Communicatie	85	85
Kosten eigen uren	7.143	8.000
Energieaansluiting	n.v.t.	500
TOTAAL	ca. 30.000	ca. 25.000

STAP 3. bron Waterschap Rijn en IJssel

Collega Michiel Arendsen van Waterschap Rijn en IJssel heeft een schatting gegeven voor de kosten van het automatiseren van een bestaande vaste stuw in op ca. € 17.500.

²⁰ <http://www.neerslag-magazine.nl/magazine/artikel/299/>

²¹ http://www.hdsr.nl/werk_in_uitvoering/index-gemeenten/woorden/@220243/automatisering_stuw/

STAP 4. Samenvatting

Uit de verschillende bronnen blijkt dat de kosten voor het automatiseren van een stuw circa € 17.000 bedragen. Daarnaast komt er nog eens € 7.000 bij voor de voorbereiding. Dit komt totaal neer op circa € 24.000. Telemetrische meetapparatuur installeren kost circa € 2.000 en jaarlijkse kosten zijn circa € 500 euro²². Uitgangspunt is dat grote stuwen al geautomatiseerd zijn, en dat daar ook het waterpeil gemeten wordt. Voor de aanpassing van de stuw wordt € 2000 gerekend en € 500 per jaar aan jaarlijkse kosten.

STAP 5. Eenmalige Kosten

Tabel 0-37 Kosten eenmalig

Waterloop	Eenmalige kosten stuw €	Eenmalige kosten meetapparatuur €	Totale kosten (40 jaar) €
Tertiair	24	2	26
Secundair	24	2	26
Primair	--	2	2

* Kosten x1000

STAP 6. Jaarlijkse Kosten

Tabel 0-38 Kosten jaarlijks (onderhoud/afschrijving)

Waterloop	Afschrijving automat. stuw €/jaar	²³ Extra onderhoudskosten t.o.v. normale stuw €/jaar	Jaarlijkse kosten meetapparatuur €	Totaal Jaarlijks €/jaar	*Totaal Jaarlijks (40 jaar) €
Tertiair	1200	1650	500	3350	134
Secundair	1200	2750	500	4450	178
Primair	n.v.t.	n.v.t.	500	500	20

* Uitgaande van afschrijvingstermijn van 20 jaar

* Kosten x1000

STAP 7. Totale kosten

Tabel 0-39 Totale kosten

Waterloop	Eenmalige kosten €	Jaarlijkse kosten € (40 jaar)	Kosten totaal € (40 jaar)
Tertiair	26	134	160
Secundair	26	178	204
Primair	2	20	22

* Kosten x1000

STAP 8. Kosten per kuub

Tabel 0-40 Kosten per kuub (knelpunt tertiair is niet op te lossen)

Waterloop	Bergingsopgave (m ³)	*Kosten 40 jaar (€)	Kosten maatregel (€/m ³)
Tertiair	16.820	160	9,51
Secundair	68.280	204	2,99
Primair	3.079.000	22	0,007

* Kosten x1000

²² Stageonderzoek Divers Grontmij, van Beersum, (2011)

²³ Bron: Dhr. Groen, Waterschap Rijn en IJssel

XV. Nadeeltaxatie waterberging, Regge en Dinkel²⁴

Nadeeltaxatie Waterberging				
Kosten aankoop veevoer en loonwerk volgens Animal Science Group				
Percentage huiskavel	Najaar+winter (N)	Voorjaar (V)	Zomer (Z)	N+V+Z
10%	103	243	287	633
20%	54	263	316	633
30%	71	372	329	772
Gemiddeld	76	293	311	679
Toeslag voor indirecte kosten (opruimen zwerfui, controleren afrasteringen, etc.)				
%: 25				
Percentage huiskavel	Najaar+winter (N)	Voorjaar (V)	Zomer (Z)	N+V+Z
10%	129	304	359	791
20%	68	329	395	791
30%	89	465	411	965
Gemiddeld	95	366	388	849
Kapitalisatie				
K: 25				
Percentage huiskavel	Najaar+winter (N)	Voorjaar (V)	Zomer (Z)	N+V+Z
10%	3219	7594	8969	19781
20%	1688	8219	9875	19781
30%	2219	11625	10281	24125
Gemiddeld	2375	9146	9708	21229
Overstromingskansen per periode in het jaar				
%: 0,52 0,32 0,16				
Percentage huiskavel	Najaar+winter (N)	Voorjaar (V)	Zomer (Z)	N+V+Z
10%	1674	3949	4664	10286
20%	878	4274	5135	10286
30%	1154	6045	5346	12545
Gemiddeld	1235	4756	5048	11039

²⁴ Heitbrink et al., 2006

XVI. Resultaten M.C.A.

Tertiair:

Multi criteria analyse - tertiair watersysteem

Maatregel	economisch	complexiteit			neven-effecten				
	Kosten (€/m³)	Voorbereiding	Uitvoering	Actoren	Hydr. Omg.	Landschap	Natuur	Bestaande functies	Faalkans
Bodemverbetering	968	-	+	3	+	+/-	+/-	+	klein
Boerenstuwen	88	-	-	3	+/-	+/-	+/-	+	groot
Plasberging	4,31	+/-	+	2	-	-	+/-	-	middel
Berging op maaiveld	5,36	+/-	+/-	2	-	+/-	+	-	klein
Niets doen	1,52	+	+/-	1	-	+/-	+	+/-	klein
Verruimen watergang	4,40	+	+	2	+/-	-	+	+/-	klein
Actief peilbeheer	#	-	-	1	+/-	-	-	+	groot

Maatregel	economisch	complexiteit			neven-effecten				
	Kosten (€/m³)	Voorbereiding	Uitvoering	Actoren	Hydr. Omg.	Landschap	Natuur	Bestaande functies	Faalkans
Bodemverbetering	-1,0	-1	1	-1	1	0	0	1	1
Boerenstuwen	-0,6	-1	-1	-1	0	0	0	1	-1
Plasberging	0,6	0	1	0	-1	-1	0	-1	0
Berging op maaiveld	-0,2	0	0	0	-1	0	1	-1	1
Niets doen	1,0	1	0	1	-1	0	1	0	1
Verruimen watergang	0,2	1	1	0	0	-1	1	0	-1
Actief peilbeheer	#	-1	-1	1	0	-1	-1	1	-1

Criteria	Weging
Kosten	0,35
Voorbereiding	0,07
Uitvoering	0,10
Actoren	0,07
Hydrologisch effect omgeving	0,07
Landschap	0,07
Natuur	0,07
Bestaande functies	0,07
Faalkans	0,15
Totaal	1,00

Beoordeling	Gewichten
+ Goed	1
+/- Matig	0
- Slecht	-1

Maatregel	Score
Bodemverbetering	-0,10
Boerenstuwen	-0,53
Plasberging	0,11
Berging op maaiveld	0,01
Niets doen	0,63
Verruimen watergang	0,09
Actief peilbeheer	#VALUE!

Secundair:

Multi criteria analyse - secundair watersysteem

Maatregel	economisch	complexiteit			neven-effecten				
	Kosten (€/m³)	Voorbereiding	Uitvoering	Actoren	Hydr. Omg.	Landschap	Natuur	Bestaande functies	Faalkans
Bodemverbetering	450	-	+	3	+	+/-	+/-	+	klein
Boerenstuwen	41	-	-	3	+/-	+/-	+/-	+	groot
Plasberging	2,36	+/-	+	2	-	-	+/-	-	middel
Berging op maaiveld	5,32	+/-	+/-	2	-	+/-	+	-	klein
Niets doen	1,52	+	+/-	1	-	+/-	+	+/-	klein
Verruimen watergang	2,20	+	+	2	+/-	-	+	+/-	klein
Actief peilbeheer	2,99	-	-	1	+/-	-	-	+	groot

Maatregel	economisch	complexiteit			neven-effecten				
	Kosten (€/m³)	Voorbereiding	Uitvoering	Actoren	Hydr. Omg.	Landschap	Natuur	Bestaande functies	Faalkans
Bodemverbetering	-1,00	-1	1	-1	1	0	0	1	1
Boerenstuwen	-0,67	-1	-1	-1	0	0	0	1	-1
Plasberging	0,33	0	1	0	-1	-1	0	-1	0
Berging op maaiveld	-0,33	0	0	0	-1	0	1	-1	1
Niets doen	1,00	1	0	1	-1	0	1	0	1
Verruimen watergang	0,67	1	1	0	0	-1	1	0	-1
Actief peilbeheer	0,00	-1	-1	1	0	-1	-1	1	-1

Criteria	Weging
Kosten	0,35
Voorbereiding	0,07
Uitvoering	0,10
Actoren	0,07
Hydrologisch effect omgeving	0,07
Landschap	0,07
Natuur	0,07
Bestaande functies	0,07
Faalkans	0,15
Totaal	1,00

Beoordeling	Gewichten
+ Goed	1
+/- Matig	0
- Slecht	-1

Maatregel	Score
Bodemverbetering	-0,10
Boerenstuwen	-0,55
Plasberging	0,02
Berging op maaiveld	-0,03
Niets doen	0,63
Verruimen watergang	0,25
Actief peilbeheer	-0,32

Primair:

Multi criteria analyse - primair watersysteem

Maatregel	economisch	complexiteit			neven-effecten				
	Kosten (€/m³)	Voorbereiding	Uitvoering	Actoren	Hydr. Omg.	Landschap	Natuur	Bestaande functies	Faalkans
Bodemverbetering	#	-	+	3	+	+/-	+/-	+	klein
Boerenstuwen	#	-	-	3	+/-	+/-	+/-	+	groot
Plasberging	1,43	+/-	+	2	-	-	-	-	middel
Berging op maaiveld	4,30	+/-	+/-	2	-	+/-	+	-	klein
Niets doen	1,52	+	+/-	1	-	+/-	+	+/-	klein
Verruimen watergang	0,68	+	+	2	+/-	-	+	+/-	klein
Actief peilbeheer	0,007	-	-	1	+/-	-	-	+	groot

Maatregel	economisch	complexiteit			neven-effecten				
	Kosten (€/m³)	Voorbereiding	Uitvoering	Actoren	Hydr. Omg.	Landschap	Natuur	Bestaande functies	Faalkans
Bodemverbetering	#	-1	1	-1	1	0	0	1	1
Boerenstuwen	#	-1	-1	-1	0	0	0	1	-1
Plasberging	0,0	0	1	0	-1	-1	-1	-1	0
Berging op maaiveld	-1,0	0	0	0	-1	0	1	-1	1
Niets doen	-0,5	1	0	1	-1	0	1	0	1
Verruimen watergang	0,5	1	1	0	0	-1	1	0	-1
Actief peilbeheer	1,0	-1	-1	1	0	-1	-1	1	-1

Criteria	Weging
Kosten	0,35
Voorbereiding	0,07
Uitvoering	0,10
Actoren	0,07
Hydrologisch effect omgeving	0,07
Landschap	0,07
Natuur	0,07
Bestaande functies	0,07
Faalkans	0,15
Totaal	1,00

Beoordeling	Gewichten
+ Goed	1
+/- Matig	0
- Slecht	-1

Maatregel	Score
Bodemverbetering	#VALUE!
Boerenstuwen	#VALUE!
Plasberging	-0,17
Berging op maaiveld	-0,27
Niets doen	0,11
Verruimen watergang	0,19
Actief peilbeheer	0,03