

Pilot optimalisatie waterverdeling Hunze en Aa's

Maart 2017

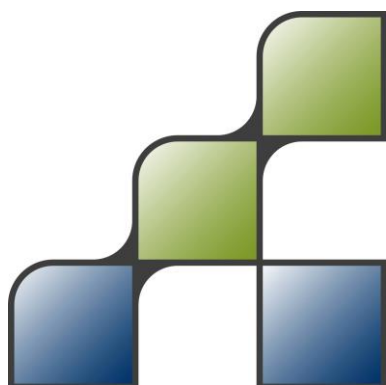
Auteurs

Froukje de Boer
Martijn de Klerk
Peter Droogers
Gijs Simons

Opdrachtgever

RWS – Slim Watermanagement

FutureWater rapport 163



FutureWater

Costerweg 1V
6702 AA Wageningen
Nederland

+31 (0)317 460050

info@futurewater.nl

www.futurewater.nl

Samenvatting

Tijdens droge zomerperiodes wordt er in de provincies rondom het IJsselmeer water aangevoerd. In de meeste zomers is de buffercapaciteit van het IJsselmeer voldoende om aan alle watervragen te voldoen, maar in extreem droge zomers kan het voorkomen dat zelfs het IJsselmeer niet kan voldoen aan de watervraag. Extreem droge zomers met waterschaarste zullen naar verwachting steeds vaker voorkomen als gevolg van klimaatverandering en een optimale verdeling van zoetwater is dan van groot belang. Het uitgangspunt van een optimale waterverdeling is dat de economische en maatschappelijke schade van het watertekort geminimaliseerd wordt.

Om te komen tot een optimale verdeling van zoetwater moet eerst de watervragen en eventuele watertekorten van de regio's rondom het IJsselmeer inzichtelijk gemaakt worden. In deze pilot is in opdracht van Rijkswaterstaat door FutureWater het waterverdelingsmodel WEAP (Water Evaluation And Planning tool) opgezet en getest voor de beheersregio van waterschap Hunze en Aa's voor de zomerperiode van 2013. Het doel was hierbij de wateraanvoerbehoefte en watertekorten per deelgebied en per gebruiksdoel te bepalen, de economische schade van de watertekorten vast te stellen en aan de hand hiervan de optimale waterverdeling te bepalen. Een bijkomend doel van de pilot is om te testen in hoeverre door inzet van WEAP kan worden voorzien in deze informatiebehoefte van de noordelijke waterschappen.

Deze pilot heeft inzicht gegeven in de ruimtelijke schaalniveaus waarop WEAP succesvol kan worden toegepast. Op het niveau van het waterschap presteert het model goed en ook op deelgebiedsniveau blijkt het model goed bruikbaar, al toont de vergelijking met gemeten afvoeren aan dat de prestatie per deelgebied varieert. De sterke kant van WEAP is de enorme flexibiliteit die het biedt in het opzetten van een model voor een specifiek gebied. Een ander groot voordeel van WEAP is de focus op optimalisatie van de waterverdeling bij optredende watertekorten, waarbij prioriteiten en aanvoerbepalingen eenvoudig kunnen worden opgelegd en snel worden doorgerekend. WEAP is geheel ingericht om zeer snel en eenvoudig vele scenario's/maatregelen in te bouwen en te berekenen, en is uitermate gebruiksvriendelijk met een grafische interface voor zowel het opzetten van het model, maatregelen te definiëren als het presenteren van resultaten.

De inzet van WEAP voor dit vraagstuk kent echter ook beperkingen. Uit de pilot is duidelijk naar voren gekomen dat WEAP geen hydraulisch model is dat op detailniveau het hele distributiesysteem kan simuleren. Dit levert beperkingen op dagelijkse en wekelijkse tijdschaal in de Nederlandse context, waar het watersysteem in grote mate wordt gestuurd. Voor wat betreft de waterverdeling laat de pilot zien dat deze goed kan worden geanalyseerd en maatregelen redelijk eenvoudig kunnen worden opgezet. De component wateraanvoerbehoefte is redelijk uitgewerkt in de pilot, waarbij de beregeningsvraag goed kon worden geanalyseerd, en de watervraag voor peilhandhaving nog verdere aandacht behoeft.

Naar aanleiding van de resultaten van deze pilot worden als drie mogelijke vervolgrichtingen aangedragen:

- Een richting waarin een aantal detailprocessen m.b.t. het distributiesysteem in het ontwikkelde model worden vereenvoudigd, en aan de andere kant een geografisch uitbreiding gemaakt wordt. Daarnaast zou ook kritisch gekeken moeten worden of het fysische detailniveau voor de berekening van watervraag voor peilhandhaving gerechtvaardigd is gezien de onzekerheden in deze parameterisatie. Dit vereenvoudigde model bevat alle gebieden die water uit het IJsselmeer onttrekken. In eerste instantie zal



deze watervraag en waterverdeling op een redelijk conceptueel niveau moeten worden opgezet met voor elke waterbeheerder een beperkt aantal watervraagpunten en watervraaggebieden.

- Een tweede richting is om het ontwikkelde model juist op kleiner domein toe te passen (één deelgebied) en voor dit gebied juist de hydrologische processen van peilhandhaving en berekening beter te begrijpen en om te zetten in de juiste parameters. Hierbij moet dan goed worden nagedacht over de achterliggende processen van infiltratie, intreeweerstanden, oppervlakte-bodemwater interacties. Een koppeling met bijvoorbeeld WALRUS zou hier mogelijk zijn.
- Een derde richting is om distributiesysteem zoals dat in het huidige model zit volledig te vervangen door een SOBEK-achtig model. De wateraanvoerbehoefte en de waterverdeling zoals door WEAP wordt bepaald, kan dan operationeel worden gerealiseerd met een SOBEK-achtig model als operationeel beslissingsondersteunend systeem. Hierbij moet goed worden nagedacht over een eventuele terugkoppeling indien de beoogde verdeling door het distributiesysteem toch niet kan worden gerealiseerd.



Inhoudsopgave

1	Inleiding	9
1.1	Achtergrond	9
1.2	Doelstelling	10
1.3	WEAP als waterverdelingsinstrument	10
2	Modelopzet	12
2.1	Schematisatie	12
2.1.1	Tijdstap en periode	12
2.1.2	Schematisch overzicht	12
2.1.3	Gebiedselementen, grondwaterelementen, aanvoerlinks en afvoerlinks	13
2.1.4	Watervraagelementen en lozingen	15
2.1.5	Rivieren, kanalen en reservoirs	15
2.1.6	Debietmeetpunten en minimale debietvraag	16
2.1.7	Prioriteiten en aanvoervoorkeuren	17
2.2	Rijnstroomgebied Noord	17
2.3	Deelgebieden en subgebieden	18
2.4	Landgebruik	21
2.5	Peilhandhaving en beregening	22
2.5.1	Peilhandhaving in niet beregende gebieden	22
2.5.2	Beregende landbouw	23
2.6	Neerslag en verdamping	24
2.6.1	Weerstations	24
2.6.2	Gewasverdamping	26
2.7	Industriële onttrekkingen en doorspoeling	26
2.8	Infrastructuur wateraanvoer	27
2.8.1	Gemaalcapaciteiten	27
2.8.2	Wateropslagcapaciteit	28
2.9	Scenario's	29
2.10	Maatregelen	29
2.10.1	Maatregelen verdringingsreeks	29
2.10.2	Methode schadeberekening	31
3	Kalibratie en validatie	32
3.1	Aanpak	32
3.2	Resultaten van de kalibratie	35
3.3	Validatie	38
4	Resultaten	43
4.1	Huidige situatie en klimaatscenario's	43
4.1.1	Resultaten op maandbasis	43
4.1.2	WEAP-resultaten met kleinere tijdstappen	47
4.2	Maatregelen	50
4.3	Schade	52
5	Implementatie in het beslissingsondersteunend systeem	54
5.1	Technische inzet	54
5.1.1	Volledig lokaal	54
5.1.2	Semi-lokaal	54
5.1.3	Gekoppeld	55



5.2	Organisatorisch en operationeel	55
6	Conclusies en aanbevelingen	58
6.1	Pilotmodel WEAP voor Hunze en Aa's	58
6.2	Mogelijkheden en beperkingen van WEAP	58
6.3	Aanbevelingen voor toekomstige inzet van WEAP	61
6.4	Reflectie op de pilot	61
	Appendix 1 : Verdringingsreeks Noord-Nederland	63
	Appendix 2 : Zoetwaterregio's	64
	Appendix 3 : Details schematisatie	65
	Appendix 4 : Landgebruikspercentages	67
	Appendix 5 : Percentage berekend	69
	Appendix 6 : Industriële onttrekkingen	70
	Appendix 7 : Gebieden met normaal zomerpeil en verhoogde zomerpeilen	71
	Appendix 8 : Indeling beregeningsverbod	72
	Appendix 9 : Beschikbare meetgegevens per deelgebied	73
	Appendix 10 : Lower threshold per kalibratie-eenheid	74
	Appendix 11 : Gesimuleerde en gemeten maandelijkse aanvoeren	75
	Appendix 12 : Gesimuleerde en gemeten wekelijkse aanvoeren	77
	Appendix 13 : Gesimuleerde en gemeten maandelijkse afvoeren	79
	Appendix 14 : Tekorten (in mm) per deelgebied en landgebruikstype	83
	Appendix 15 : Gesimuleerde wateraanvoer bij het treffen van maatregelen	85
	Appendix 16 : Schade (in duizenden euro's) per deelgebied en landgebruikstype voor de scenario's	87
	Appendix 17 : Schade (in duizenden euro's) per deelgebied en landgebruikstype bij het treffen van maatregelen	88



Tabellen

Tabel 1. Geschatte wateraanvoer uit het IJsselmeer in 2013.....	17
Tabel 2. Oppervlakte en gemiddelde wegzijging per subgebied. Het eerste cijfer van de subgebiedcode geeft de wegzijgingsklasse aan (1 = kwel, 2 = wegzijging)	20
Tabel 3. Landgebruikstypes voor waterverdelingspilot	21
Tabel 4. Dichtstbijzijnde KNMI weerstation per subgebied.....	25
Tabel 5. Jaarlijkse onttrekking, lozing en consumptiefractie per industriële onttrekking	27
Tabel 6. Wateropslagcapaciteit boezemsysteem.....	28
Tabel 7. Aanvoermeetpunten gebruikt voor kalibratie.....	32
Tabel 8. Gewenste bandbreedte van de belangrijkste waterbalanstermen.....	34
Tabel 9. Beginwaarde, mogelijke waarden en waarden van de WEAP-parameters na kalibratie, zoals deze in WEAP zijn verdeeld in de klassen "Land Use" en "Irrigation"	35
Tabel 10. Bias van de gesimuleerde aanvoer bij de meetpunten.....	37
Tabel 11. Aanvoermeetpunten en corresponderende LHM tak	38
Tabel 12. R ² van de maandelijks gemiddelde gesimuleerde afvoer bij de meetpunten en voor enkele deel-/subgebieden.	42
Tabel 13. Watertekorten in mm per landgebruikstype voor het gehele gebied bij verschillende scenario's.	47
Tabel 14. Gewasopbrengst per landgebruik	52
Tabel 15. Actoren in relatie tot beslisniveau, ruimtelijke en tijdfactoren op het gebied van waterverdeling	57
Tabel 16. De geschiktheid om WEAP in te zetten ter ondersteuning van waterverdelingsbeslissingen voor relevante actoren in relatie tot beslisniveau, ruimtelijke- en tijdfactoren.....	57

Figuren

Figuur 1. De landelijke verdringingsreeks (LCW, 2013).....	9
Figuur 2. Schematisch overzicht van de aan- en afvoerroutes naar de deelgebieden.....	12
Figuur 3. Overzicht van alle elementen in de WEAP-schematisatie.....	13
Figuur 4. Overzicht van de parameters die een gebiedselement definiëren en de vergelijkingen waarmee de fysische processen worden berekend. De parameters z1 en z2 geven het bodemvochtgehalte relatief aan de totale effectieve capaciteit van respectievelijk de wortelzone en de diepere bodemlaag.....	14
Figuur 5. Deelgebieden Hunze en Aa's.	18
Figuur 6. Kwel (negatief) en wegzijging (positief) per deelgebied in mm/d. Bron: MIPWA2.0....	19
Figuur 7. Opdeling van deelgebieden in subgebieden, op basis van kwel en wegzijging.	20
Figuur 8. Landgebruik in het gebied van Hunze en Aa's.	22
Figuur 9. Beregende gebieden. Roze = beregend volgens potentiële beregeningskaart 2012. Geel = beregende akkerbouw, groen = beregend grasland, blauw & groenblauw = beregende kapitaalintensieve teelten volgens inventarisatie Hunze en Aa's in 2015.....	24
Figuur 10. Locatie KNMI weerstations en dichtstbijzijnde weerstation per subgebied.	25
Figuur 11. Gewasfactoren.	26
Figuur 12. Wateraanvoerroutes en belangrijkste kunstwerken voor de wateraanvoer.....	28



Figuur 13. Verwijzing naar Key Assumption Maatregelen\Aanvoer LR.	30
Figuur 14. Implementatie van maatregel 1 in WEAP.	30
Figuur 15. Iteratieve stappen van de kalibratie en validatie.	32
Figuur 16. Kalibratie-eenheden.	33
Figuur 17. Waterbalanstermen voor elk subgebied na de eerste kalibratiestap. De rode en de groene lijn geven de bandbreedte aan waartussen de waterbalanstermen zich na de volledige kalibratie zouden moeten bevinden. Elke blauwe staaf representeert een subgebied. Irrigatie is gemiddeld over de beregende gebiedselementen. "Afvoer naar grondwater" komt overeen met de Percolation term in Figuur 4. Onder "oppervlakkige afvoer" vallen de runoff en interflow termen uit Figuur 4.	34
Figuur 18. Waterbalanstermen voor elk subgebied (blauwe staven) na kalibratie. De rode en de groene lijn geven de bandbreedte aan waartussen de waterbalanstermen zich na kalibratie zouden moeten bevinden. Bij de afvoer naar grondwater zijn de blauwe staven wegzijgings- en de oranje staven kwelgebieden. De oranje staven geven aan dat er, ondanks de kwel, voor momenten in het jaar toch aanvoerbehoefte is – al is die op jaarbasis veel lager dan in de wegzijgingsgebieden.	36
Figuur 19. Gemeten en gesimuleerde maandelijkse cumulatieve waterinlaat – Totaal van inlaat bij Dorkwerd en de Hoogeveensche Vaart.	37
Figuur 20. R ² van de maandelijks gemiddelde gesimuleerde aanvoer bij de meetpunten (R ² van boven naar beneden: Dorkwerd, Veendam, Vennix, Hoogeveensche Vaart, TAK).	37
Figuur 21. Jaarlijks gemiddelde gemeten en gesimuleerde wateraanvoer voor 2012.	38
Figuur 22. Gemeten en gesimuleerde maandelijkse wateraanvoer bij gemaal Dorkwerd.	39
Figuur 23. Gemeten en gesimuleerde maandelijkse wateraanvoer bij gemaal Veendam.	40
Figuur 24. Gemeten en gesimuleerde maandelijkse wateraanvoer bij gemaal Vennix.	40
Figuur 25. Gemeten en gesimuleerde maandelijkse wateraanvoer bij gemaal TAK.	40
Figuur 26. Gemiddelde maandelijkse waterafvoer voor gebied Aanvoer uit zuiden.	41
Figuur 27. Gemiddelde maandelijkse waterafvoer voor gebied Oldambt.	42
Figuur 28. Totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte (licht) en daadwerkelijke wateraanvoer (donker) in mm in deelgebieden Hunze en Aa's voor de huidige situatie in 2013.	43
Figuur 29. Totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte (licht) en daadwerkelijke wateraanvoer (donker) in Mm ³ in deelgebieden Hunze en Aa's voor de huidige situatie in 2013.	44
Figuur 30. Totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte (licht) en daadwerkelijke wateraanvoer (donker) in mm in deelgebieden Hunze en Aa's voor de huidige situatie (blauw) en scenario's 10% droog (rood) en 20% droog (groen) in 2013.	44
Figuur 31. Totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte (licht) en daadwerkelijke wateraanvoer (donker) in Mm ³ in deelgebieden Hunze en Aa's voor de huidige situatie (blauw) en scenario's 10% droog (rood) en 20% droog (groen) in 2013.	45
Figuur 32. Totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte (licht) en daadwerkelijke wateraanvoer (donker) in Mm ³ voor industrie en overige gebieden in de huidige situatie (blauw) en scenario's 10% droog (groen) en 20% droog (rood) in 2013.	45
Figuur 33. Maandelijkse cumulatieve waterinlaat via Dorkwerd (ononderbroken lijnen) en Hoogeveensche Vaart (stippellijnen) in Mm ³ voor de huidige situatie (blauw) en scenario's 10% droog (rood) en 20% droog (groen) in de zomermaanden van 2013.	46
Figuur 34. Jaarlijkse watertekorten in mm in deelgebieden Hunze en Aa's voor de huidige situatie (blauw) en scenario's 10% droog (rood) en 20% droog (groen) in 2013.	46
Figuur 35. Wateraanvoer bij Dorkwerd in juli 2013 – gemeten (gauge) en door WEAP gesimuleerd (headflow). In totaal is volgens de metingen 19.7 MCM aangevoerd en volgens het model 17.7 MCM.	48



Figuur 36. Wateraanvoer bij Dorkwerd in juni 2013 – gemeten (gauge) en door WEAP gesimuleerd (headflow). In totaal is volgens de metingen 12 MCM aangevoerd en volgens het model 15.8 MCM.	48
Figuur 37. Dagelijkse waterbalans voor het gebied Aanvoer Zuiden.....	49
Figuur 38. Dagelijkse hydrologische processen (bronnen van inflow en typen outflow) voor het gebied Aanvoer Zuiden.	49
Figuur 39. Maandelijkse wateraanvoer te Dorkwerd als gevolg van het treffen van de verschillende maatregelen.	50
Figuur 40. Maandelijkse totale cumulatieve waterinlaat als gevolg van het treffen van de verschillende maatregelen.	50
Figuur 41. Jaarlijkse wateraanvoerbehoefte en wateraanvoer in mm als gevolg van het treffen van de verschillende maatregelen.....	51
Figuur 42. Jaarlijkse wateraanvoerbehoefte en wateraanvoer in Mm ³ als gevolg van het treffen van de verschillende maatregelen.....	51
Figuur 43. Jaarlijkse watertekort per type landgebruik als gevolg van het treffen van de verschillende maatregelen.	52
Figuur 44. Totale schade per landgebruikstype.	53
Figuur 45. Schade per landgebruikstype per hectare.	53
Figuur 46. Aantal internetpagina's waar het WEAP-model beschreven is (boven) en artikelen en rapporten gevonden op Google Scholar (onder).....	59



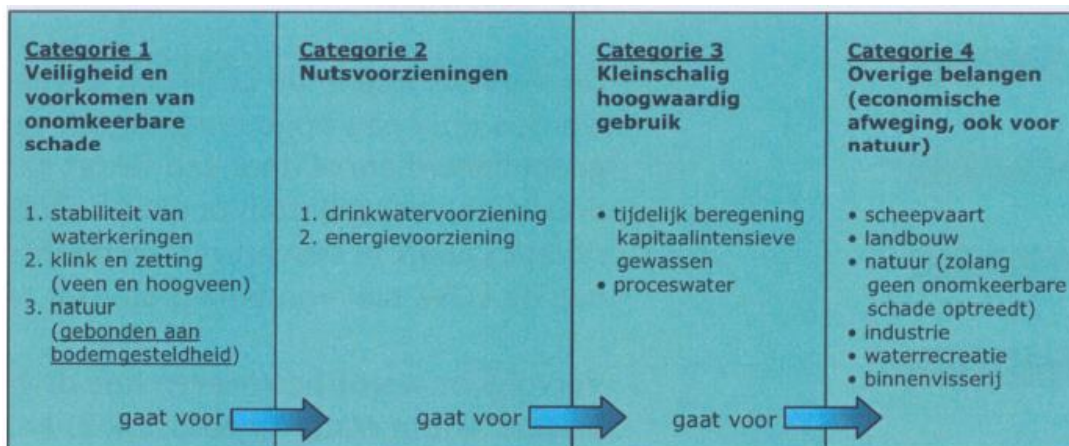
1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Tijdens droge zomerperiodes wordt er in de provincies rondom het IJsselmeer water aangevoerd, onder andere voor het op peil houden van de watergangen en beregening ten behoeve van de landbouw. In de meeste zomers is de buffercapaciteit van het IJsselmeer voldoende om aan alle watervragen te voldoen, maar in extreem droge zomers kan het voorkomen dat zelfs het IJsselmeer niet kan voldoen aan de watervraag. Zulke extreem droge zomers zullen naar verwachting steeds vaker voorkomen als gevolg van klimaatverandering.

Tijdens periodes van waterschaarste is een optimale verdeling van zoetwater van groot belang. Om te komen tot een optimale verdeling van zoetwater moeten eerst de watervragen van de regio's rondom het IJsselmeer inzichtelijk gemaakt worden. Deze watervragen kunnen verschillen door ruimtelijke verschillen in neerslagtekort, maar ook door verschillen in gebruiksfuncties (peilhandhaving voor behoud van de stabiliteit van waterkeringen, beregening van kapitaalintensieve teelten, proceswater voor de industrie, etc.).

Wanneer de watervraag van de verschillende regio's in beeld is gebracht en het wateraanbod bekend is, kunnen ook de watertekorten berekend worden. Watertekorten kunnen evenredig over de regio's en functies worden verdeeld, maar omdat bepaalde functies waardevoller zijn dan andere is er in 2009 een landelijke prioritering opgesteld. Deze prioritering wordt de 'verdringingsreeks' genoemd. Het uitgangspunt van de verdringingsreeks is dat de economische en maatschappelijke schade van het watertekort geminimaliseerd wordt.



Figuur 1. De landelijke verdringingsreeks (LCW, 2013).

Binnen de categorieën 3 en 4 van de landelijke verdringingsreeks is er ruimte voor regionale prioritering. Bij uitwerking van de regionale prioritering voor Noord-Nederland (Appendix 12) is de inschatting van de economische en maatschappelijke schade gemaakt op basis van de beschikbare kennis en deskundigheid van de werkgroep¹. Er is echter behoefte om deze inschatting te kunnen kwantificeren, zowel om de juiste keuze voor de waterverdeling te kunnen maken als wel om de prioritering uit te kunnen leggen aan de belanghebbenden. Ook is er de behoefte om de gevolgen van andere prioriteringen in beeld te kunnen brengen.

¹ Werkgroep Regionale Uitwerking Verdringingsreeks Noord-Nederland.

Essentieel voor het optimaliseren van de waterverdeling en het kwantitatief maken van schade ten gevolge van watertekorten, is een nauwkeurige bepaling van de watervraag en de variatie daarvan in tijd en ruimte. Er is behoefte aan een demonstratie van een modelinstrumentarium waarmee dit kan worden gerealiseerd, voor één van de waterschappen in het IJsselmeergebied.

Om deze reden heeft Rijkswaterstaat FutureWater opdracht gegeven om een pilot uit te voeren voor waterschap Hunze en Aa's. In deze pilot is een modelinstrumentarium opgezet, toegepast en getest voor het berekenen van de watervraag en het doorrekenen van een aantal scenario's en maatregelen met betrekking tot waterverdeling tussen verschillende gebruikerstypen en deelgebieden. De watervraag en watertekorten onder verschillende waterverdelingen zijn in beeld gebracht voor de droge zomer van 2013. Om te onderzoeken hoe het water optimaal toebedeeld kan worden aan de gebruiksfuncties, is een eerste inschatting van de economische en maatschappelijke schade gemaakt.

Deze pilot kan in de toekomst worden uitgebreid naar de gehele zoetwaterregio IJsselmeergebied, waarbij de onderlinge verdeling van het wateraanbod tussen de regionale waterbeheerders rondom het IJsselmeer geoptimaliseerd wordt. Het resultaat van de pilot is een bouwsteen om Slim Watermanagement in de praktijk te brengen.

1.2 Doelstelling

De waterschappen hebben geen goed zicht op de watervraag per gebruiksdoel dat wordt onderscheiden in de verdringingsreeks. Een van de hoofddoelen van de pilot is daarom het vaststellen van de watervraag per gebruiksdoel binnen het beheersgebied van Hunze en Aa's. Daarnaast is er behoefte aan een instrumentarium dat in korte tijd een aantal scenario's voor waterverdeling door kan rekenen. Door voor de verschillende waterverdelingsscenario's de economische schade te berekenen, kan inzichtelijk worden gemaakt hoe de optimale waterverdeling tijdens droge zomerperiodes er uitziet. Bij het opzetten van het instrumentarium is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van data uit bestaande en afgesloten projecten (NHI-LHM, MIPWA, waterschapsgegevens, etc.).

De inschatting vooraf is dat het Water Evaluation And Planning (WEAP) model een geschikte tool is om het hierboven beschreven doel te bereiken. Een bijkomend doel van de pilot is om te testen in hoeverre door inzet van WEAP kan worden voorzien in de informatiebehoefte van de noordelijke waterschappen.

1.3 WEAP als waterverdelingsinstrument

WEAP is een waterverdelingsmodel dat in korte tijd inzicht kan geven in de watervraag en waterverdeling in een bepaald gebied. Het waterverdelingsnetwerk wordt op de kaart weergegeven en de inputgegevens en resultaten worden overzichtelijk gepresenteerd in grafieken en tabellen. Daarnaast kunnen op een zeer gebruiksvriendelijke manier verschillende scenario's doorgerekend worden en daarmee de consequenties van keuzes snel in beeld worden gebracht. Bovendien is het mogelijk om per (landgebruiks-)functie inzicht te geven in schade van een watertekort. Meer informatie over WEAP is te vinden op <http://www.weap21.org/>.

WEAP is ontwikkeld om antwoord te geven op o.a. de volgende vragen:

- Waar is er een watervraag?
- Hoe groot is de watervraag?



- Welke watervraag heeft de grootste prioriteit, afgaande op de opbrengsten of waarde die eraan wordt toegekend?
- Hoe werkt het toepassen van de verdringingsreeks in droge situaties uit?
- Als er gekozen wordt voor een bepaalde prioritering: wat zijn dan de kosten (schade) van watervragen die niet beantwoord kunnen worden?



2 Modelopzet

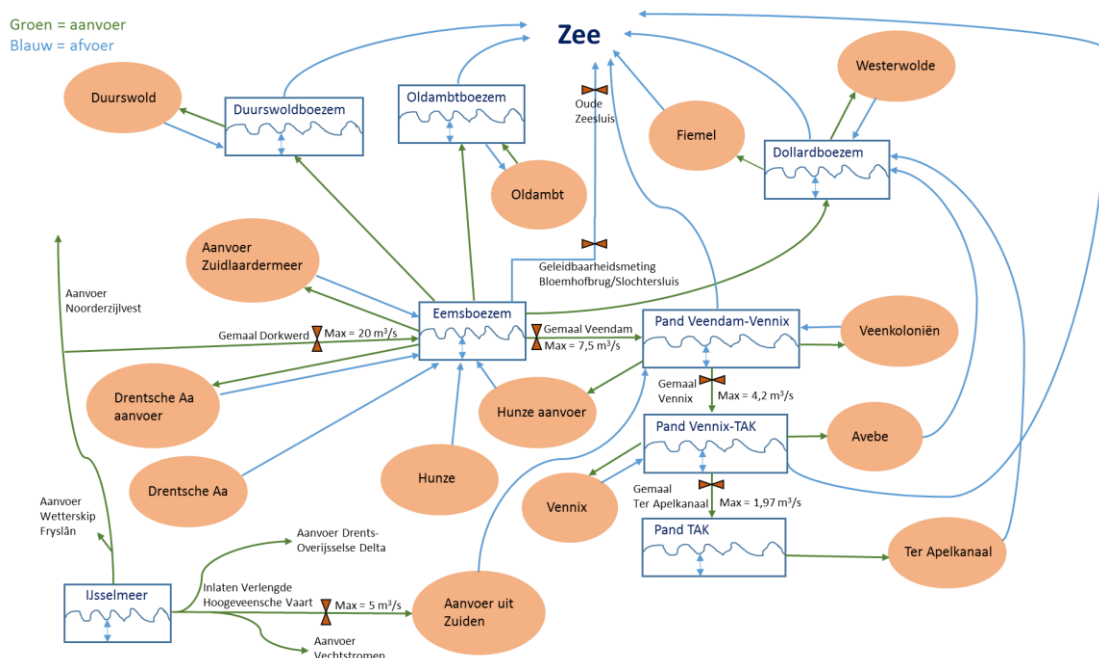
2.1 Schematisatie

2.1.1 Tijdstap en periode

Het WEAP-model is opgezet met een dagelijkse tijdstap voor de jaren 2011 tot en met 2013. Het jaar 2011 is gebruikt als 'opwarmjaar', waarin het model in een evenwichtssituatie kan komen.

2.1.2 Schematisch overzicht

Om de eigenschappen van het beheersgebied van Hunze en Aa's te vertalen naar WEAP, is eerst een schematisch overzicht gemaakt van alle mogelijke aan- en afvoerroutes naar de deelgebieden, en de belangrijkste kunstwerken in het gebied (Figuur 2). In dit schematisch overzicht worden de deelgebieden gerepresenteerd door oranje ellipsen, wateropslag door blauwe rechthoeken, wateraanvoer door groene lijnen, waterafvoer door blauwe lijnen en de afvoermeetpunten (bij de gemalen) door oranje zandloperfiguren. De stroomrichting van het water is met pijlen weergegeven.



Figuur 2. Schematisch overzicht van de aan- en afvoerroutes naar de deelgebieden.

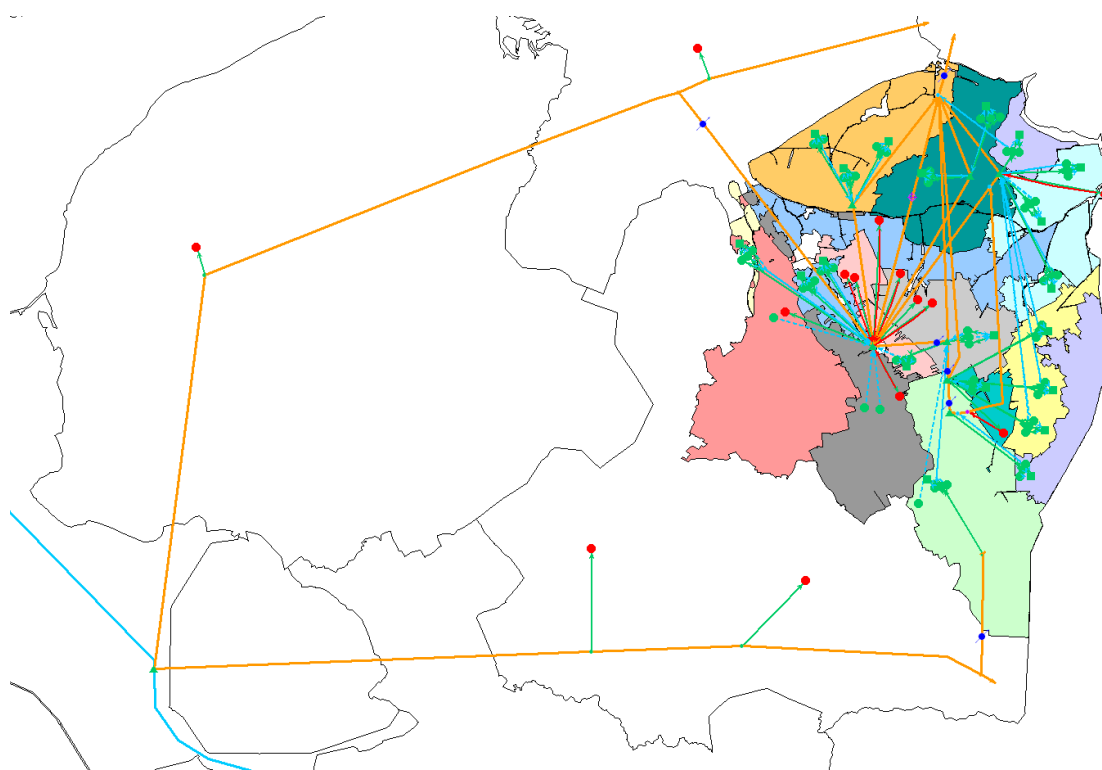
Het schematische overzicht in Figuur 2 heeft gediend als basis voor de schematische opzet in WEAP. WEAP heeft een andere opzet dan de meeste fysisch gebaseerde modellen zoals SIMGRO, LHM, SWAP, SWAT, SPHY, etc. De basis van WEAP zijn de zogenoemde "elementen" ("nodes" in WEAP terminologie). Er zijn verschillende soorten elementen, zoals watervraag-elementen (bijv. landbouw, stad), watertransport-elementen (bijv. rivier, kanaal), wateropslag-elementen (bijv. grondwater, meer). Het sterke van elementen is dat deze zeer eenvoudig kunnen worden gerepresenteerd, maar ook een complexe fysieke beschrijving van processen kunnen bevatten. Een typisch voorbeeld is dat van een watervraag-element. Deze kan gedefinieerd worden als een simpele watervraag (in WEAP terminologie "Demand Site") die door de modelleur wordt opgegeven in m^3 per jaar. Een watervraag-element kan ook een gebied representeren met verschillende landgebruikstypen en bodemsoorten met complete berekening van neerslag-



afvoer-verdamping processen (in WEAP-terminologie "Catchment Node"), waar dan een watervraag uit wordt berekend en de eventuele schade als niet aan de watervraag wordt voldaan.

De volgende elementen zijn in het model gebruikt (Figuur 3) en zijn in de volgende paragrafen nader toegelicht:

- Gebiedselementen (groene cirkels)
- Grondwaterelementen (groene vierkanten)
- Aanvoerlinks (groene lijnen)
- Afvoerlinks (blauw gestreepte lijnen)
- Watervraagelementen (rode cirkels)
- Lozingen (rode lijnen)
- Rivieren (blauwe lijn)
- Kanalen (oranje lijnen)
- Reservoirs (groene driehoeken)
- Debietmeetpunten (blauwe cirkel)
- Minimale debietvraag (roze kruis)



Figuur 3. Overzicht van alle elementen in de WEAP-schematisatie.

In Appendix 3 zijn een aantal uitsneden te zien van de schematisatie in WEAP.

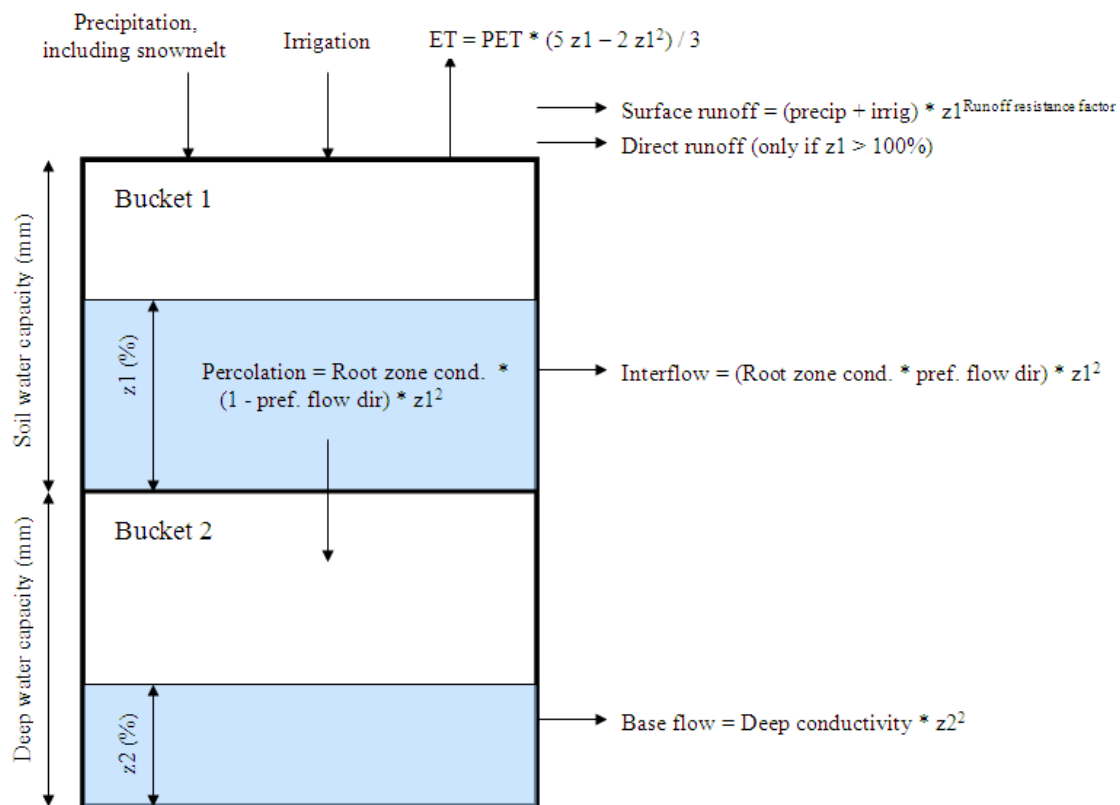
2.1.3 *Gebiedselementen, grondwaterelementen, aanvoerlinks en afvoerlinks*

De gebiedselementen (in WEAP: Catchment Node), representeren de 24 subgebieden. Omdat de subgebieden zijn onderverdeeld in gebieden zonder beregening, gebieden met laag renderende, beregende teelten en kapitaalintensieve, beregende teelten, zijn er in het model in totaal 64 gebiedselementen. Een gebiedselement is een bakjesmodel waar fysische processen, zoals neerslag, verdamping en infiltratie, plaatsvinden en waar afvoer wordt gegenereerd (Figuur 4). Het bovenste bakje representeert de onverzadigde zone en het onderste bakje representeert het grondwater. De onverzadigde zone ontvangt water uit neerslag en irrigatie en verliest water aan verdamping, afvoer (oppervlakkige afstroming of drainage) en infiltratie naar het grondwater.

Het grondwater ontvangt water door infiltratie vanuit de onverzadigde zone en verliest water aan afvoer (baseflow) naar het oppervlaktewater. Er is in de gebruikte WEAP-versie geen capillaire opstijging vanuit het grondwater mogelijk. Wanneer er in een subgebied onttrekkingen uit het grondwater zijn, is het onderste bakje van het corresponderende gebiedselement vervangen door een grondwaterelement (in WEAP: Groundwater Node). De afvoer vanuit de onverzadigde zone naar het grondwaterelement is dan expliciet geschematiseerd met een afvoerlink (in WEAP: Runoff/Infiltration link) en de aanvoer vanuit het grondwater naar de onverzadigde zone is expliciet geschematiseerd met een aanvoerlink (in WEAP: Transmission link).

Voor het parametriseren van een gebiedselement is de volgende inputdata nodig:

- Landgebruik:
 - Oppervlakte per landgebruikstype
 - Curve van de gewasfactor (Kc) voor alle aanwezige landgebruikstypes
 - Bodemeigenschappen zoals de bodemvochtcapaciteit en de doorlatendheid
- Klimaat:
 - Neerslag
 - Temperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid, bewolgingsgraad en breedtegraad
- Irrigatie:
 - Periode waarin er geïrrigeerd kan worden
 - Onderste en bovenste drempelwaarde voor het bodemvochtgehalte



Figuur 4. Overzicht van de parameters die een gebiedselement definiëren en de vergelijkingen waarmee de fysische processen worden berekend. De parameters $z1$ en $z2$ geven het bodemvochtgehalte relatief aan de totale effectieve capaciteit van respectievelijk de wortelzone en de diepere bodemlaag.

Aan de hand van de ingevoerde bodemparameters berekent WEAP hoeveel afvoer er per tijdseenheid in een gebiedselement wordt gegenereerd (zie de vergelijkingen voor surface runoff,



interflow en baseflow in Figuur 4). De gegenereerde afvoer stroomt via een afvoerlink naar het oppervlaktewater (rivieren, kanalen of reservoirs).

In de beregende subgebieden kan er van april tot en met september irrigatie plaatsvinden. De watervraag voor irrigatie is afhankelijk van de hoeveelheid bodemvocht. Wanneer het bodemvocht in een gebiedselement onder de onderste drempelwaarde (WEAP: Lower Threshold) komt, wordt het aangevuld tot de bovenste drempelwaarde (WEAP: Upper Threshold). Hierdoor ontstaat een watervraag die voldaan kan worden door irrigatie uit het oppervlaktewater of uit het grondwater. De aanvoer vanuit het oppervlaktewater of grondwater vindt plaats via een aanvoerlink.

In deze pilot is de irrigatiefunctie in WEAP ook gebruikt voor het berekenen van de infiltratie in de subgebieden zonder berekening. Hierbij is de aanname dat ook in deze gebieden het bodemvocht op een bepaald niveau wordt gehouden, maar dan via infiltratie uit het oppervlaktewater in plaats van via berekening. De berekende watervraag voor infiltratie is de watervraag voor peilhandhaving. Een beperking van de gebruikte aanpak is het niet meenemen van oppervlaktewater-grondwater interacties.

De Lower en Upper Thresholds kunnen gezien worden als conceptualisatie van menselijke ingrepen in het systeem, door middel van irrigatie of peilaanpassingen. Ze stellen de momenten voor waarop besloten wordt een hoeveelheid water aan het systeem toe te voegen, en zijn derhalve niet 1 op 1 te vergelijken met een bodemfysische parameter.

2.1.4 *Watervraagelementen en lozingen*

De watervragen van Waterschap Vechtstromen, Waterschap Drents Overijsselse Delta, Wetterskip Fryslân en Waterschap Noorderzijlvest zijn versimpeld geschematiseerd. Ze zijn dus niet geschematiseerd als gebiedselement, maar als watervraagelement (WEAP: Demand Site) met een watergebruik in m³ per jaar (Tabel 1).

Ook de industriële onttrekkingen zijn in het model geschematiseerd met een watervraagelement met een watergebruik in m³ per jaar (Tabel 5 en Appendix 6). Water wordt vanuit het oppervlaktewater aangevoerd door een aanvoerlink. De meeste industrieën lozen na gebruik weer een groot deel van het water. Met behulp van de totale watervraag en de consumptiefractie (Tabel 5) berekent WEAP hoeveel water er geloosd wordt. De lozing vindt plaats op het oppervlaktewater en is geschematiseerd met een retourlink (WEAP: Return Flow link). Aangezien alleen cijfers voor industrie beschikbaar waren zijn RWZI's hier niet in meegenomen.

2.1.5 *Rivieren, kanalen en reservoirs*

De IJssel is geschematiseerd als rivier (in WEAP: River) met een opgegeven debiet. De belangrijkste watergangen zijn geschematiseerd als kanalen (in WEAP: Diversion). De kanalen functioneren in WEAP als transportsysteem, waarin alleen stroming en geen wateropslag plaatsvindt. De oppervlaktewateren waar wateropslag plaatsvindt (zie paragraaf 2.1 en 2.8.2), zijn in WEAP daarom gerepresenteerd door reservoirs (in WEAP: Reservoir) met een bepaalde opslagcapaciteit (zie paragraaf 2.1 en 2.8.2). Wanneer de capaciteit van een reservoir bereikt is, wordt al het aangevoerde water direct weer afgevoerd via de kanalen die de verbinding tussen de reservoirs vormen.

Kunstwerken, zoals gemalen, inlaten en stuwen worden niet expliciet gemodelleerd in WEAP. De maximale capaciteit van de gemalen is daarom gerepresenteerd door een maximum debiet op te geven aan de kanalen waar de gemalen in liggen. De volgende 10 kanalen zijn in WEAP geschematiseerd:



- Aanvoer Friesland Groningen: dit kanaal representeert de wateraanvoer door Friesland en Groningen naar Dorkwerd.
- Dorkwerd naar Eemsboezem: dit kanaal representeert de inlaat van water naar de Eemsboezem bij gemaal Dorkwerd en de afvoer vanaf de Eemsboezem naar zee.
- Eemsboezem naar Duurswold: dit kanaal representeert de wateraanvoer van de Eemsboezem naar de Duurswoldboezem en de afvoer vanuit de Duurswoldboezem naar zee.
- Eemsboezem naar Oldambtboezem: dit kanaal representeert de wateraanvoer van de Eemsboezem naar de Oldambtboezem en de afvoer vanuit de Oldambtboezem naar zee.
- Eemsboezem naar Dollardboezem: dit kanaal representeert de wateraanvoer van de Eemsboezem naar de Dollardboezem en de afvoer vanuit de Dollardboezem naar zee.
- Eemsboezem Veendam: dit kanaal representeert de wateraanvoer van de Eemsboezem naar pand Veendam-Vennix en de afvoer vanuit pand Veendam-Vennix naar zee. De maximale aanvoer van dit kanaal is 7,5 m³/s.
- Veendam Vennix: dit kanaal representeert de wateraanvoer van pand Veendam-Vennix naar pand Vennix-TAK en de afvoer vanuit pand Vennix-TAK naar zee. De maximale aanvoer van dit kanaal is 4,2 m³/s.
- Vennix TAK: dit kanaal representeert de wateraanvoer van pand Vennix-TAK naar pand TAK en de afvoer vanuit pand TAK naar zee. De maximale aanvoer van dit kanaal is 1,97 m³/s.
- Aanvoer IJsselmeer via zuiden: dit kanaal representeert de wateraanvoer door Overijssel en Drenthe naar de Hoogeveense Vaart.
- Hoogeveense Vaart: dit kanaal representeert de inlaat van water vanuit de Hoogeveense Vaart naar gebied 'Aanvoer uit zuiden'.

Tussen de Eemsboezem en pand TAK heeft een vereenvoudiging van de afvoer plaatsgevonden. In werkelijkheid kan water dat is opgeslagen in pand TAK, pand Vennix-TAK en pand Veendam-Vennix namelijk tijdens natte periodes terugstromen naar de Eemsboezem. In deze schematische opzet gaat overtollig water, dat niet meer kan worden opgeslagen in de panden omdat de maximale capaciteit is bereikt, rechtstreeks naar zee. Deze vereenvoudiging is nodig om het opleggen van een maximale aanvoer tussen de panden mogelijk te maken. Omdat in deze pilot de focus ligt op droge periodes met weinig afvoer, kan deze vereenvoudiging gemaakt worden zonder het resultaat sterk te beïnvloeden.

2.1.6 *Debietmeetpunten en minimale debietvraag*

Op zes verschillende punten binnen het gebied van Hunze en Aa's zijn debietmeetpunten (in WEAP: Streamflow Gauge) geschematiseerd. Vier van deze punten liggen in de kanalen ter hoogte van de gemalen bij Dorkwerd, Veendam, Vennix en Ter Apelkanaal. Hier wordt door Hunze en Aa's de aanvoer gemeten. Daarnaast representeert één debietmeetpunt de totale aanvoer van de 4 inlaten (Purit, Zuidervaart, Oosterdiep en Barrièreweg) die water uit de Hoogeveense Vaart inlaten en is er één debietmeetpunt dat de totale afvoer van Hunze en Aa's naar zee representeert. Deze debietmeetpunten zijn in de kalibratie gebruikt (hoofdstuk 3).

De doorspoeling van het Eemskanaal is geschematiseerd met een minimale debietvraag (in WEAP: Flow Requirement). Bij de minimale debietvragen moet er minimaal het opgegeven debiet door dat punt in het kanaal stromen. Dit kan een constante hoeveelheid zijn, maar kan ook per dag worden opgegeven. De minimale debietvraag voor doorspoeling van het Eemskanaal is tijdens de zomerperiode elke dinsdag en vrijdag 0,5 miljoen m³. Alleen tijdens droge periodes, wanneer de gebiedselementen niet genoeg afvoer genereren, levert dit een extra watervraag op.



2.1.7 Prioriteiten en aanvoervoorkeuren

In WEAP kan aan elk element waar een watervraag voor kan komen een prioriteit (WEAP: Demand Priority) tussen 1 en 99 opgegeven worden. De standaardprioriteit voor alle elementen is 1 (hoe hoger het getal, hoe lager de prioriteit). Wanneer er ook elementen zijn met prioriteit 2, gaat bij een wateraanvoertekort eerst al het water naar elementen met prioriteit 1 en pas als er dan nog water overblijft, gaat er ook water naar elementen met prioriteit 2. In het model van Hunze en Aa's hebben alle gebruiksfuncties prioriteit 1.

Wanneer een element zijn watervraag uit verschillende bronnen kan voldoen, kan er per bron een aanvoervoorkeur (in WEAP: Supply Preference) opgegeven worden. Deze aanvoervoorkeur wordt opgegeven aan de aanvoerlink vanaf de betreffende bron en is standaard 1. In het model heeft de aanvoer uit oppervlaktewater altijd aanvoervoorkeur 1 aanvoer uit grondwater aanvoervoorkeur 2. Dit betekent dat er is aangenomen dat er pas met grondwater berekend wordt wanneer er onvoldoende oppervlaktewater aangevoerd kan worden. Daarnaast is er een maximum grondwateronttrekking van 1 mm per dag opgegeven.

2.2 Rijnstroomgebied Noord

Met WEAP kan op verschillende niveaus gemodelleerd worden. Dit betekent dat de pilot opgeschaald kan worden van een gedetailleerde modellering van het gebied van Hunze en Aa's naar een globalere modellering van het volledige Rijnstroomgebied Noord. Om dit te illustreren is het gehele IJsselmeergebied in het model geografisch getoond en zijn naast het gebied van Hunze en Aa's ook de IJssel, het IJsselmeer en de watervragen van Waterschap Vechtstromen, Waterschap Drents Overijsselse Delta, Wetterskip Fryslân en Waterschap Noorderzijlvest meegenomen.

Voor de afvoer van de IJssel is een gemiddelde jaarlijkse afvoer van 360 m³/s aangenomen. De IJssel watert af op het IJsselmeer, dat naar schatting een wateropslagcapaciteit van 9660 miljoen m³ heeft. Voor de gemiddelde jaarlijkse aanvoer uit het IJsselmeer naar Wetterskip Fryslân, Waterschap Noorderzijlvest en Waterschap Hunze en Aa's zijn metingen van Wetterskip Fryslân en Hunze en Aa's gebruikt. De wateraanvoer van Waterschap Vechtstromen en Waterschap Drents Overijsselse Delta zijn ingeschat door de gemiddelde wateraanvoer per hectare van de andere waterschappen te extrapoleren naar deze waterschappen. Voor 2013 geeft dit de volgende wateraanvoer per waterschap (Tabel 1):

Tabel 1. Geschatte wateraanvoer uit het IJsselmeer in 2013

Waterschap	Totale aanvoer (Mm ³)	Oppervlakte (ha)	Gemiddelde watervraag (m ³ /ha)
Fryslân	131	329,000	398
Hunze en Aa's	55	207,000	266
Noorderzijlvest	20	144,000	139
Drents Overijsselse Delta	68	255,500	268
Vechtstromen	60	225,000	268

De aantekening dient te worden gemaakt dat de focus in deze pilot sterk ligt op het waterschap Hunze en Aa's. De resultaten voor dit gebied zijn in dit rapport in detail besproken. Voor de overige waterschappen is een eerste, voorzichtige inschatting van de gemiddelde watervraag gemaakt (Tabel 1), welke dient ter demonstratie van opschaling in de toekomst.

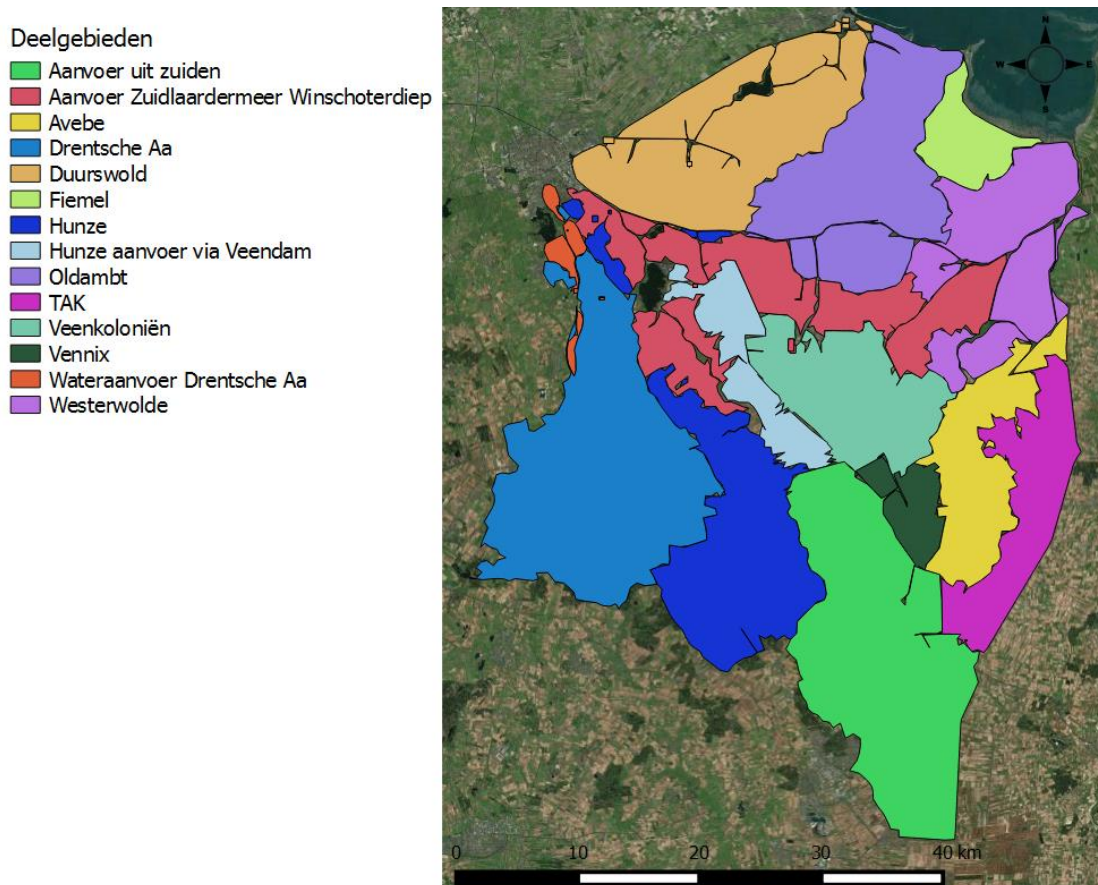


2.3 Deelgebieden en subgebieden

Het gebied van Hunze en Aa's bestaat uit tien deelgebieden met wateraanvoer vanuit het IJsselmeer, één deelgebied met wateraanvoer vanuit de Drentse Aa en één deelgebied met wateraanvoer uit het zuiden (Figuur 5). Daarnaast zijn er twee deelgebieden zonder wateraanvoer (Drentse Aa en het grootse gedeelte van Hunze).

In de volgende gebieden wordt water vanuit het IJsselmeer aangevoerd (Figuur 5):

- Aanvoer uit Zuidlaardermeer en Winschoterdiep
- Avebe
- Duurswold
- Fiemel
- Hunze via Veendam
- Oldambt
- Ter Apelkanaal (TAK)
- Veenkoloniën
- Vennix
- Westerwolde



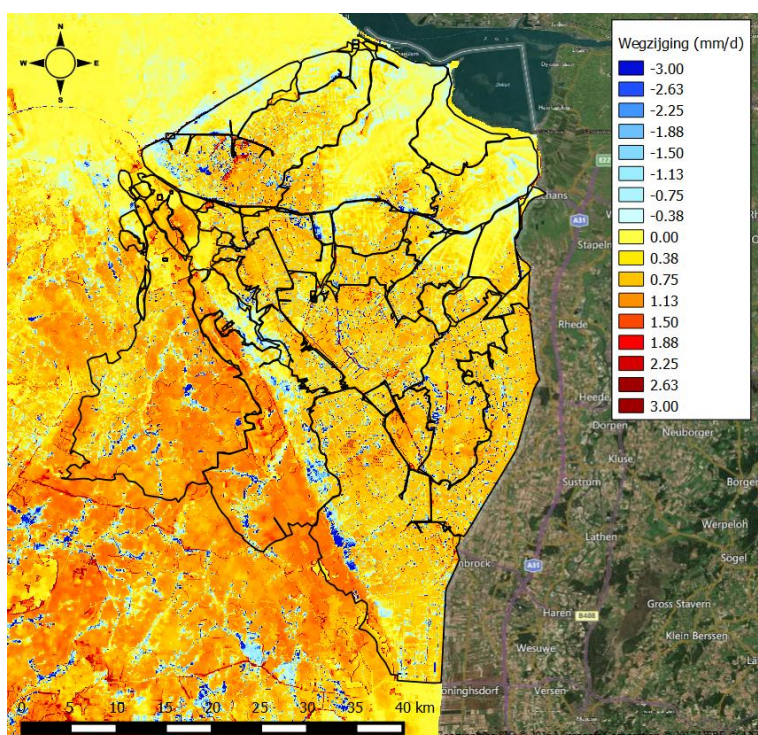
Figuur 5. Deelgebieden Hunze en Aa's.

De belangrijkste boezemwateren zijn door Hunze en Aa's als apart 'deelgebied' gedefinieerd (zie de niet ingekleurde delen van Figuur 5). De boezem heeft de functie om water te transporteren, maar ook om water op te slaan. Op die manier functioneert de boezem als een reservoir met een bepaalde capaciteit. Dit staat in meer detail beschreven in paragraaf 2.8.5.



De hoeveelheid kwel en wegzijging kan binnen een deelgebied sterk verschillen (Figuur 6). Bij het berekenen van de gemiddelde kwel per deelgebied kan het voorkomen dat het gemiddelde nul is, terwijl in het ene gedeelte van het gebied wegzijging plaatsvindt en in het andere gedeelte juist kwel. In een droge situatie zou het daardoor kunnen lijken alsof er in het deelgebied geen watertekort en dus geen wateraanvoer nodig is, terwijl dit wel zo is voor het gebied met wegzijging. Om dit te voorkomen, zijn de deelgebieden verder opgedeeld in 'subgebieden'. Per subgebied is in de modelsimulaties een constante dagelijks gemiddelde kwel/wegzijging toegevoegd aan het water in de bodem.

Om te komen tot een indeling in subgebieden op basis van kwel en wegzijging is voor elk peilvak¹ de gemiddelde dagelijkse wegzijging berekend (gebaseerd op MIPWA2.0). De deelgebieden zijn vervolgens in twee subgebieden opgedeeld, waarbij de peilvakken met kwel het ene subgebied vormen en de peilvakken met wegzijging het andere subgebied. Deelgebieden waarvan het oppervlak van alle peilvakken met kwel kleiner is dan 10% van het totaal, zijn niet opgedeeld. Deze werkwijze heeft geleid tot een opdeling in 21 subgebieden. De subgebieden bestaan hierbij niet uit geografisch aaneengesloten eenheden, maar uit losse peilvakken met kwel of wegzijging die vaak verspreid liggen over het deelgebied. Om tot een geografisch logische verdeling te komen zijn enkele peilvakken met kwel ingedeeld bij het gebied met wegzijging en zijn enkele peilvakken met wegzijging ingedeeld in het gebied met kwel. Daarnaast zijn enkele gebieden met wegzijging verder opgedeeld in een gedeelte met een lage wegzijging en een gedeelte met een hoge wegzijging. Voor het gebied van de Hunze waar alleen afvoer plaatsvindt, zijn de kwel- en infiltratiegebieden niet opgedeeld in geografisch logische eenheden, omdat de opdeling alleen van belang is voor de juiste berekening van de afvoer in WEAP en niet voor de waterverdeling. De uiteindelijke indeling in subgebieden is te vinden in Figuur 7 en Tabel 2.

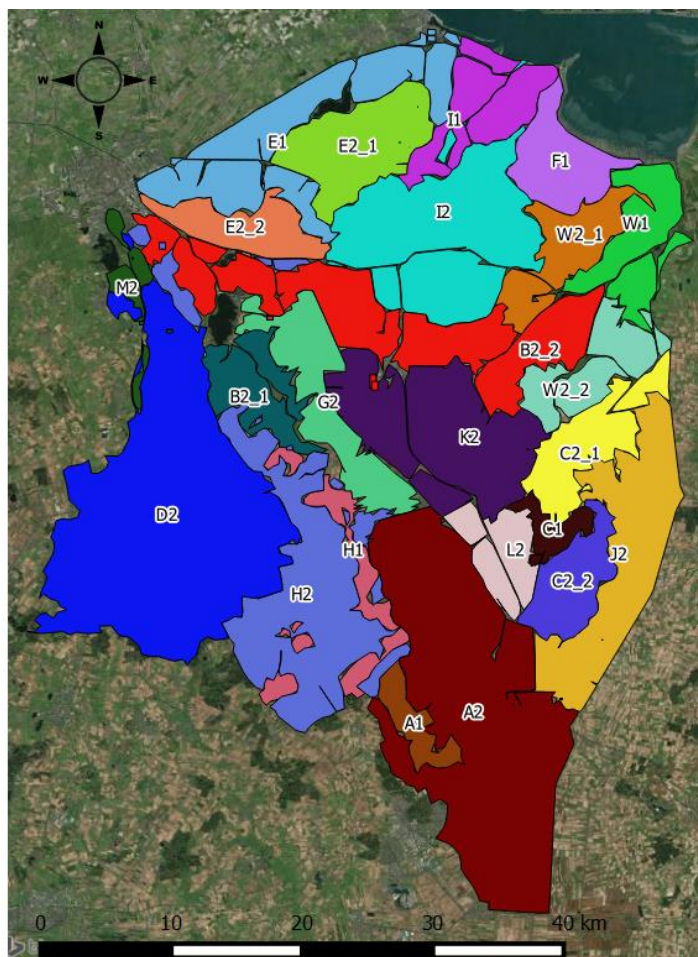


Figuur 6. Kwel (negatief) en wegzijging (positief) per deelgebied in mm/d. Bron: MIPWA2.0.

¹ Een peilvak is de kleinste gebiedseenheid waarvoor het waterpeil geregeld kan worden met behulp van stuwen en gemalen. Het waterpeil is binnen één peilvak dus overal gelijk.

Subgebieden

- A1 Aanvoer_uit_zuiden
- A2 Aanvoer_uit_zuiden
- B1 Aanvoer_uit_Zuidlaardermeer
- B2 Aanvoer_uit_Zuidlaardermeer
- C1 Avebe
- C2_1 Avebe
- C2_2 Avebe
- D2 Drentsche_Aa
- E1 Duurswold
- E2_1 Duurswold
- E2_2 Duurswold
- F1 Fiemel
- G2 Hunze_aanvoer_via_Veendam
- H1 Hunze
- H2 Hunze
- I1 Oldambt
- I2 Oldambt
- J2 TAK
- K2 Veenkoloniën
- L2 Vennix
- M2 Wateraanvoer_Drentsche_Aa
- W1 Westerwolde
- W2_1 Westerwolde
- W2_2 Westerwolde



Figuur 7. Opdeling van deelgebieden in subgebieden, op basis van kwel en wegzijging.

Tabel 2. Oppervlakte en gemiddelde wegzijging per subgebied. Het eerste cijfer van de subgebiedcode geeft de wegzijgingsklasse aan (1 = kwel, 2 = wegzijging)

Subgebied	Oppervlakte (ha)	Gemiddelde wegzijging ¹ (mm/d)
A1 Aanvoer_uit_zuiden ²	1.908	-0.60
A2 Aanvoer_uit_zuiden	26.738	0.45
B2_1 Aanvoer_uit_Zuidlaardermeer	4.218	0.20
B2_2 Aanvoer_uit_Zuidlaardermeer	14.034	0.37
C1 Avebe	1.392	-0.24
C2_1 Avebe	5.125	0.35
C2_2 Avebe	4.006	0.57
D2 Drentsche_Aa_zonder_aanvoer	29.146	0.66
E1 Duurswold	10.437	-0.18
E2_1 Duurswold	6.690	0.24
E2_2 Duurswold	3.886	0.34
F1 Fiemel	4.445	0.00
G2 Hunze_aanvoer_via_Veendam	6.474	0.43
H1 Hunze_zonder_aanvoer	3.807	-0.35
H2 Hunze_zonder_aanvoer	15.460	0.73
I1 Oldambt	5.302	-0.10

¹ Negatieve wegzijging = kwel

² In dit subgebied vindt geen wateraanvoer plaats (mondelijke communicatie, Hunze en Aa's).



I2 Oldambt	14.682	0.14
J2 TAK	10.617	0.41
K2 Veenkoloniën	12.386	0.39
L2 Vennix	3.467	0.56
M2 Wateraanvoer_Drentsche_Aa	1.458	0.37
W1 Westerwolde	5.071	-0.03
W2_1 Westerwolde	4.797	0.17
W2_2 Westerwolde	4.794	0.31
Totaal	200,494	-

2.4 Landgebruik

Aan de hand van de landgebruikkaart LGN7¹ (Figuur 8) zijn voor deze pilot de volgende zeven landgebruikstypes onderscheiden (Tabel 3):

Tabel 3. Landgebruikstypes voor waterverdelingspilot

Landgebruik	LGN7 klasse
Bos	11 – loofbos, 12 – naaldbos, 20 – bos in primair bebouwd gebied, 22 – bos in secundair bebouwd gebied, 40 – bos in hoogveengebied, 43 – bos in moerasgebied
Bebouwd	18 – bebouwing in primair bebouwd gebied, 19 – bebouwing in secundair bebouwd gebied, 24 – kale grond in bebouwd gebied, 25 – hoofdwegen en spoorwegen, 26 – bebouwing in het buitengebied
Grasland	1 – agrarisch gras, 23 – gras in primair bebouwd gebied, 28 – gras in secundair bebouwd gebied
Akkerland	2 – mais, 3 – aardappelen, 4 – bieten, 5 – granen
Open water	16 – zoet water, 17 – zout water
Struikgewas/heide	30 – kwelders, 31 – open zand in kustgebied, 32 – duinen met lage vegetatie, 33 – duinen met hoge vegetatie, 34 – duinheide, 35 – open stuifzand en/of rivierzand, 36 – heide, 37 – matig vergraste heide, 38 – sterk vergraste heide, 39 – hoogveen, 41 – overige moerasvegetatie, 42 – rietvegetatie, 45 – natuurgraslanden
Kapitaalintensief	6 – overige landbouwgewassen, 8 – glastuinbouw, 9 – boomgaarden, 10 – bloembollen, 61 – boomkwekerijen, 62 – fruitkwekerijen

Voor het definiëren van het landgebruikstype 'kapitaalintensief' is uitgegaan van de teelten die als hoog salderende teelten in de keur² genoemd worden³: "bloemen, bollen, sierteelt, fruit, bomen, graszaad en graszoden, pootaardappelen, cichorei, (glas)tuinbouw en sportvelden". De teelten bloemen, sierteelt, graszaad en graszoden, pootaardappelen, cichorei (witlof/andijvie) en sportvelden zijn echter niet onderscheiden in LGN7. Wel is de klasse 'overige landbouwgewassen' toegevoegd aan de kapitaalintensieve teelten. Onder overige landbouwgewassen vallen ui, witlof, tuinbouwgewassen (o.a. rode bieten), koolgewassen, hennep, koolzaad, etc. Verder is het landgebruikstype kapitaalintensief aangevuld met de klasse sportvelden (41 – sportterrein) uit de landgebruikkaart Bestand Bodemgebruik (BBG) 2012⁴ ten

¹ Hazeu, G.W., C. Schuiling, G.J. Dorland, G.J. Roerink, H.S.D. Naef en R.A. Smidt. 2014. Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 7 (LGN7). Alterra-rapport 2548. ISSN 1566-7197.

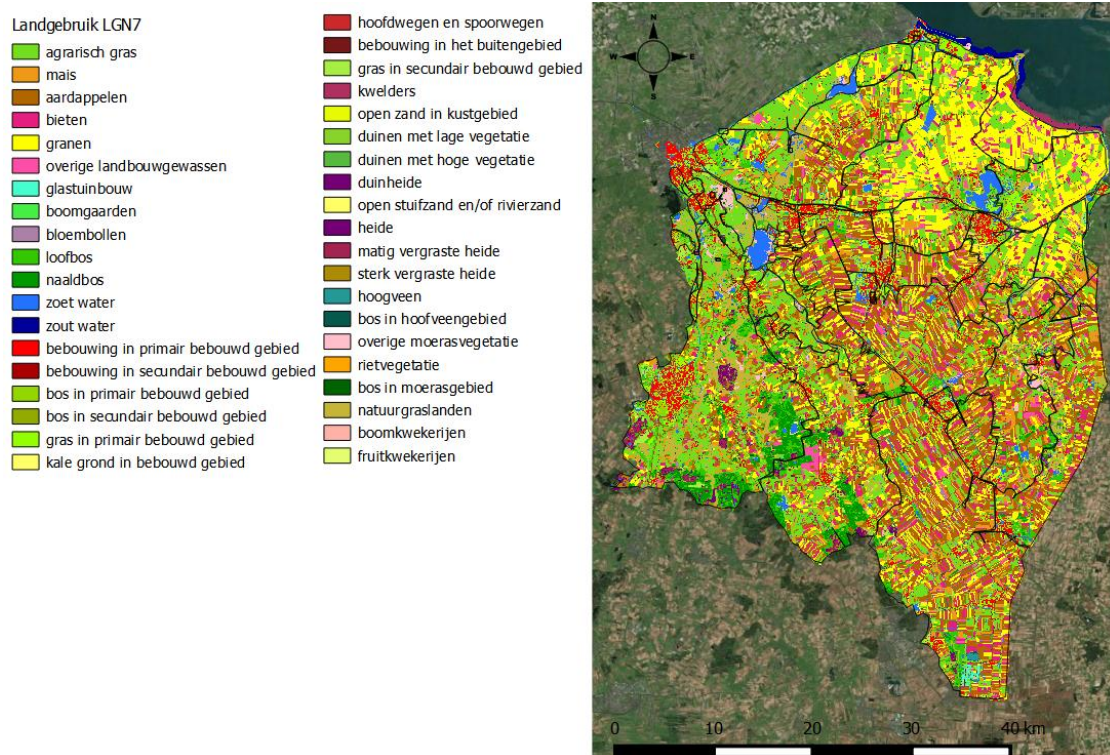
² Een verordening met de regels die een hanteert bij de bescherming van waterkeringen, watergangen en bijbehorende kunstwerken.

³ 'Draaiboek watertekort' van Hunze en Aa's (versie mei 2016).

⁴ <https://www.pdok.nl/nl/actueel/nieuws/artikel/17nov16-cbs-ontsluit-bestand-bodemgebruik-2012>



coste van grasland (23 en 28) in LGN7. In gebieden waar geen wateraanvoer plaatsvindt, is het type kapitaalintensief weggelaten en het betreffende oppervlakte opgeteld bij akkerland. Een overzicht van de percentages landgebruik per subgebied is te vinden in Appendix 4.



Figuur 8. Landgebruik in het gebied van Hunze en Aa's.

2.5 Peilhandhaving en berekening

Op basis van de wateraanvoersituatie zijn de subgebieden verder onderverdeeld in drie verschillende gebieden:

- Peilhandhaving: gebieden waar alleen peilhandhaving plaatsvindt. Hier wordt het bodemvocht alleen indirect aangevuld via infiltratie uit de watergangen.
- Beregend – Laag Renderend: gebieden waar wordt beregend op laag renderende teelten. Hier wordt het bodemvocht direct aangevuld via irrigatie.
- Beregend – Kapitaalintensief: gebieden waar wordt beregend op kapitaalintensieve teelten. Hier wordt het bodemvocht direct aangevuld via irrigatie.

In de beregende gebieden is er in deze modelopzet geen watervraag voor peilbeheer. Verdamping van open water vindt plaats in gebieden die op basis van de landgebruikskaat als water zijn geclassificeerd.

2.5.1 Peilhandhaving in niet beregende gebieden

In de deelgebieden waar wateraanvoer plaatsvindt, wordt een groot deel van het aangevoerde water gebruikt voor peilhandhaving. De oppervlakte van de niet-beregende gebieden is voor elk subgebied berekend uit de potentiële beregeningskaart voor 2012¹. Aangenomen is dat voor alle

¹ Massop, H.Th.L., C. Schuiling en A.A. Veldhuizen. 2013. Potentiële beregeningskaart 2012. Update landelijke potentiële beregeningskaart voor het NHI op basis van landbouwmetellingen 2010. Alterra-rapport 2382. ISSN 1566-7197.



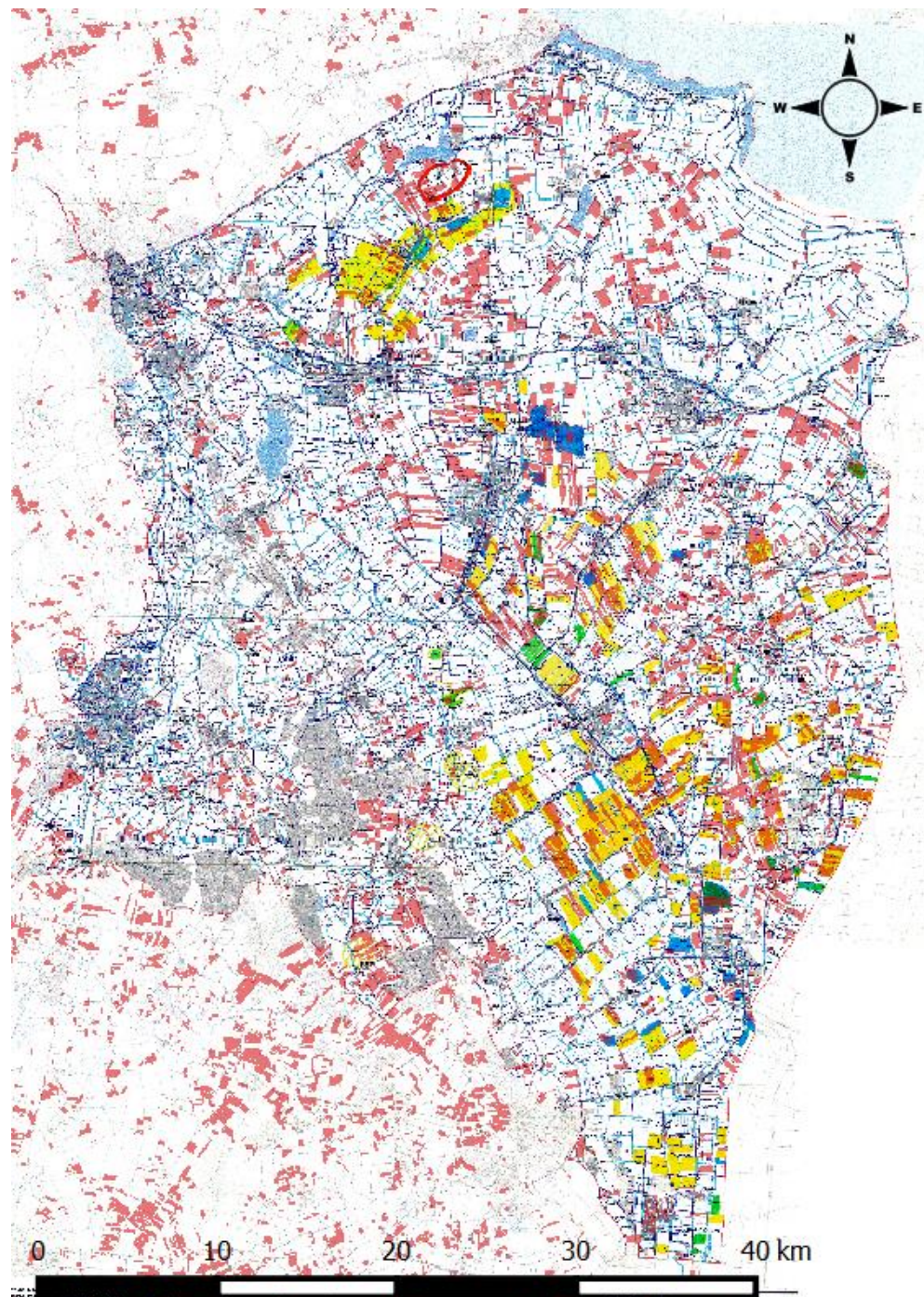
landgebruikstypes (dus 100% van het niet beregende gebied) de peilen gehandhaafd worden en er dus water infiltreert wat ten goede komt aan de gewas- of openwaterverdamping.

2.5.2 *Beregende landbouw*

Voor het berekenen van het oppervlakte van de beregende gebieden is uitgegaan van verschillende databronnen. Ten eerste is de potentiële beregeningskaart voor 2012 vergeleken met een inventarisatie van de beregende gebieden die in 2015 is uitgevoerd door Hunze en Aa's (Figuur 9). Omdat de inventarisatie van Hunze en Aa's niet als GIS-bestand beschikbaar was, is de potentiële beregeningskaart (25x25m) voor het model om praktische redenen als uitgangspunt genomen. Dit heeft mogelijk een overschatting van het geïrrigeerde areaal tot gevolg. Daarnaast is aangenomen dat alle kapitaalintensieve teelten (bepaald aan de hand van LGN7 en BBG2012) beregend zijn. De beregende, laag renderende teelten bevinden zich daar waar de potentiële beregeningskaart en de kapitaalintensieve teelten elkaar niet overlappen. Een overzicht van het percentage van de deelgebieden dat bestaat uit beregende landbouw staat in Appendix 5.

Het landgebruik van de beregende, laag renderende teelten is niet opnieuw berekend. Uit de inventarisatie van Hunze en Aa's bleek dat in het gebied vooral wordt beregend op akkerbouwgewassen, maar beregening van grasland komt ook voor (Figuur 7). Daarom is aangenomen dat de verhouding grasland/akkerland binnen het beregende gebied gelijk is aan de verhouding in het gebied waar alleen peilhandhaving plaatsvindt.





Figuur 9. Beregende gebieden. Roze = beregend volgens potentiële beregeningskaart 2012. Geel = beregende akkerbouw, groen = beregend grasland, blauw & groenblauw = beregende kapitaalintensieve teelten volgens inventarisatie Hunze en Aa's in 2015.

2.6 Neerslag en verdamping

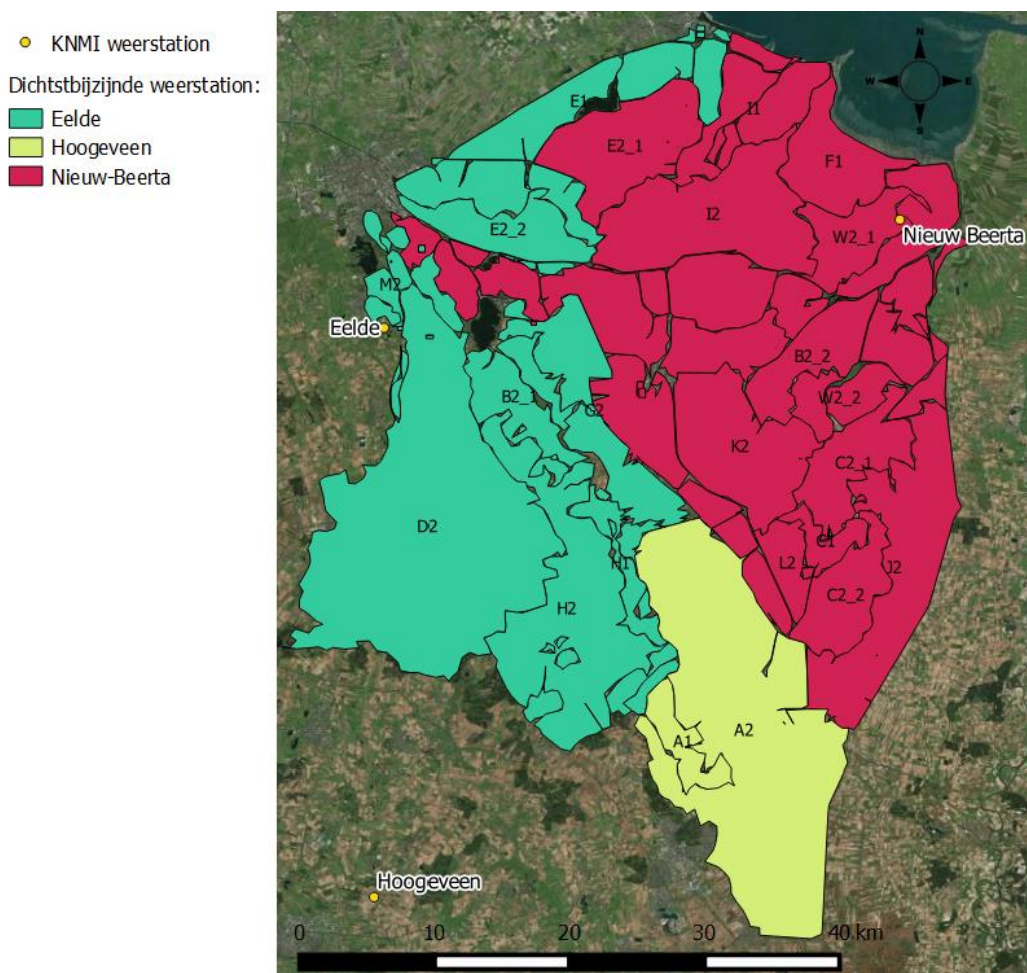
2.6.1 Weerstations

Voor de neerslag- en verdampingsdata zijn drie weerstations van het KNMI gebruikt. Voor elk subgebied is berekend welk van de drie station het dichtst bij het midden van het gebied ligt (Tabel 4 en Figuur 10).



Tabel 4. Dichtstbijzijnde KNMI weerstation per subgebied

Subgebied	Dichtstbijzijnde KNMI weerstation
Aanvoer uit het zuiden (A1, A2)	Hoogeveen
Aanvoer uit Zuidlaardermeer (B2_1)	Eelde
Aanvoer uit Zuidlaardermeer (B2_2)	Nieuw-Beerta
Avebe (C1, C2_1, C2_2)	Nieuw Beerta
Drentsche Aa zonder wateraanvoer (D2)	Eelde
Duurswold (E1, E2_2)	Eelde
Duurswold (E2_1)	Nieuw Beerta
Fiemel (F1)	Nieuw Beerta
Hunze wateraanvoer via Veendam (G2)	Eelde
Hunze zonder wateraanvoer (H1, H2)	Eelde
Oldambt (I1, I2)	Nieuw Beerta
TAK (J2)	Nieuw Beerta
Veenkoloniën aanvoer via Veendam (K2)	Nieuw Beerta
Vennix (L2)	Nieuw Beerta
Wateraanvoer Drentsche Aa (M2)	Eelde
Westerwolde (W1, W2_1, W2_2)	Nieuw Beerta

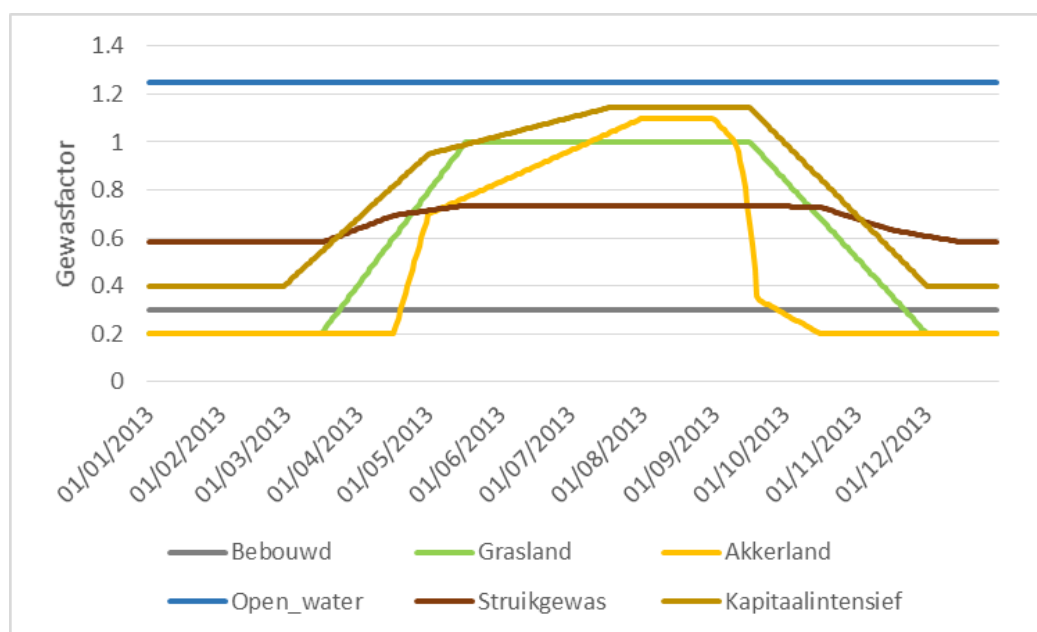


Figuur 10. Locatie KNMI weerstations en dichtstbijzijnde weerstation per subgebied.

2.6.2 Gewasverdamping

De referentiegewasverdamping wordt in WEAP berekend met behulp van de Penman-Monteith vergelijking. Input voor deze vergelijking zijn de meteorologische data (temperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid, zonneshijnduur) en de breedtegraad van het gebied.

Voor het berekenen van de potentiële gewasverdamping moet er voor elk landgebruikstype een gewasfactor (Kc) gedefinieerd worden. Deze worden in modeltoepassingen typisch uit tabellen gehaald die de temporele dynamiek van Kc beschrijven per type landgebruik. In deze pilot zijn de gewasfactoren die standaard in het PCR-GLOBWB model gebruikt worden, gebruikt als basis¹. Deze zijn tijdens de kalibratie iets aangepast (hoofdstuk 3). De uiteindelijke gewasfactoren die gebruikt zijn, zijn een vaste factor van 0,3 voor bebouwd gebied en 1,25 voor open water en voor bos, grasland, akkerland, struikgewas en kapitaalintensieve teelten een factor die gedurende het jaar varieert (zie Figuur 11):



Figuur 11. Gewasfactoren.

De actuele verdamping wordt in WEAP berekend aan de hand van het bodemvochtgehalte. De actuele verdamping van een subgebied is een gewogen gemiddelde van de aanwezige typen landgebruik.

2.7 Industriële onttrekkingen en doorspoeling

Er zijn binnen het beheersgebied van Hunze en Aa's tien industriële onttrekkingen uit het oppervlaktewater (Tabel 5 en Appendix 6). De meeste industrieën lozen na gebruik weer een groot deel van het water. Uit de verhouding tussen onttrekking en lozing is de consumptiefractie berekend (Tabel 5).

¹ Van Beek, L.P.H. and M.F.P. Bierkens (2008), The Global Hydrological Model PCR-GLOBWB: Conceptualization, Parameterization and Verification, Report Department of Physical Geography, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands, <http://vanbeek.geo.uu.nl/suppinfo/vanbeekbierkens2009.pdf>.



Tabel 5. Jaarlijkse onttrekking, lozing en consumptiefractione per industriële onttrekking

Gebruiker	Onttrekking (m ³ /jaar)	Lozing (m ³ /jaar)	Consumptiefractione
AVEBE Foxhol	2.627.076	1.848.450	29.6%
AVEBE Gasselternijveen	1.218.684	1.217.489	0.1%
AVEBE Ter Apelkanaal	28.197.196	29.109.628	-3.2% ¹
Drinkwaterwinning De Punt	5.300.000 ²	0	100%
Eska Hoogezand	317.691	49.746	84.3%
Eska Sappemeer	590.134	439.457	25.5%
North water AN	8.603.810	0	100.0%
North water N/K	4.199.169	461.779	89.0%
Smurfit Kappa	356.779	269.121	24.6%
Smurfit Oude Pekela	1.443.763	190.618	86.8%

Naast de watervraag voor de industriële onttrekkingen, is er in de zomermaanden een extra watervraag voor doorspoeling van het Eemskanaal. Om zoutindringing vanuit de Eems te voorkomen wordt er bij Delfzijl twee keer per week een half miljoen kuub gespuid.

2.8 Infrastructuur wateraanvoer

2.8.1 Gemaalcapaciteiten

In de zomermaanden wordt water uit het IJsselmeer via twee verschillende routes aangevoerd naar Waterschap Hunze en Aa's. De belangrijkste aanvoerroute is de route via Friesland en Groningen (Figuur 12). Bij Gaarkeuken wordt het water uit Friesland doorgevoerd naar Groningen. In het Waterakkoord Noord is vastgelegd dat Wetterskip Fryslân onder normale omstandigheden 24 m³/s door moet voeren³. Een klein deel hiervan (4 m³/s) is bestemd voor Waterschap Noorderzijlvest en het grootste deel wordt doorgevoerd naar Waterschap Hunze en Aa's. Doorvoer naar Hunze en Aa's vindt plaats bij het gemaal in Dorkwerd dat een maximale capaciteit heeft van 20 m³/s.

De tweede aanvoerroute loopt vanuit het IJsselmeer via Overijssel en Drenthe naar het zuidelijke gedeelte van Hunze en Aa's. Vanuit de Hoogeveensche Vaart wordt het water hier via vier verschillende inlaten het gebied ingelaten (Figuur 12). De maximale hoeveelheid water die hier kan worden ingelaten is 5 m³/s. Dit water is alleen bestemd voor het gebied 'Aanvoer uit Zuiden' (Figuur 5).

Binnen het gebied van Hunze en Aa's zijn er drie belangrijke gemalen die tijdens droge periodes het water vanuit de Eemsboezem oppompen naar de zuidoostelijke deelgebieden. Dit zijn gemaal Veendam, gemaal Vennix en gemaal Ter Apelkanaal (Figuur 12). Deze gemalen hebben een maximale capaciteit van 7,5 m³/s (Veendam), 4,2 m³/s (Vennix) en 1,97 m³/s (Ter Apelkanaal).

¹ In het model is aangenomen dat lozing = onttrekking.

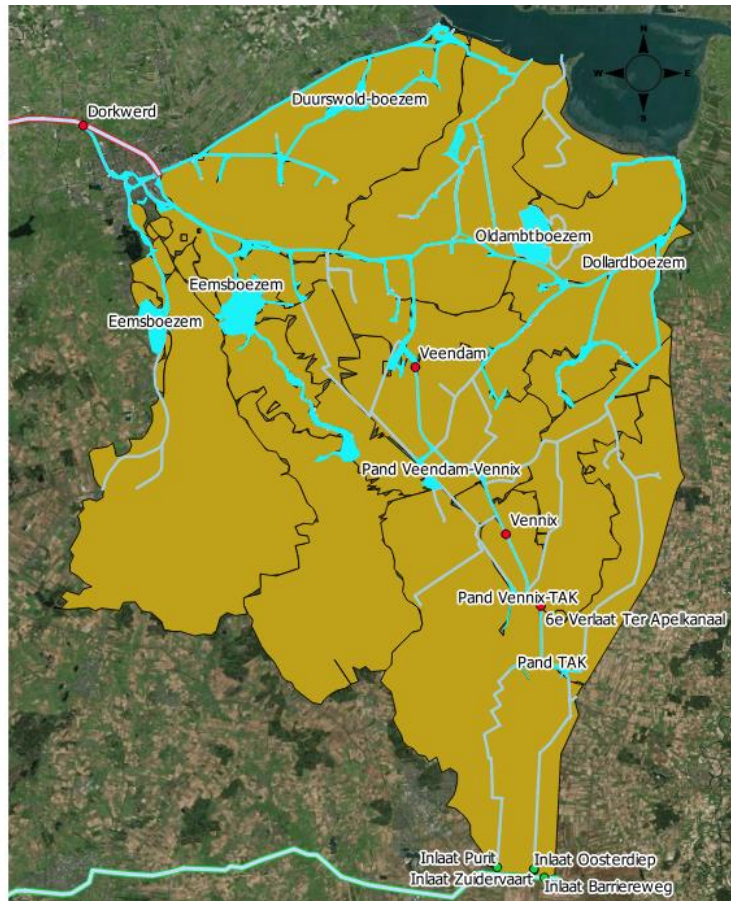
² Gemiddelde onttrekking over 2010-2012.

³ Roelevink, A., Groot, S., Versteeg, R., Klopstra, D. 2009. Distributiemodel, deel A. Friesland en Noord-Holland.



Legenda

- Hoofdgemalen wateraanvoer
- Inlaten naar Aanvoer zuiden
- Aanvoerroute via Drenthe
- Aanvoerroute via Friesland & Groningen
- Boezemsysteem
- Hoofdwatersysteem



Figuur 12. Wateraanvoerroutes en belangrijkste kunstwerken voor de wateraanvoer.

2.8.2 Wateropslagcapaciteit

Tijdens droge periodes kan in de boezem water worden vastgehouden en worden herverdeeld over de subgebieden. Zodra het water het boezemsysteem verlaat, kan het niet meer terugstromen. Het water dat niet in de subgebieden infiltreert, stroomt dan af naar zee. Het boezemsysteem van Hunze en Aa's omvat een aantal grote kanalen en onder andere het Schildmeer, het Foxholstermeer en het Zuidlaardermeer. Binnen Hunze en Aa's zijn er zeven verschillende boezemsystemen (Figuur 12 en Tabel 6). Daarnaast kan er tijdens droge periodes ook water vastgehouden worden in de kanalen (ook wel panden genoemd) tussen de opvoergemalen in Veendam, Vennix en Ter Apelkanaal. Het peil in de boezem kan 10 cm variëren. De wateropslagcapaciteit is berekend door het oppervlakte van het boezemsysteem en de panden te vermenigvuldigen met 10 cm.

Tabel 6. Wateropslagcapaciteit boezemsysteem

Boezemsysteem	Oppervlakte (ha)	Capaciteit (*10 ⁶ m ³)
Eemsboezem	3497	2.45
Duurswoldboezem	655	0.46
Oldambtboezem	994	0.70
Dollardboezem	553	0.39
Pand Veendam - Vennix	232	0.16
Pand Vennix - TAK	71	0.05
Pand TAK	87	0.06



Voor consistentie zijn bij het berekenen van de subgebieden van de Veenkoloniën en Vennix de peilvakken die het pand Veendam-Vennix en het pand Vennix-TAK representeren weggelaten.

2.9 Scenario's

In WEAP kunnen eenvoudig verschillende (klimaat)scenario's worden aangemaakt en met elkaar vergeleken. In deze pilot heeft het referentiejaar 2013 de waargenomen klimaatdata als input. Naast het referentiejaar zijn ook twee hypothetische, drogere jaren doorgerekend. Dit zijn de scenario's '2013 droog' (2013 d) en '2013 dubbel droog' (2013dd). Voor deze scenario's zijn de volgende aanpassingen aan de klimaatdata gedaan:

- 2013d:
 - Neerslag en wateraanvoer -10%
 - Temperatuur +10%
- 2013dd:
 - Neerslag en wateraanvoer -20%
 - Temperatuur +20%

2.10 Maatregelen

Wanneer er tijdens de zomerperiode watertekorten op dreigen te treden, worden stapsgewijs een aantal maatregelen uitgevoerd die de wateraanvoer naar de minst belangrijke gebruiksfuncties beperken. Op die manier kunnen de meest belangrijkste gebruiksfuncties van water worden blijven voorzien. De prioriteiten van de verschillende gebruiksfuncties staan in : Verdringingsreeks Noord-Nederland

De bijbehorende maatregelen zijn door Hunze en Aa's beschreven in het 'Draaiboek watertekort'.

De zes maatregelen die in de volgende paragraaf verder zijn toegelicht, zijn doorgerekend voor het meest extreme scenario (2013dd). De gevolgen van de maatregelen zijn beschreven aan de hand van:

- Totale watervraag en watertekort voor gehele pilotgebied (in m³)
- Totale watervraag en watertekort per landgebruik/functie
- Totale watervraag en watertekort per deelgebied
- Totale droogteschade per deelgebied en per landgebruikstype

De maatregelen zijn niet los van elkaar doorgerekend, maar 'gestapeld', zoals dat ook in werkelijkheid bij het toepassen van de verdringingsreeks wordt uitgevoerd. Dit houdt in dat maatregel 2 pas wordt uitgevoerd, wanneer maatregel 1 al in werking is getreden en dit niet genoeg effect (waterbesparing) heeft opgeleverd:

- Scenario 2013dd_m1: 2013dd+ maatregel 1
- Scenario 2013dd_m2: 2013dd + maatregel 1 en maatregel 2
- Scenario 2013dd_m3: 2013dd + maatregel 1, maatregel 2 en maatregel 3
- Etc.

2.10.1 Maatregelen verdringingsreeks

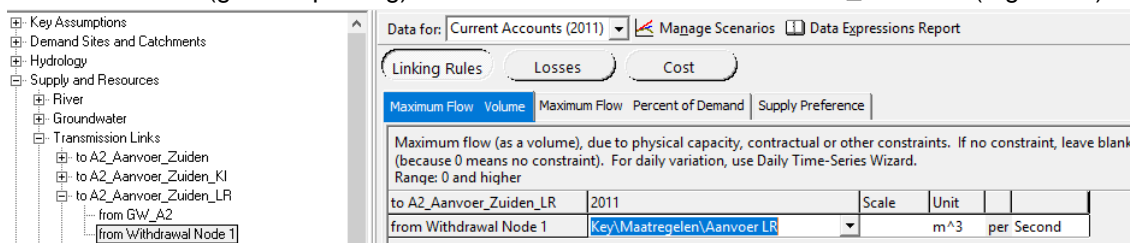
De volgende zes maatregelen uit de verdringingsreeks zijn in WEAP doorgerekend voor scenario 2013dd:



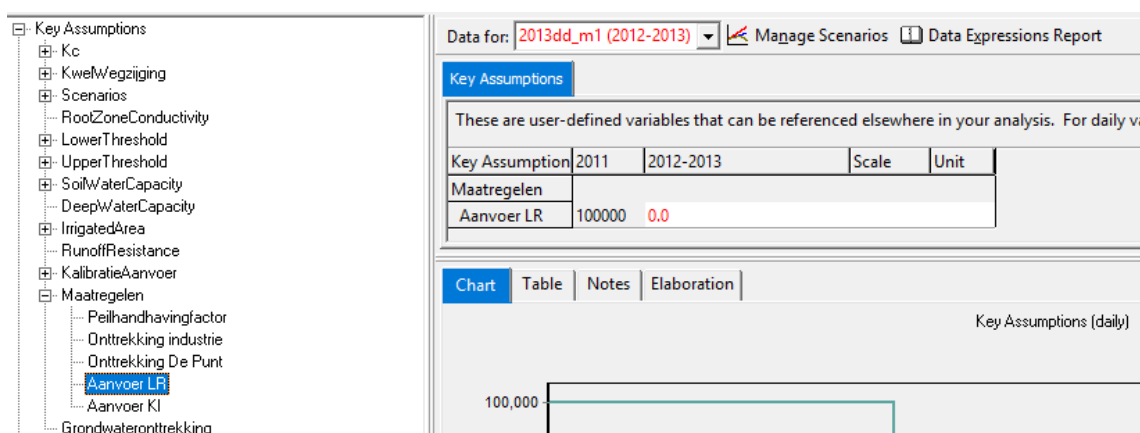
- 2013dd_m1: Irrigatie uit oppervlaktewater stopzetten voor de Laag Renderende teelten (actie 15 uit verdringingsreeks).
 - Toelichting: Bij de verdringingsreeks wordt uitgegaan van een getrappt beregeningsverbod. Eerst een verbod voor het beregenen van gras, daarna akkerbouwgewassen en tot slot “kapitaalintensieve teelten”. Afsproken is om bij Hunze en Aa's bij een beregeningsverbod uit oppervlaktewater geen onderscheid te maken in grasland of akkerbouw en wel onderscheid te maken voor “kapitaalintensieve” teelten. Daarnaast kan er bij een beregeningsverbod onderscheid worden gemaakt tussen 4 deelgebieden (Appendix 8). Irrigatie uit grondwater is wel nog steeds mogelijk.
- 2013dd_m2: Minder water voor peilhandhaving (actie 16, 12 en 11 uit verdringingsreeks).
 - Toelichting: Peil mag uitzakken tot winterpeil, ook in gebieden met een verhoogd zomerpeil (Appendix 7).
- 2013dd_m3: Irrigatie uit oppervlaktewater stopzetten voor de kapitaalintensieve teelten (actie 9 en 8 uit verdringingsreeks).
- 2013dd_m4: Doorspoeling van het Eemskanaal stopzetten (actie 7 uit verdringingsreeks).
- 2013dd_m5: Onttrekking van industrie (behalve onttrekking Drinkwaterwinning De Punt) stopzetten (actie 6 uit verdringingsreeks).
- 2013dd_m6: Onttrekking Drinkwater De Punt stopzetten (actie 4 uit verdringingsreeks).

Deze maatregelen zijn als volgt geïmplementeerd in WEAP:

- 2013dd_m1: Alle aanvoerlinks vanuit het oppervlaktewater naar de gebiedselementen met laag renderende teelten zijn op 0.0 gesteld. Zie Supply and Resources → Transmission Links → to A2_Aanvoer_Zuiden_LR → from Withdrawal Node 1 onder de tab Maximum Flow Volume (Figuur 13). Het invoerveld onder deze tab verwijst naar de ‘Key Assumption’ Maatregelen → Aanvoer LR. De waarde voor Current Accounts = 100.000 (geen beperking) en de waarde voor Scenario 2013dd_m1 = 0.0 (Figuur 14).



Figuur 13. Verwijzing naar Key Assumption Maatregelen\Aanvoer LR.



Figuur 14. Implementatie van maatregel 1 in WEAP.



- 2013dd_m2: De drempelwaarde waarbij het bodemvocht wordt aangevuld is voor alle peilhandhavingsgebieden met 20% verlaagd (hierdoor wordt de drempelwaarde later bereikt en vindt er dus minder bodemvochtaanvulling plaats). Zie Demand Sites and Catchments → A2_Aanvoer_Zuiden onder de tab Irrigation en vervolgens de tab Lower Threshold. Het invoerveld onder deze tab verwijst naar de Key Assumption KalibratieAanvoer → Lower Threshold. Deze Key Assumptions verwijzen vervolgens weer naar Key Assumption Maatregelen → Peilhandhavingfactor. De waarde van de peilhandhavingfactor is 1 voor de Current Accounts en 0.8 van april t/m september voor Scenario 2013dd_m2.
- 2013dd_m3: Alle aanvoerlinks vanuit het oppervlaktewater naar de gebiedselementen met kapitaalintensieve teelten zijn op 0.0 gesteld. Zie Supply and Resources → Transmission Links → to A2_Aanvoer_Zuiden_KI → from Withdrawal Node 1 onder de tab Maximum Flow Volume. Het invoerveld onder deze tab verwijst naar de 'Key Assumption' Maatregelen → Aanvoer KI. De waarde voor Current Accounts is 100.000 (geen beperking) en de waarde voor Scenario 2013dd_m3 is 0.0.
- 2013dd_m4: De Minimum Flow Requirement voor de doorspoeling van het Eemskanaal is op 0 gesteld. Zie Supply and Resources → River → Dorkwerd naar Eemsboezem → Flow Requirements → Doorspoeling Eemskanaal.
- 2013dd_m5: Alle aanvoerlinks naar de watervraagelementen zijn op 0.0 gesteld, behalve voor de drinkwateronttrekking bij De Punt. Zie Supply and Resources → Transmission Links → to Avebe Foxhol onder de tab Maximum Flow Volume. Het invoerveld onder deze tab verwijst naar de Key Assumption Maatregelen → Onttrekking industrie. De waarde voor Current Accounts is 100.000 (geen beperking) en de waarde voor Scenario 2013dd_m5 is 0.0.
- 2013dd_m6: De aanvoerlink naar het watervraagelement Drinkwater De Punt is op 0.0 gesteld. Zie Supply and Resources → Transmission Links → to Drinkwater De Punt onder de tab Maximum Flow Volume. Het invoerveld onder deze tab verwijst naar de Key Assumption Maatregelen → Onttrekking De Punt. De waarde voor Current Accounts is 100.000 (geen beperking) en de waarde voor Scenario 2013dd_m6 is 0.0.

Een andere manier om de maatregelen in WEAP te implementeren, is om gebruik te maken van de Demand Priority (paragraaf 2.1.7). Bij maatregel 1 zouden de laag renderende teelten dan bijvoorbeeld Demand Priority 2 krijgen, i.p.v. 1. Het verschil met de huidige implementatie van de maatregelen is dat de aanvoer naar de laag renderende teelten niet helemaal wordt stopgezet. In plaats daarvan krijgen bij een watertekort eerst alle andere functies water toebedeeld en als er dan nog water over gaat dit naar de laag renderende teelten. Op die manier blijft de totale aanvoer dus ongeveer gelijk aan de aanvoer zonder maatregelen.

2.10.2 Methode schadeberekening

Voor het berekenen van de droogteschade is dezelfde methode gehanteerd als in de studie "Regionale Verkenning Zoetwater Rivierengebied", die in 2012 werd uitgevoerd door Witteveen en Bos¹. In deze studie werd een opbrengstderving van 0,2% per mm watertekort aangenomen. Door deze opbrengstderving te combineren met de baten van een gewas per hectare per jaar, kan het watertekort worden uitgedrukt in droogteschade in euro's. Voor de baten per gewas zijn dezelfde getallen gebruikt als in de studie van Witteveen en Bos. Deze getallen zijn voor het jaar 2013 gecorrigeerd met de inflatie tussen 2011 en 2013.

¹ Witteveen en Bos. 2012. Regionale Verkenning Zoetwater Rivierengebied. Knelpuntenanalyse 2.0.



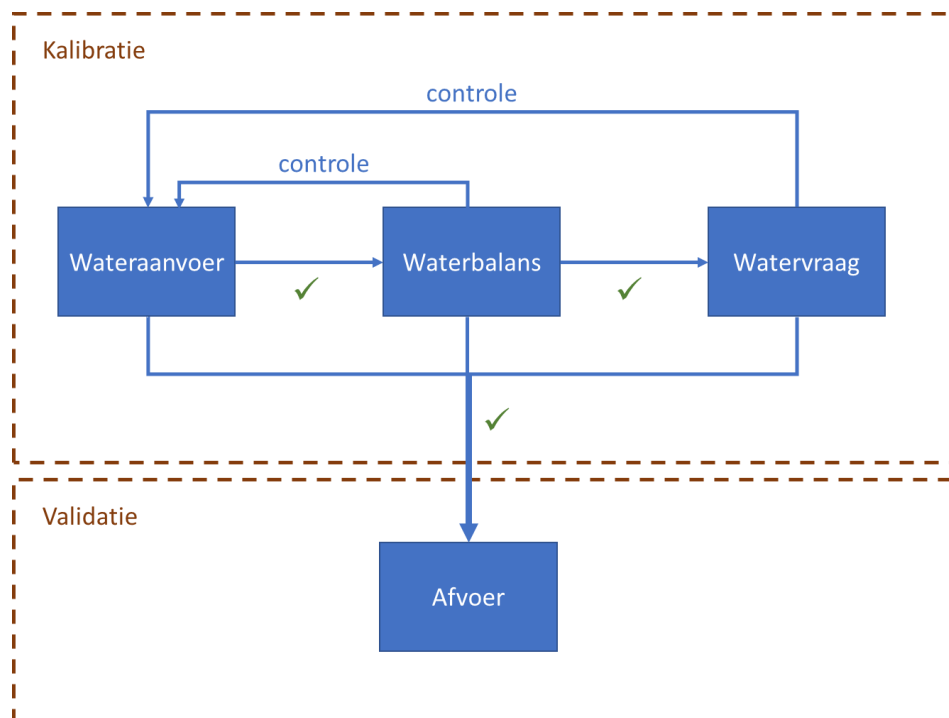


3 Kalibratie en validatie

Voor de kalibratie van het model zijn door Hunze en Aa's per deelgebied zoveel mogelijk aan- en afvoermetingen aangeleverd. Een overzicht van deze gegevens is te vinden in Appendix 9.

3.1 Aanpak

Het model is achtereenvolgens gekalibreerd op de wateraanvoer, waterbalans en watervraag. Dit is een iteratief proces geweest. In de eerste stap is gekalibreerd op de wateraanvoer. Hierna is op de waterbalans gekalibreerd. Wanneer de waterbalans correct was, werd een extra controle van het effect hiervan op de wateraanvoer uitgevoerd. Dit proces werd herhaald tot beide componenten aan de eisen voldeden. Vervolgens werd de watervraag gecontroleerd. Wanneer hier onrealistische waarden werden geconstateerd, werden de eerste twee stappen herhaald. De kalibratie werd als afgerond beschouwd wanneer alle drie de componenten aan de eisen voldeden, waarna ter validatie de gesimuleerde afvoeren met de gemeten afvoeren zijn vergeleken (Figuur 15).



Figuur 15. Iteratieve stappen van de kalibratie en validatie.

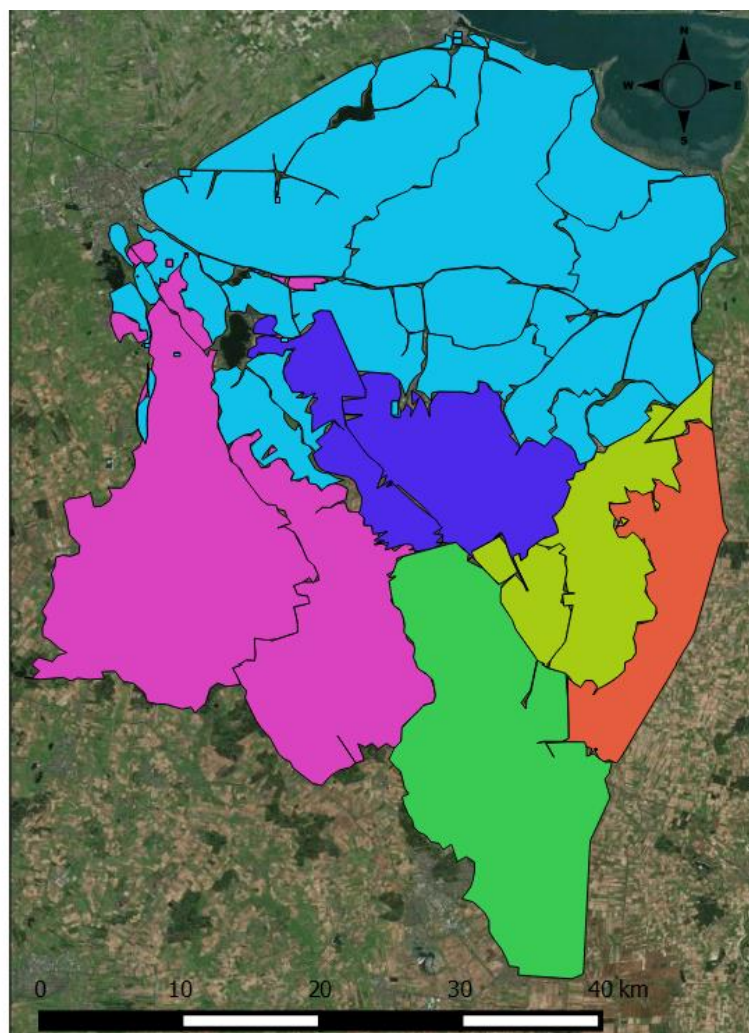
In de eerste stap van de kalibratie zijn de gesimuleerde aanvoeren vergeleken met de maandelijks gemiddelde aanvoer voor april t/m september 2013. Omdat er alleen voor de deelgebieden Aanvoer uit zuiden, Avebe en Ter Apelkanaal aanvoermetingen beschikbaar waren (Appendix 9), zijn gesimuleerde aanvoeren vergeleken met de gemeten aanvoeren bij de gemalen Dorkwerd, Veendam, Vennix en Ter Apelkanaal en met het totaal van de 4 inlaten van de Hoogeveense Vaart. Behalve voor gebied Aanvoer uit zuiden en gebied Ter Apelkanaal is er voor de wateraanvoer dus niet op deelgebiedsniveau gekalibreerd, maar op het niveau van kalibratie-eenheden (Tabel 7 en Figuur 16). De volgorde van de kalibratie was daarbij als aangegeven in Tabel 7. In Tabel 9 staat een overzicht van de modelparameters die in de verschillende kalibratiestappen zijn gekalibreerd.

Tabel 7. Aanvoermeetpunten gebruikt voor kalibratie

Volgorde	Aanvoermeetpunten	Gebruikt voor kalibratie van deelgebieden:
1	Inlaten Hoogeveense Vaart	Aanvoer uit zuiden
2	Gemaal TAK	Ter Apelkanaal
3	Gemaal Vennix	Vennix en Avebe
4	Gemaal Veendam	Hunze aanvoer via Veendam en Veenkoloniën
5	Gemaal Dorkwerd	Aanvoer uit Zuidlaardermeer, Duurswold, Oldambt, Fiemel, Westerwolde, Wateraanvoer Drentsche Aa

Kalibratie-eenheden

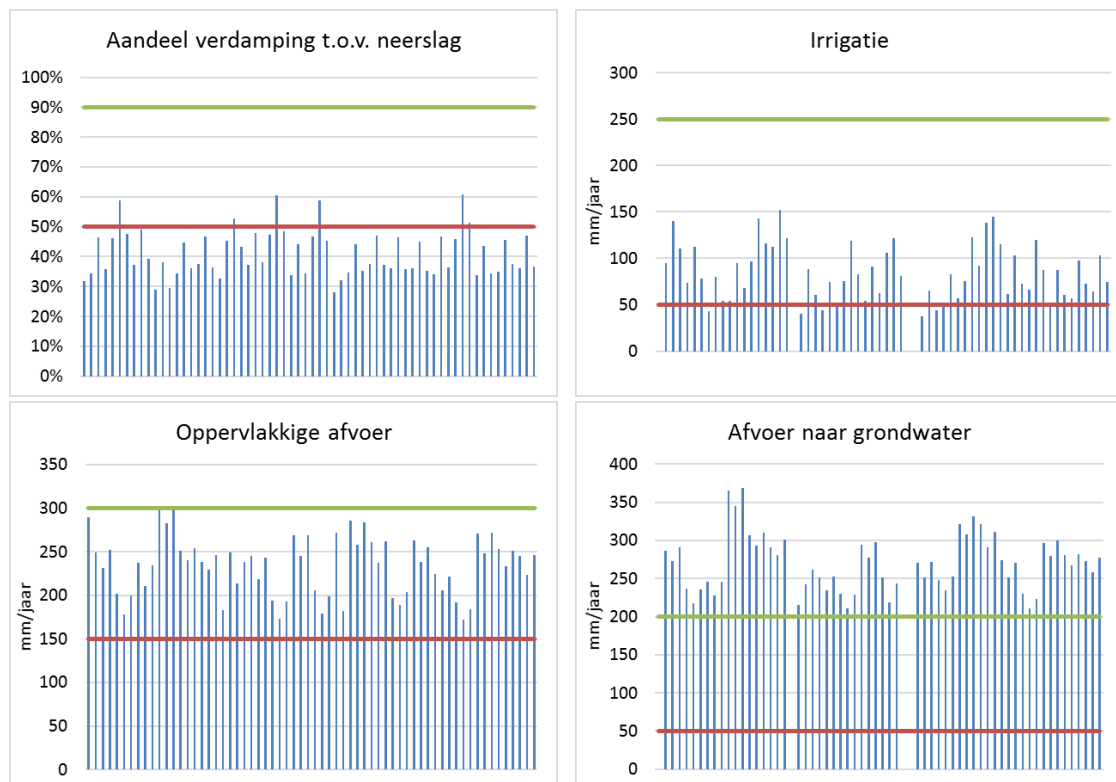
- Geen aanvoer
- Gemaal Dorkwerd
- Gemaal TAK
- Gemaal Veendam
- Gemaal Vennix
- Hoogeveense Vaart



Figuur 16. Kalibratie-eenheden.

Tijdens de tweede stap van de kalibratie zijn de modelparameters zo gekalibreerd dat de vier belangrijkste waterbalanstermen voor elk subgebied binnen bepaalde bandbreedtes kwamen te liggen. Deze vier waterbalanstermen en bijbehorende gewenste bandbreedte staan in Tabel 8. In Figuur 17 is te zien hoe de waterbalanstermen per subgebied er na de eerste kalibratiestap uitzagen.





Figuur 17. Waterbalanstermen voor elk subgebied na de eerste kalibratiestap. De rode en de groene lijn geven de bandbreedte aan waartussen de waterbalanstermen zich na de volledige kalibratie zouden moeten bevinden. Elke blauwe staaf representeert een subgebied. Irrigatie is gemiddeld over de beregende gebiedselementen. “Afvoer naar grondwater” komt overeen met de Percolation term in Figuur 4. Onder “oppervlakkige afvoer” vallen de runoff en interflow termen uit Figuur 4.

Tabel 8. Gewenste bandbreedte van de belangrijkste waterbalanstermen.

Waterbalansterm	Gewenste bandbreedte
Actuele verdamping (% van neerslag)	50 – 90
Irrigatie (mm/jaar)	50 – 250
Oppervlakkige afvoer (mm/jaar)	150 – 300
Afvoer naar grondwater (mm/jaar)	50 – 200

De bandbreedtes voor de verschillende waterbalanstermen zijn gebaseerd op ervaring en informatie uit de literatuur. Voor het vaststellen van de bandbreedte voor irrigatie zijn de volgende bronnen gebruikt:

- Arcadis. 2012. Onderzoek T.B.V. onttrekkingsregeling grondwater Rijn-Oost.¹
- Meer van der, R.W. 2016. Watergebruik in de agrarische sector 2013 en 2014; Wageningen, Wageningen Economic Research, Rapport 2016-081.²
- Gaast, J.W.J. van der, H.Th.I. Massop, H.R.J. Vroon. 2009. Effecten van klimaatverandering op de watervraag in de Nederlandse groene ruimte; Analyse van de waterbeschikbaarheid rekening houdend met de freatische grondwaterstand en bodem. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1791.³

Voor het controleren van de watervraag voor peilhandhaving is gebruik gemaakt van de volgende bronnen:

¹ <https://gelderland.stateninformatie.nl/document/2269187/1/document>

² <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/390653>

³ <http://edepot.wur.nl/7870>



- Bakel, J. van, H. Janssen. 2014. Een literatuuronderzoek naar de maatgevende aanvoerintensiteit.
- Prinsen, G. 2012. Aanvullende analyses NHI viewer¹.
- Rijkswaterstaat RIZA. 2007. Wateraanvoerbehoefte IJsselmeergebied. Kwantitatieve onderbouwing van droogte rond het IJsselmeer.
- STOWA. 2016. Beprijzen van water voor de landbouw.²

Uit deze informatie is gebleken dat de watervraag voor peilhandhaving erg onzeker is, maar dat het wel het grootste deel van de totale watervraag vormt. Schattingen varieerden van 0,3 – 2 mm per dag, wat neerkomt op 55 – 360 mm per zomerhalfjaar. Dit is een zeer ruime bandbreedte, wat de onzekerheid aangeeft die rond deze term bestaat.

3.2 Resultaten van de kalibratie

Voorafgaand aan de kalibratie hebben de modelparameters een standaard beginwaarde. Tijdens de kalibratie worden de parameters van de gebiedselementen gekalibreerd en de beginwaardes dus aangepast. De parameterwaardes na afronding van de kalibratie staan in Tabel 9.

Tabel 9. Beginwaarde, mogelijke waardes en waardes van de WEAP-parameters na kalibratie, zoals deze in WEAP zijn verdeeld in de klassen “Land Use” en “Irrigation”

WEAP parameter	Beginwaarde	Mogelijke waardes	Waardes na kalibratie
Land Use			
Kc	1	0 – 1,15	Variërend per dag en per landgebruik, niet per gebied (zie paragraaf 2.6.2)
Soil Water Capacity	1000 mm	0 – ∞ mm	Per kalibratie-eenheid variërend van 250 mm – 500 mm
Deep Water Capacity ³	1000 mm	0 – ∞ mm	550 voor heel Hunze en Aa's
Runoff Resistance Factor	2	0 – 1000	500 voor heel Hunze en Aa's
Root Zone Conductivity	20 mm/d	0,1 – ∞ mm/d	Variërend tussen 0,46 en 1,27 mm/d (variaties gebaseerd op kwel en wegzijging)
Deep Conductivity	20 mm/d	0,1 – ∞ mm/d	18 mm voor heel Hunze en Aa's
Preferred Flow Direction	0.15	0 – 1	0.45 voor heel Hunze en Aa's
Irrigation			
Lower Threshold	35%	0 – 100%	Per kalibratie-eenheid en per maand variërend tussen 52 – 79%, zie Appendix 10.
Upper Threshold	65%	0 – 100%	Altijd 1% boven de Lower Threshold, dus per kalibratie-eenheid en per maand variërend tussen 53 – 80%

¹ http://publications.deltares.nl/1204886_000b.pdf

² http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/Deltafact/Deltadijk/Beprijzen_van_water_voor_de_landbouw.aspx

³ Wanneer een gebiedselement een afvoerlink naar een grondwaterelement heeft, wordt deze parameter niet gebruikt.



In Figuur 18 is te zien dat de waterbalanstermen zich na de kalibratie voor de meeste subgebieden binnen de gewenste bandbreedte bevinden.

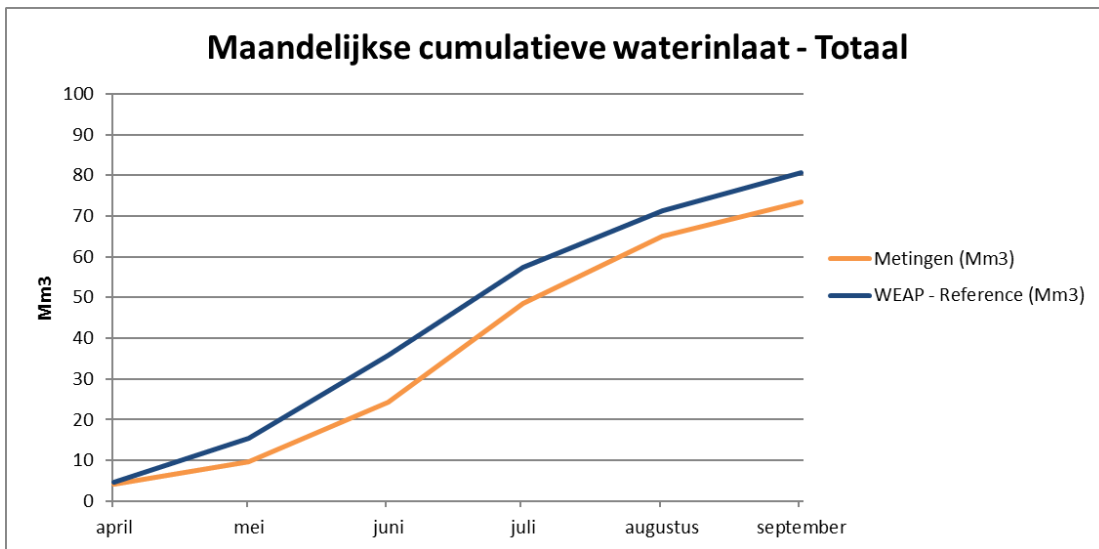


Figuur 18. Waterbalanstermen voor elk subgebied (blauwe staven) na kalibratie. De rode en de groene lijn geven de bandbreedte aan waartussen de waterbalanstermen zich na kalibratie zouden moeten bevinden. Bij de afvoer naar grondwater zijn de blauwe staven wegzijgings- en de oranje staven kwelgebieden. De oranje staven geven aan dat er, ondanks de kwel, voor momenten in het jaar toch aanvoerbehoefte is – al is die op jaarbasis veel lager dan in de wegzijgingsgebieden.

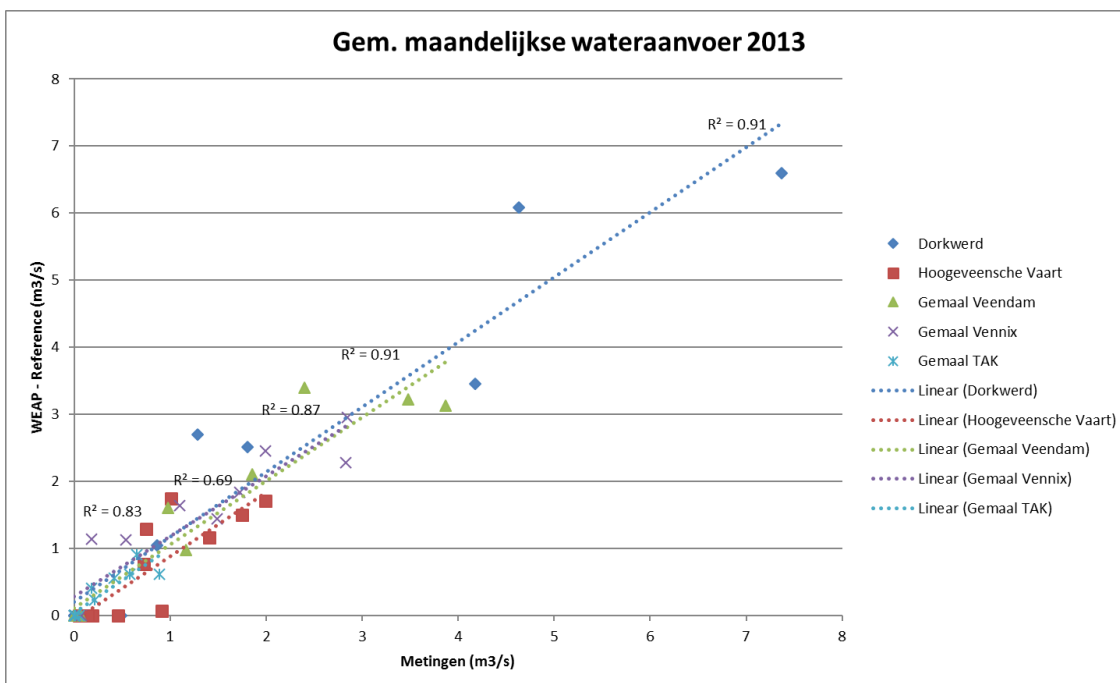
De grafieken van de gesimuleerde en gemeten aanvoeren voor de 5 aanvoermeetpunten staan in Appendix 11 en in Appendix 12. De gemeten en gesimuleerde maandelijkse cumulatieve waterinlaat voor april t/m september 2013 is te zien in Figuur 19. Hier is te zien dat de gesimuleerde wateraanvoer erg goed overeenkomt met de gemeten aanvoer voor het hele gebied (totaal van inlaat bij Dorkwerd en de Hoogeveensche Vaart).

In Figuur 20 is de R^2 van de gesimuleerde maandelijkse aanvoeren te zien. De R^2 geeft aan hoe goed de gesimuleerde aanvoeren overeenkomen met de metingen. De R^2 kan een waarde tussen 0 en 1 hebben, waarbij 0 een slechte overeenkomst aangeeft en 1 een perfecte overeenkomst. Aan de hoge R^2 (tussen 0.69 en 0.91) in Figuur 20 is te zien dat de gesimuleerde aanvoeren op maandelijkse basis goed overeenkomen met de metingen. Voor Dorkwerd en Hoogeveensche Vaart reproduceert het model het beste de metingen, voor Vennix is de prestatie van het model in termen van de tijdsdynamiek het minst goed. Tabel 10 geeft de bias van het model per gemeentelijk gebied, een maat voor de structurele onder- of overschatting.





Figuur 19. Gemeten en gesimuleerde maandelijkse cumulatieve waterinlaat – Totaal van inlaat bij Dorkwerd en de Hoogeveensche Vaart.



Figuur 20. R^2 van de maandelijks gemiddelde gesimuleerde aanvoer bij de meetpunten (R^2 van boven naar beneden: Dorkwerd, Veendam, Vennix, Hoogeveensche Vaart, TAK).

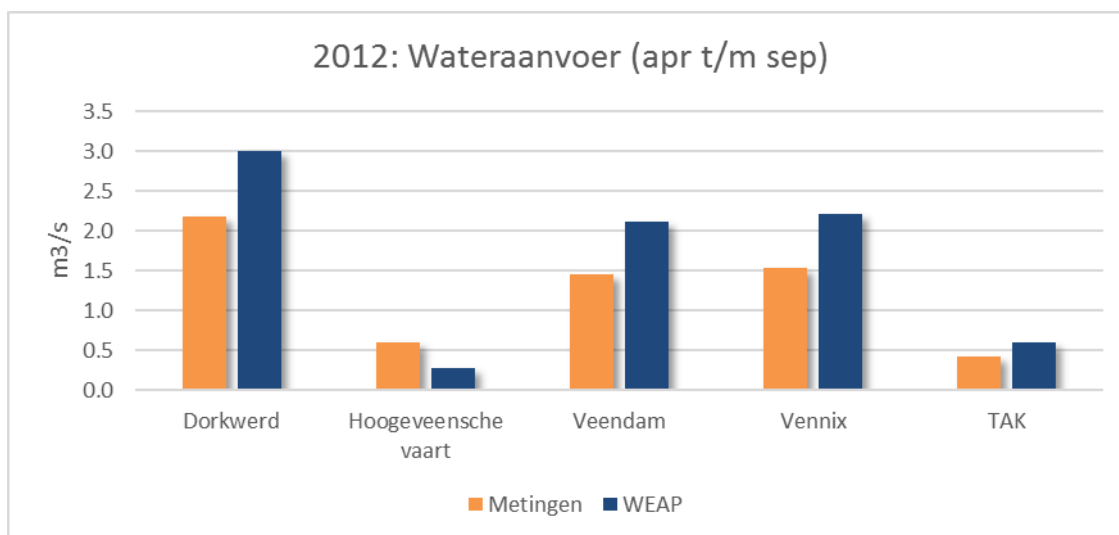
Tabel 10. Bias van de gesimuleerde aanvoer bij de meetpunten.

Meetpunt	Bias 2013 (in %)	Bias apr. t/m sept. 2013 (in %)
Dorkwerd	8	11
Hoogeveensche vaart	-13	7
Veendam	4	5
Vennix	16	5
TAK	12	14



3.3 Validatie

Na het doorlopen van de volledige kalibratie, zijn ter validatie de gesimuleerde aanvoeren voor 2012 vergeleken met de metingen. Omdat voor de kalibratie van het model alleen de aanvoermetingen van 2013 zijn gebruikt, konden de aanvoermetingen van 2012 gebruikt worden voor de validatie. In Figuur 21 is te zien dat het WEAP-model de aanvoer voor het jaar 2012 op vier van de vijf meetpunten overschat. In de maandelijkse figuren 22 – 25 is te zien dat deze overschatting voornamelijk plaatsvindt in de maand mei 2012 en dat voor de andere maanden de gesimuleerde aanvoer voor de meeste meetpunten dicht bij de gemeten aanvoer ligt. Aangezien de kalibratie alleen op het jaar 2013 heeft plaatsgevonden, wijst dit erop dat in de werkelijke operationele sturing van het watersysteem een substantieel verschil zat tussen 2012 en 2013.



Figuur 21. Jaarlijks gemiddelde gemeten en gesimuleerde wateraanvoer voor 2012.

Naast een vergelijking met aanvoermetingen is ook een vergelijking met het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) uitgevoerd. Dit kan niet gezien worden als een validatie, aangezien de kwaliteit van het LHM voor het pilotgebied niet is vastgesteld, maar levert wel interessante inzichten op in hoe de resultaten van beide modellen zich tot elkaar verhouden. De watervraag (Gewenste Onttrekking) vanuit de districten die gesimuleerd wordt door het LHM is lastig vergelijkbaar met de watervraag vanuit de deelgebieden die gesimuleerd wordt door WEAP, doordat de districten uit het LHM niet precies overeenkomen met de deelgebieden in WEAP.

Om toch een vergelijking met het LHM te kunnen maken, zijn de door WEAP gesimuleerde maandelijkse aanvoeren voor 2012 en 2013 vergeleken met de debieten die door het Landelijk Hydrologisch Model (LHM versie 3.1) gesimuleerd zijn. De aanvoeren zijn vergeleken op dezelfde meetpunten die gebruikt zijn voor de kalibratie van het WEAP model (zie Tabel 7 en Tabel 11). Uit de documentatie over het Distributiemodel¹ was niet duidelijk op te maken welke LHM tak(ken) de inlaten in de Hoogeveensche Vaart representeerden. Daarom is dit punt weggelaten uit de vergelijking.

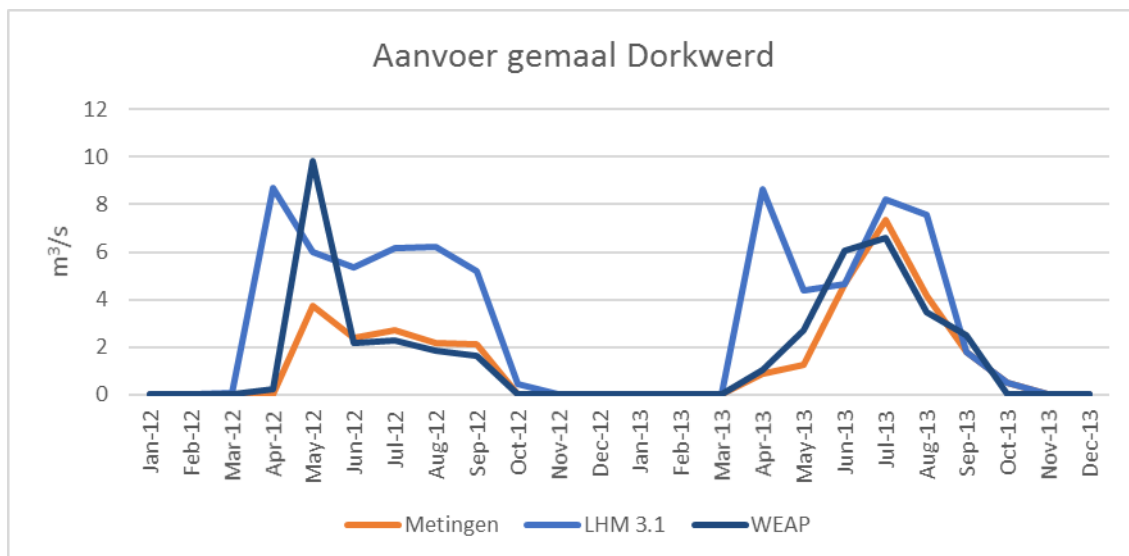
Tabel 11. Aanvoermeetpunten en corresponderende LHM tak

¹ Groot, S., Versteeg, R., Klopstra, D., Braak, Elmi van den., Wouters, K. (2009). Distributiemodel, deel C. (Noord) Oost en Zuid Nederland. HKV Lijn in Water. PR1640.10.

Aanvoermeetpunten	LHM tak
Inlaten Hoogeveensche Vaart	-
Gemaal TAK	1037
Gemaal Vennix	1049
Gemaal Veendam	1026
Gemaal Dorkwerd	1057

De gesimuleerde aanvoer van het WEAP-model komt bij gemaal Dorkwerd beter overeen met de metingen dan de gesimuleerde aanvoer van het LHM (Figuur 22). Het WEAP-model geeft alleen in mei 2012 een grote overschatting van de aanvoer, terwijl het LHM in 2012 voor de meeste maanden een grote overschatting geeft en ook voor 2013 meer afwijkt van de metingen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de pieken in aanvoer die rond april door het LHM gesimuleerd worden, veroorzaakt worden door de voorjaarspeilopzet die aan het model wordt opgegeven.

Bij gemaal Veendam geeft het LHM voor 2012 voor sommige maanden een overschatting en voor sommige maanden een onderschatting van de aanvoer, terwijl het WEAP-model de aanvoer vooral in mei overschat. Voor 2013 komt de gesimuleerde aanvoer van het WEAP-model bij gemaal Veendam duidelijk beter overeen met de metingen dan het LHM (Figuur 23).

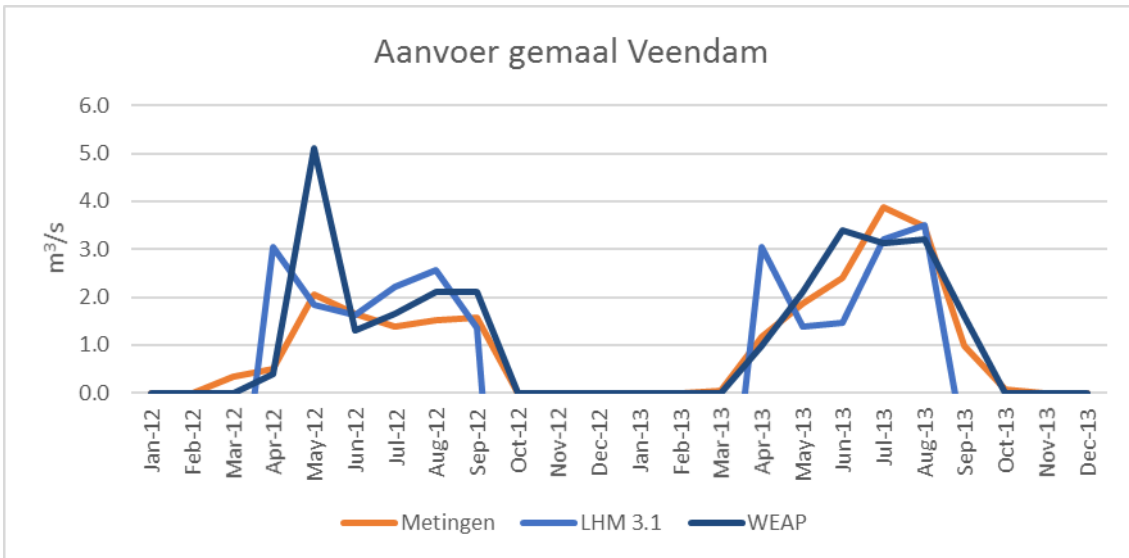


Figuur 22. Gemeten en gesimuleerde maandelijkse wateraanvoer bij gemaal Dorkwerd.

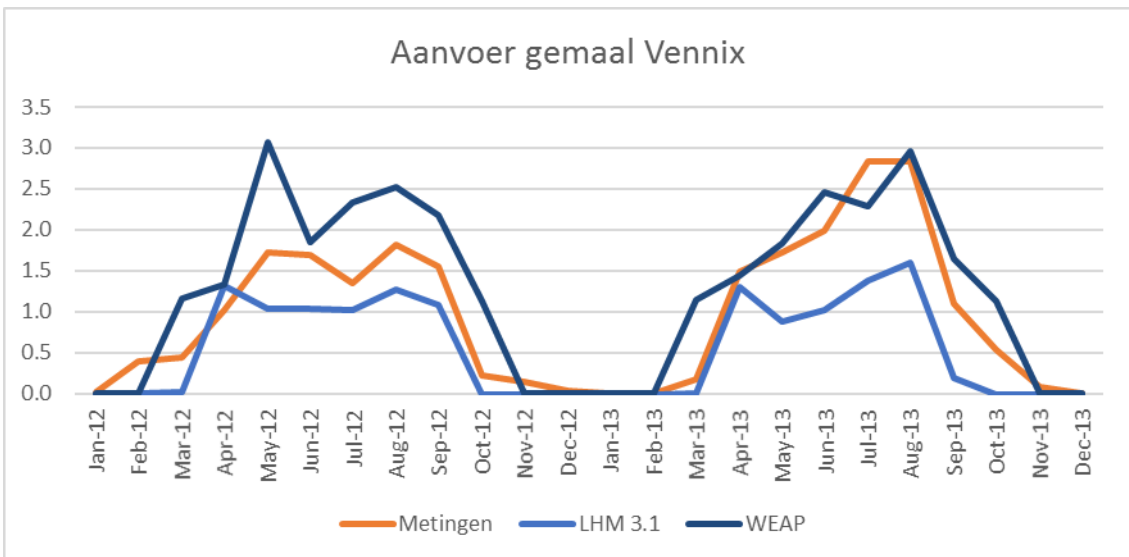
De gesimuleerde aanvoeren komen voor gemaal Vennix voor zowel het LHM als het WEAP-model in 2012 niet goed overeen. Het LHM onderschat de aanvoer, terwijl WEAP de aanvoer overschat (Figuur 24). Het LHM zit wel dichterbij de gemeten aanvoer. Voor 2013 komt het WEAP-model beter overeen met de gemeten aanvoeren. Bij gemaal TAK is ongeveer hetzelfde patroon te zien als bij gemaal Veendam (Figuur 25).

Behalve de grote overschatting van de aanvoer in mei 2012 heeft de gesimuleerde aanvoer van het WEAP-model voor de verschillende meetpunten dus een betere overeenkomst met de metingen dan het LHM.

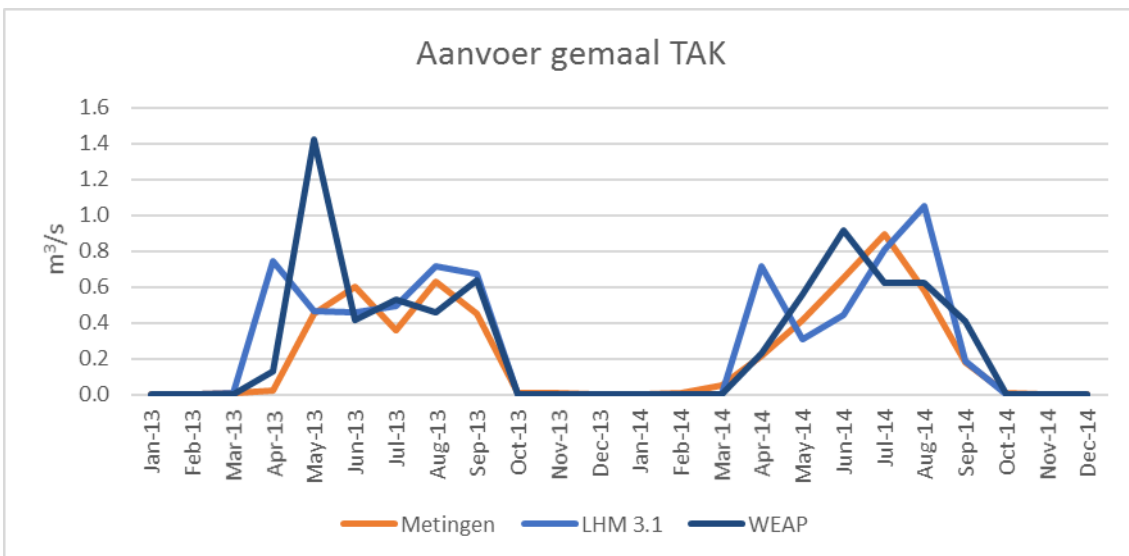




Figuur 23. Gemeten en gesimuleerde maandelijkse wateraanvoer bij gemaal Veendam.



Figuur 24. Gemeten en gesimuleerde maandelijkse wateraanvoer bij gemaal Vennix.

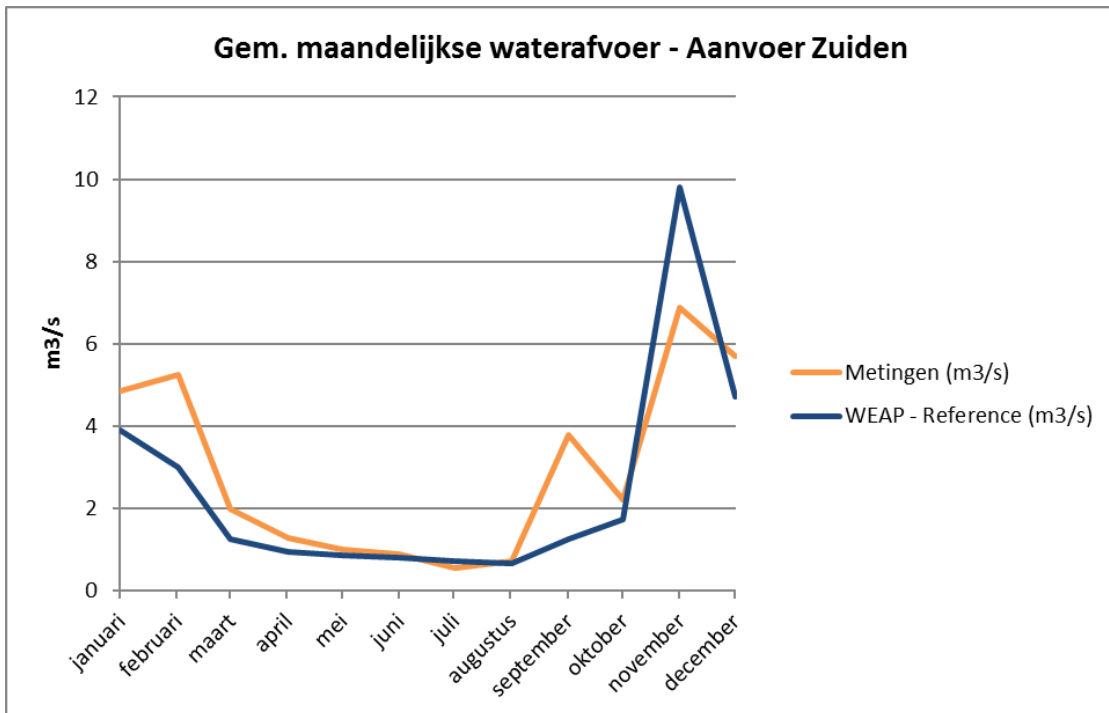


Figuur 25. Gemeten en gesimuleerde maandelijkse wateraanvoer bij gemaal TAK.



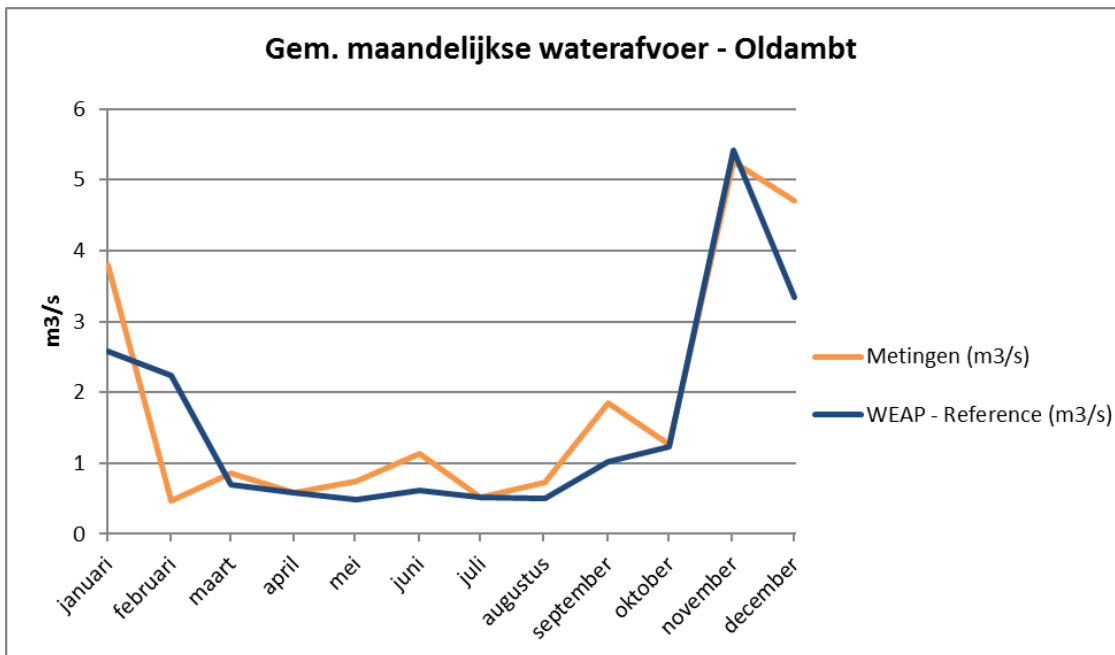
Als extra validatie zijn voor verschillende deelgebieden de gesimuleerde afvoeren vergeleken met de gemeten afvoeren. Voor Aanvoer uit zuiden en Oldambt is de validatie gepresenteerd in Figuur 26 en Figuur 27. Grafieken voor de overige deelgebieden en gemalen zijn opgenomen in Appendix 13.

In Tabel 12 is te zien dat de R^2 voor de gesimuleerde afvoeren op maandbasis tussen de 0.67 (Fiemel) en 0.88 (Gemaal Vennix) liggen. Aangezien de gemeten afvoeren niet in het kalibratieproces zijn betrokken, kan dit worden gezien als weergave van de nauwkeurigheid waarop WEAP de hydrologische processen simuleert die het verschil tussen aanvoer en afvoer bepalen.



Figuur 26. Gemiddelde maandelijkse waterafvoer voor gebied Aanvoer uit zuiden.





Figuur 27. Gemiddelde maandelijkse waterafvoer voor gebied Oldambt.

Tabel 12. R² van de maandelijks gemiddelde gesimuleerde afvoer bij de meetpunten en voor enkele deel-/subgebieden.

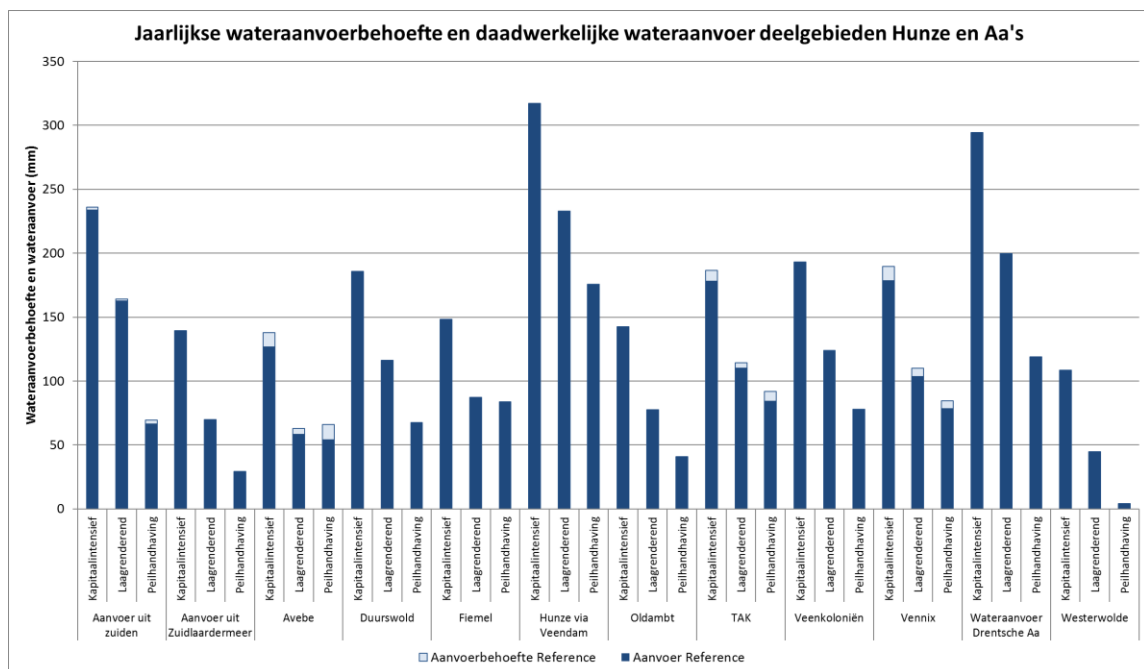
Meetpunt	R ²
Aanvoer Zuiden	0.74
Drensche Aa	0.67
Duurswold	0.86
Fiemel	0.66
Gemaal TAK	0.76
Gemaal Veendam	0.81
Gemaal Vennix	0.88
Oldambt	0.79
TAK	0.81
Westerwolde 1	0.85
Westerwolde 2	0.83

4 Resultaten

4.1 Huidige situatie en klimaatscenario's

4.1.1 Resultaten op maandbasis

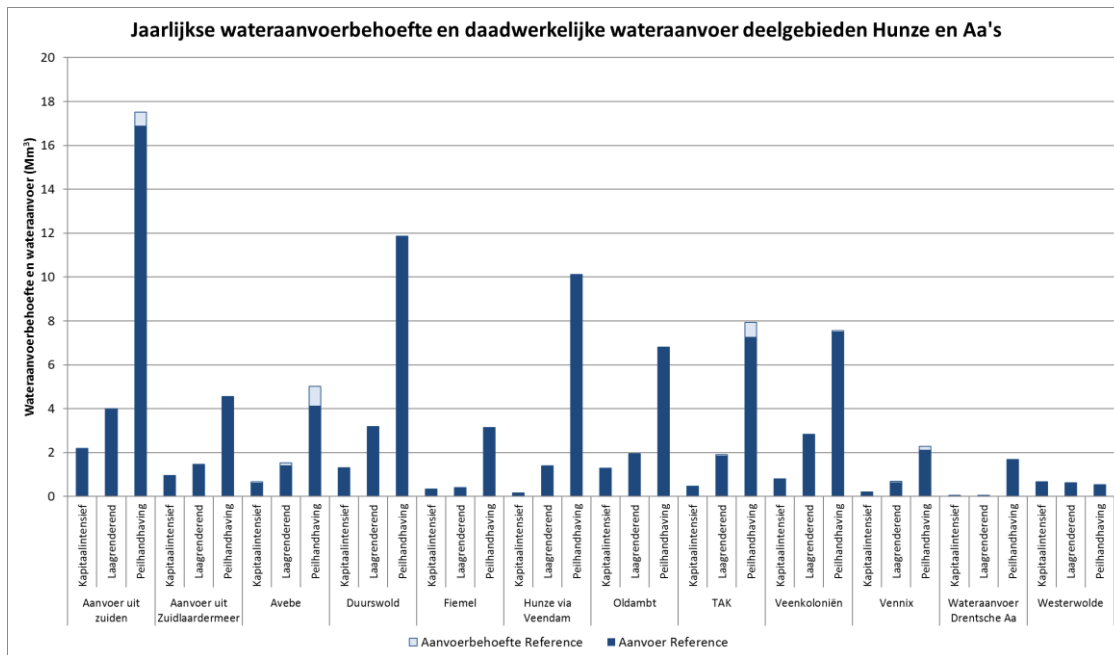
In Figuur 28 is de totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte per deelgebied en landgebruikstype in 2013 weergegeven in millimeters. Voor de meeste gebieden zijn de tekorten in de referentiesituatie relatief klein, of geheel afwezig. De grootste tekorten worden berekend in de gebieden Avebe, TAK en Vennix. Deze tekorten treden op bij langere perioden met minder neerslag waarbij niet snel genoeg in de wateraanvoerbehoefte kan worden voorzien, als gevolg van beperkingen op de aanvoer.



Figuur 28. Totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte (licht) en daadwerkelijke wateraanvoer (donker) in mm in deelgebieden Hunze en Aa's voor de huidige situatie in 2013.

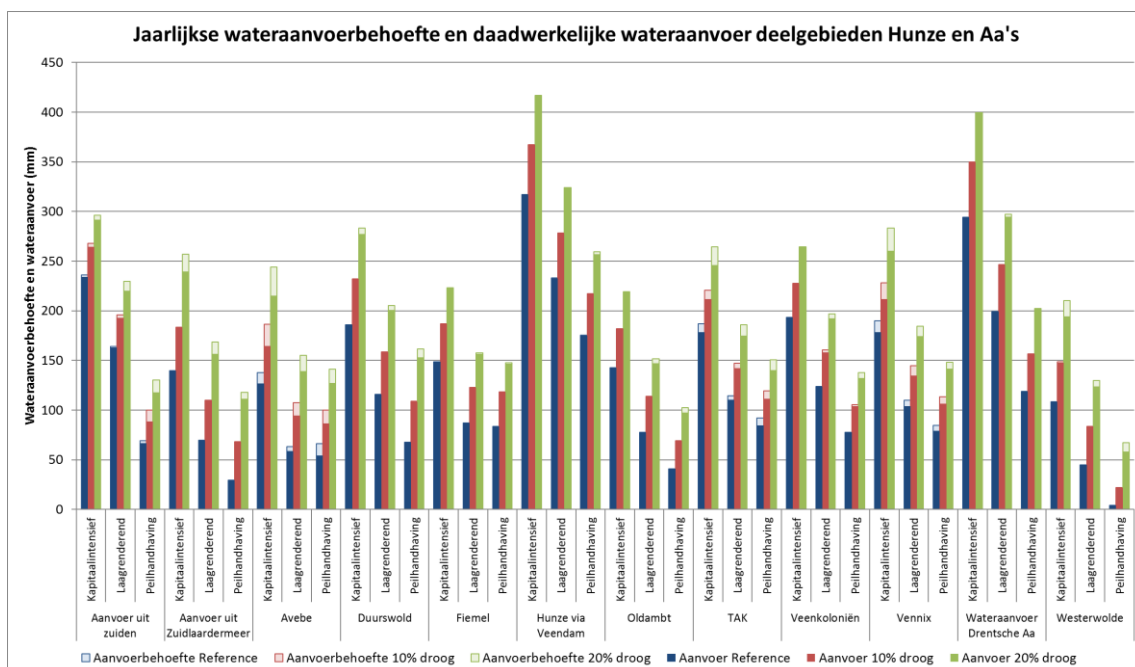
In Figuur 29 is de totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte per deelgebied en landgebruikstype weergegeven Mm³. Hierbij is duidelijk te zien dat deelgebied Aanvoer uit Zuiden, door zijn grote oppervlak, de grootste wateraanvoerbehoefte heeft voor peilhandhaving.





Figuur 29. Totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte (licht) en daadwerkelijke wateraanvoer (donker) in Mm³ in deelgebieden Hunze en Aa's voor de huidige situatie in 2013.

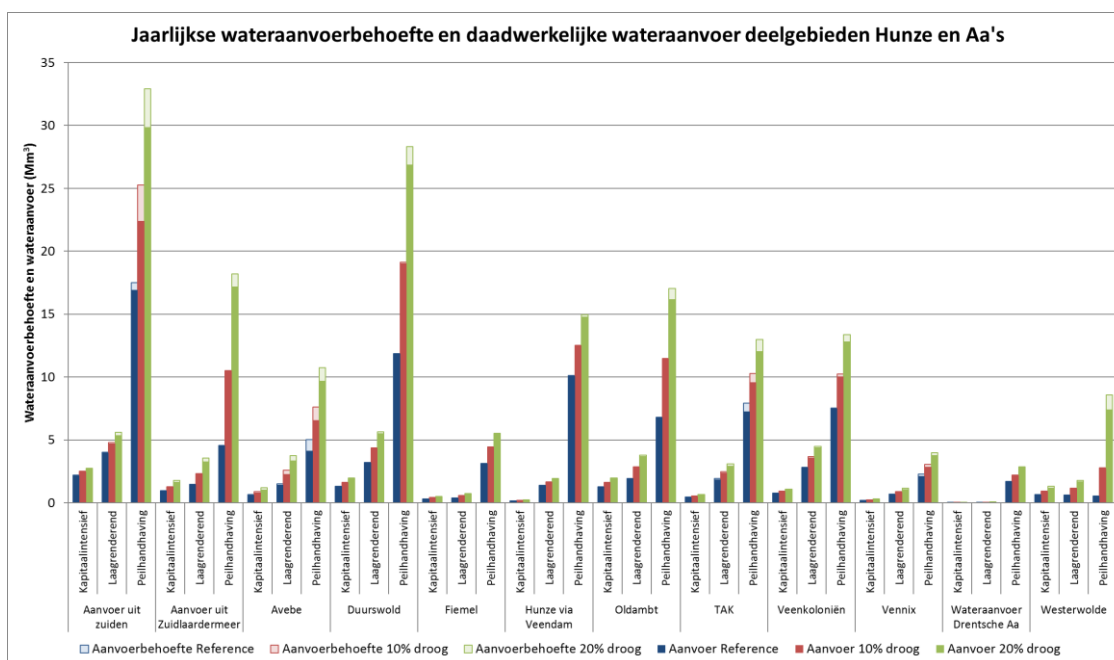
In Figuur 30 is de totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte per deelgebied en landgebruikstype weergegeven in millimeters voor de huidige situatie en de scenario's 10% droog en 20% droog. Zoals verwacht neemt de aanvoerbehoefte in alle gebieden en landgebruikstypen toe. Te zien is dat bestaande watertekorten groter worden onder deze condities, en dat voor andere gebieden tekorten gaan ontstaan. Voor enkele gebieden (bv. Fiemel) zijn de tekorten ook onder het 20% droge scenario verwaarloosbaar.



Figuur 30. Totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte (licht) en daadwerkelijke wateraanvoer (donker) in mm in deelgebieden Hunze en Aa's voor de huidige situatie (blauw) en scenario's 10% droog (rood) en 20% droog (groen) in 2013.

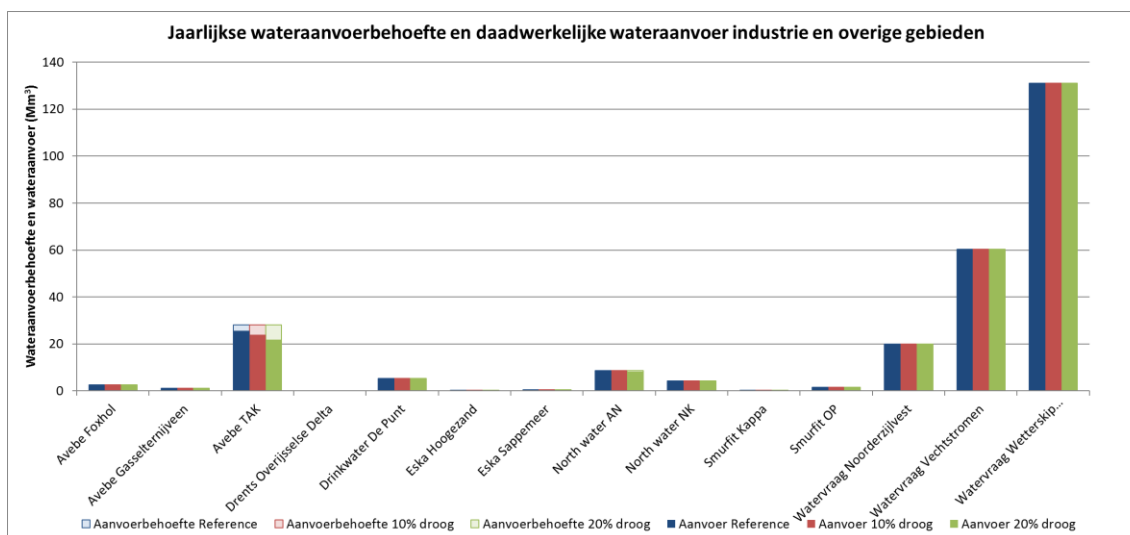


In Figuur 31 is de totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte per deelgebied en landgebruikstype weergegeven Mm³.



Figuur 31. Totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte (licht) en daadwerkelijke wateraanvoer (donker) in Mm³ in deelgebieden Hunze en Aa's voor de huidige situatie (blauw) en scenario's 10% droog (rood) en 20% droog (groen) in 2013.

In Figuur 32 is de totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte voor industrie en overige gebieden weergegeven in Mm³. Alleen industrie Avebe TAK heeft een tekort en ondervindt negatieve gevolgen van een droger klimaat.

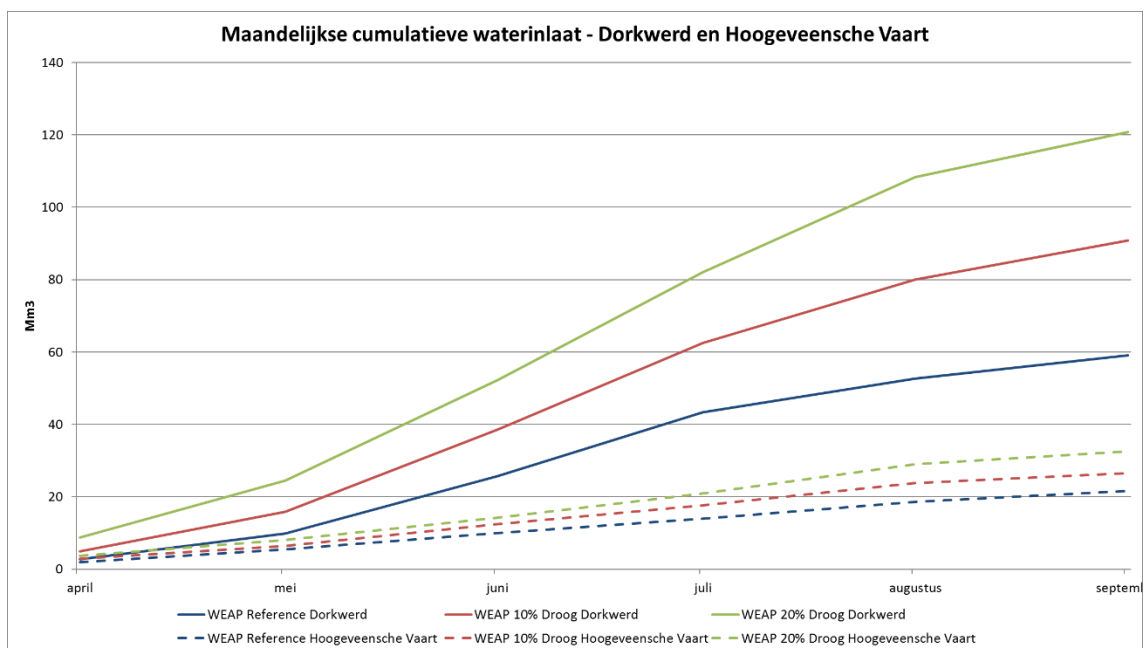


Figuur 32. Totale jaarlijkse wateraanvoerbehoefte (licht) en daadwerkelijke wateraanvoer (donker) in Mm³ voor industrie en overige gebieden in de huidige situatie (blauw) en scenario's 10% droog (rood) en 20% droog (groen) in 2013.

Als een gevolg van de grotere aanvoerbehoefte in de twee scenario's neemt de wateraanvoer toe (Figuur 33). Voor het scenario 20% droog kan in de zomermaanden via Dorkwerd circa 60

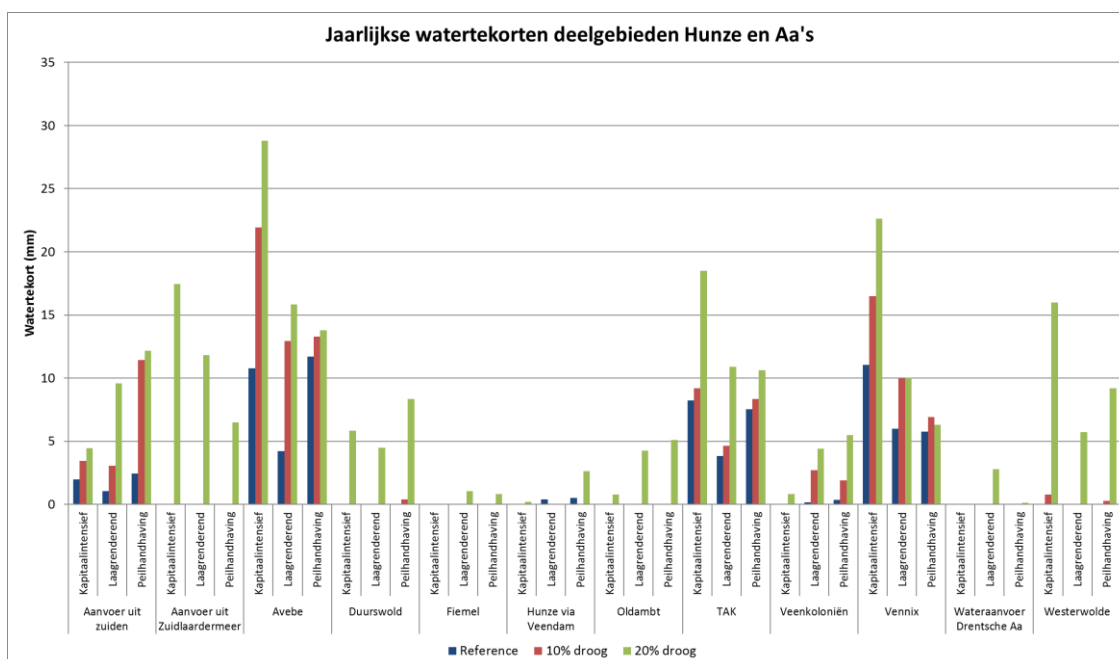


Mm³ extra water worden ingelaten en via Hoogeveense Vaart circa 10 Mm³. Dit is een toename van 120% en 50%, respectievelijk, ten opzichte van de huidige wateraanvoer. Het effect op de aanvoer op maandbasis bij de overige gemalen is te vinden in Appendix 11.



Figuur 33. Maandelijkse cumulatieve waterinlaat via Dorkwerd (ononderbroken lijnen) en Hoogeveense Vaart (stippellijnen) in Mm³ voor de huidige situatie (blauw) en scenario's 10% droog (rood) en 20% droog (groen) in de zomermaanden van 2013.

Door de huidige beperkingen op de wateraanvoer kan slechts deels in deze behoefte worden voorzien. Dit leidt tot grotere watertekorten (Figuur 34). Deze waarden corresponderen met het verschil tussen wateraanvoerbehoefte en wateraanvoer in Figuur 24.



Figuur 34. Jaarlijkse watertekorten in mm in deelgebieden Hunze en Aa's voor de huidige situatie (blauw) en scenario's 10% droog (rood) en 20% droog (groen) in 2013.



In Tabel 13 zijn de tekorten per landgebruikstype voor het gehele gebied te zien. Hieruit is op te maken dat laagrenderend landgebruik relatief het meest getroffen wordt in het 20% droog scenario. De tekorten per deelgebied en landgebruikstype zijn terug te vinden in Appendix 14.

Tabel 13. Watertekorten in mm per landgebruikstype voor het gehele gebied bij verschillende scenario's.

Landgebruik	Oppervlakte (ha)	Huidige situatie	Scenario's			
		Reference	10% droog	Vershil met Reference	20% droog	Vershil met Reference
Kapitaalintensief	5388	1.9	3.4	78%	9.7	406%
Laagrenderend	19279	1.2	3.1	152%	7.9	551%
Peilhandhaving	127084	1.9	4.0	115%	8.2	339%
Totale gebied	151751	1.8	3.9	117%	8.2	360%

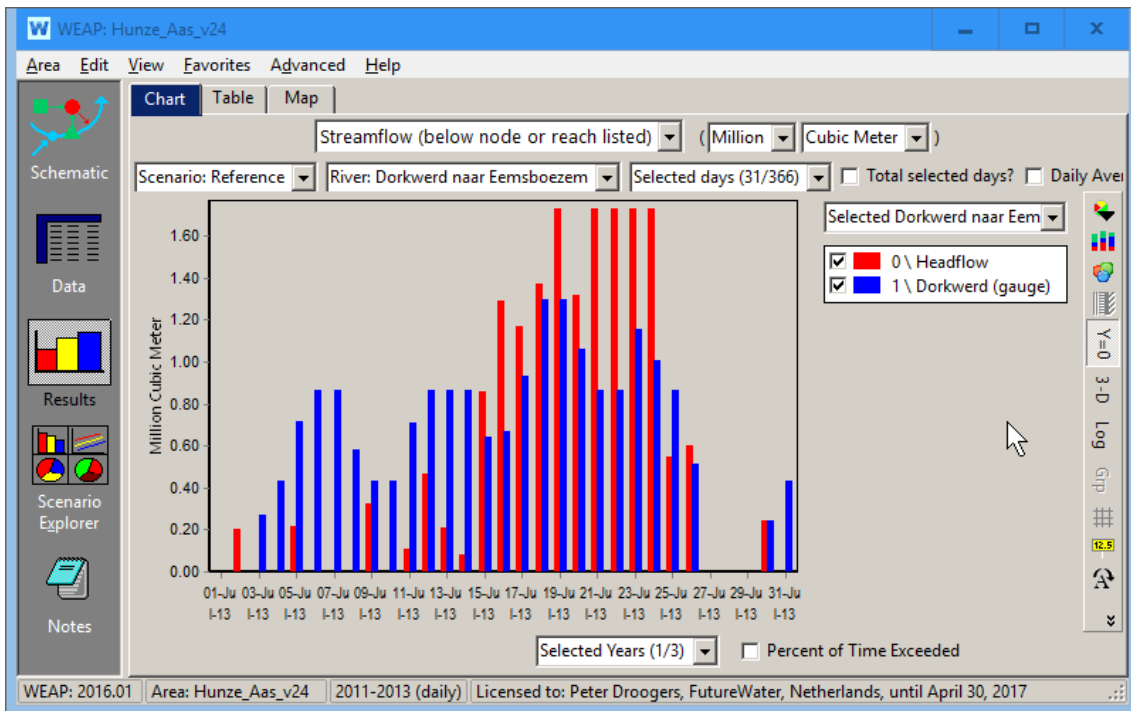
Het effect van de scenario's op de waterafvoer van verschillende deelgebieden en gemalen is te vinden in Appendix 13.

4.1.2 WEAP-resultaten met kleinere tijdstappen

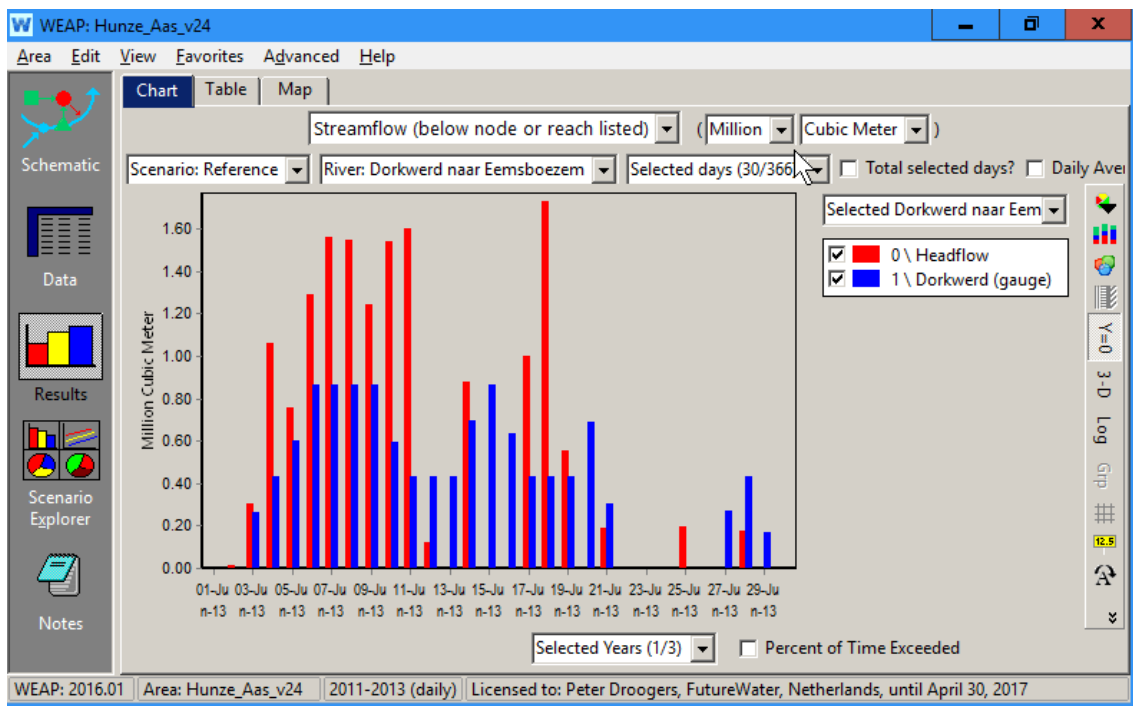
In de vorige paragraaf zijn de resultaten op maandbasis gepresenteerd. Het model is echter gedraaid met een dagelijkse tijdstap. Wekelijkse resultaten voor de gesimuleerde aanvoeren tijdens de drie scenario's zijn gegeven in Appendix 12.

Door de werkgroep is aangegeven dat de behoefte bestaat om de werking van WEAP op dagbasis verder uit te diepen. In Figuur 35 en Figuur 36 zijn dagelijkse WEAP-resultaten van aanvoer gepresenteerd op dagbasis, en gerelateerd aan de metingen. Te zien is dat het model in juni 2013 de aanvoer met enkele Mm³ overschat, terwijl dit in juli 2013 wordt gecompenseerd door een onderschatting van vergelijkbare grootte. De afwijkingen op dagelijkse tijdschaal worden veroorzaakt door het feit dat WEAP niet de beslissingen van operationeel waterbeheerders meeneemt.





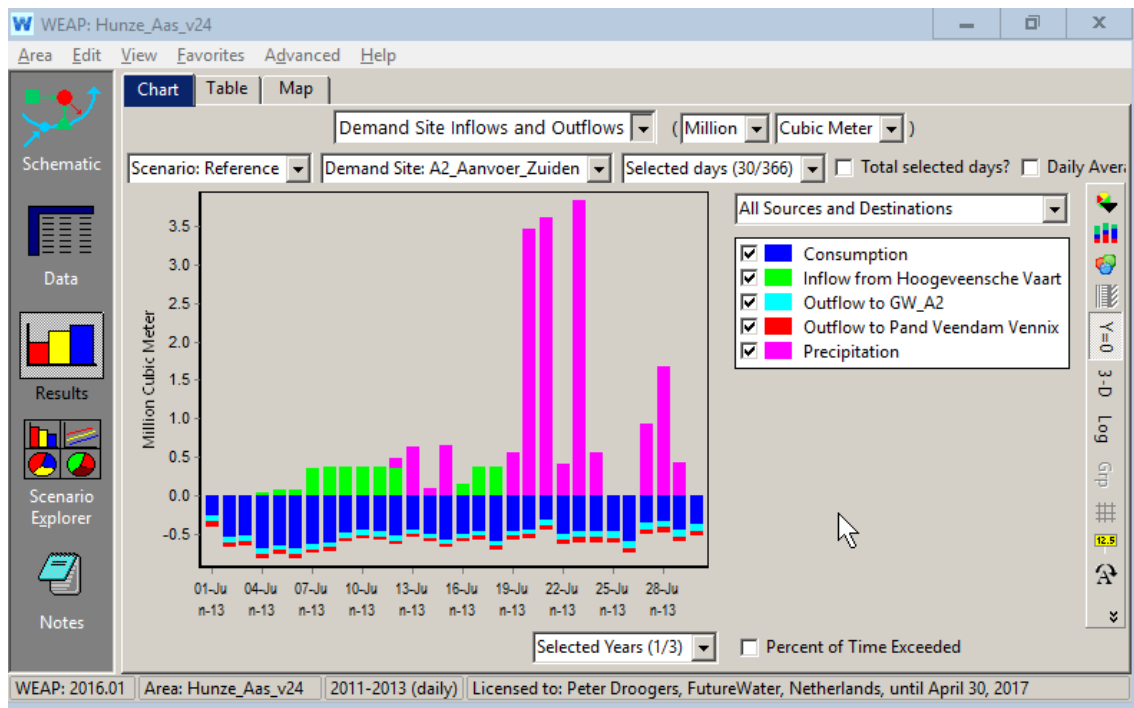
Figuur 35. Wateraanvoer bij Dorkwerd in juli 2013 – gemeten (gauge) en door WEAP gesimuleerd (headflow). In totaal is volgens de metingen 19.7 MCM aangevoerd en volgens het model 17.7 MCM.



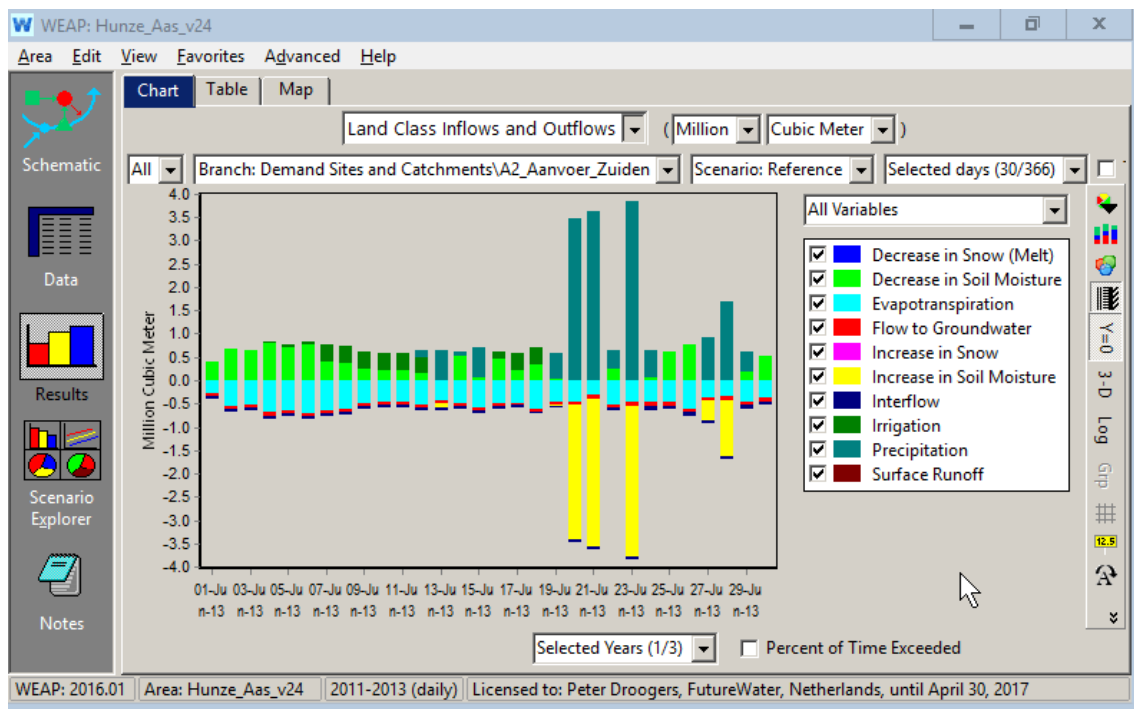
Figuur 36. Wateraanvoer bij Dorkwerd in juni 2013 – gemeten (gauge) en door WEAP gesimuleerd (headflow). In totaal is volgens de metingen 12 MCM aangevoerd en volgens het model 15.8 MCM.

Voor het gebied Aanvoer Zuiden geven Figuur 37 en Figuur 38 inzicht in de dagelijkse waterbalans volgens WEAP. Te zien is dat waterinlaat en irrigatie plaatsvinden op droge dagen om het gebrek aan neerslag te compenseren.





Figuur 37. Dagelijkse waterbalans voor het gebied Aanvoer Zuiden.

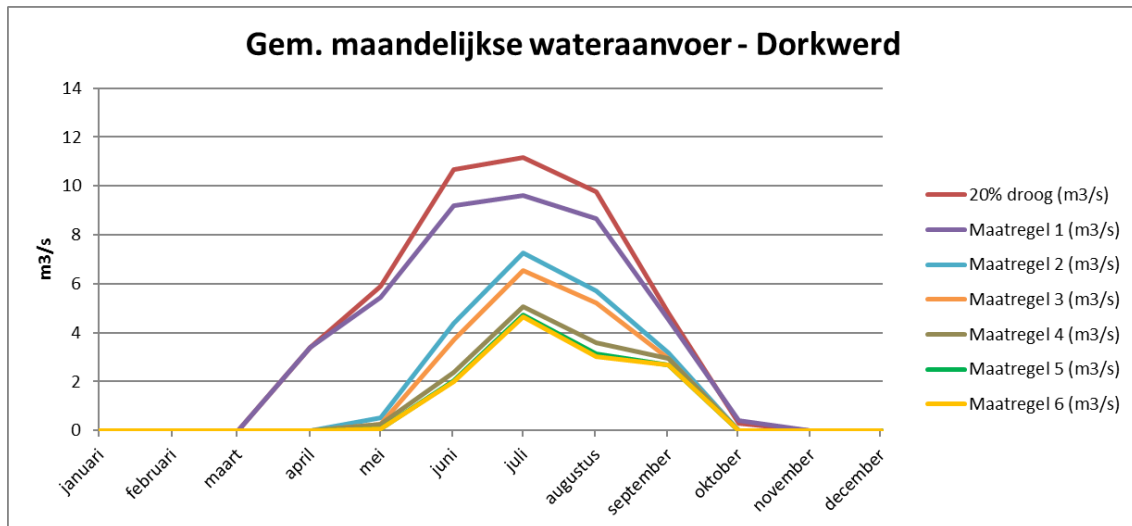


Figuur 38. Dagelijkse hydrologische processen (bronnen van inflow en typen outflow) voor het gebied Aanvoer Zuiden.

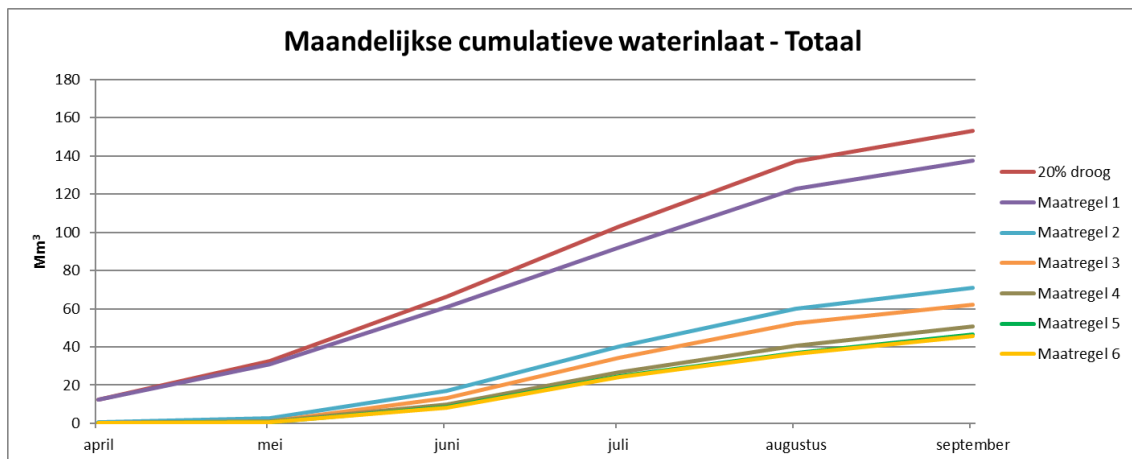


4.2 Maatregelen

Bij het doorrekenen van de verschillende maatregelen is het 20% droge scenario als uitgangspunt genomen. Figuur 28 laat zien wat de maatregelen voor gevolgen hebben voor de maandelijkse wateraanvoer te Dorkwerd. Voor de overige locaties zijn deze grafieken opgenomen in Appendix 15. In Figuur 29 is de totale waterinlaat (Dorkwerd + Hoogeveensche Vaart) cumulatief geplott, onder de verschillende maatregelen. Te zien is dat met name het reduceren van de wateraanvoer voor peilhandhaving (maatregel 2) een groot effect heeft.



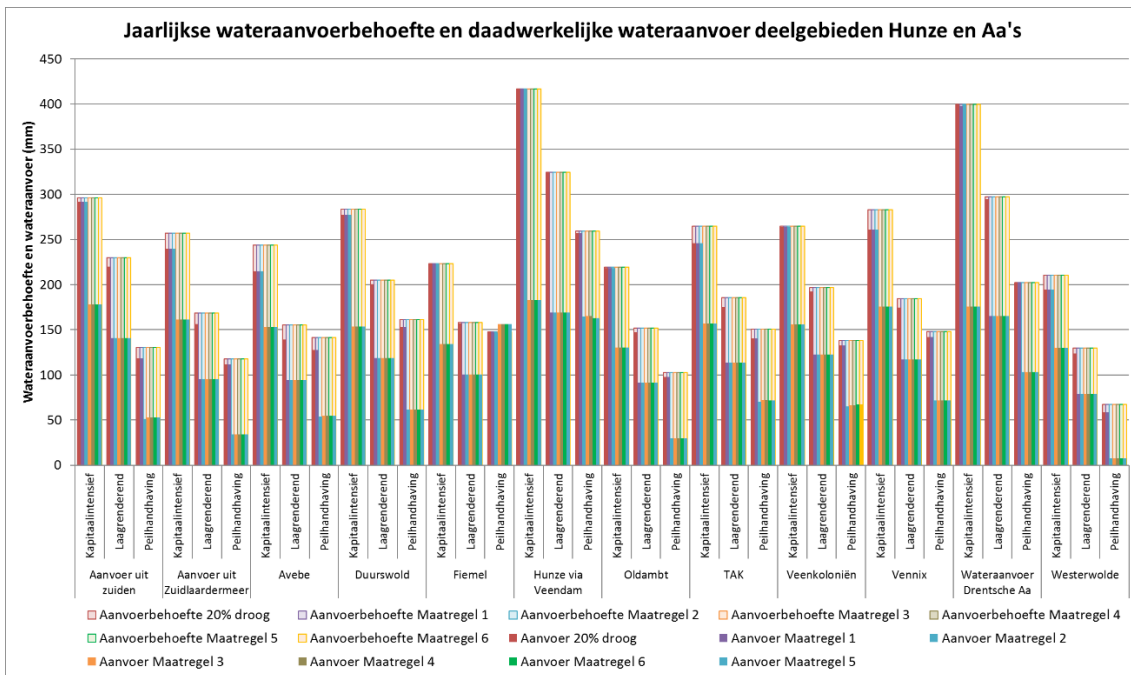
Figuur 39. Maandelijkse wateraanvoer te Dorkwerd als gevolg van het treffen van de verschillende maatregelen.



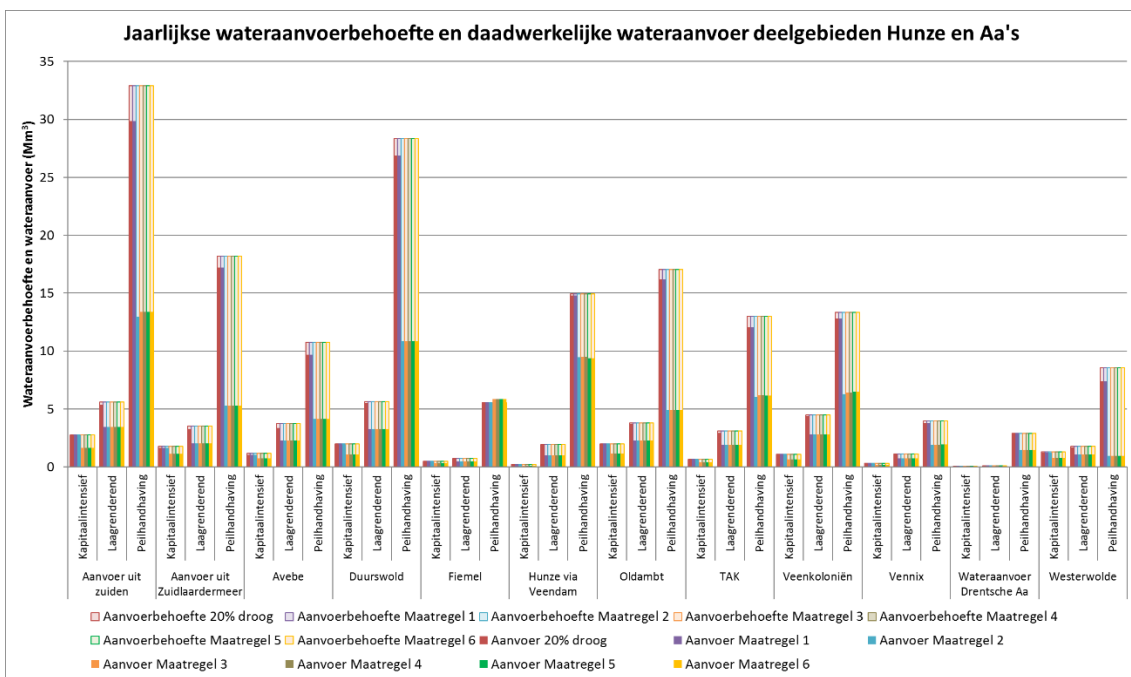
Figuur 40. Maandelijkse totale cumulatieve waterinlaat als gevolg van het treffen van de verschillende maatregelen.

In Figuur 34 t/m 36 is het effect van de maatregelen op wateraanvoerbehoeften en wateraanvoeren te zien. Logischerwijs worden de wateraanvoeren voor laagrenderend landgebruik, peilhandhaving en kapitaalintensief landgebruik significant getroffen door respectievelijk maatregelen 1, 2 en 3. Het effect van de overige drie maatregelen op de aanvoeren (en daarmee op de watertekorten) is substantieel kleiner.



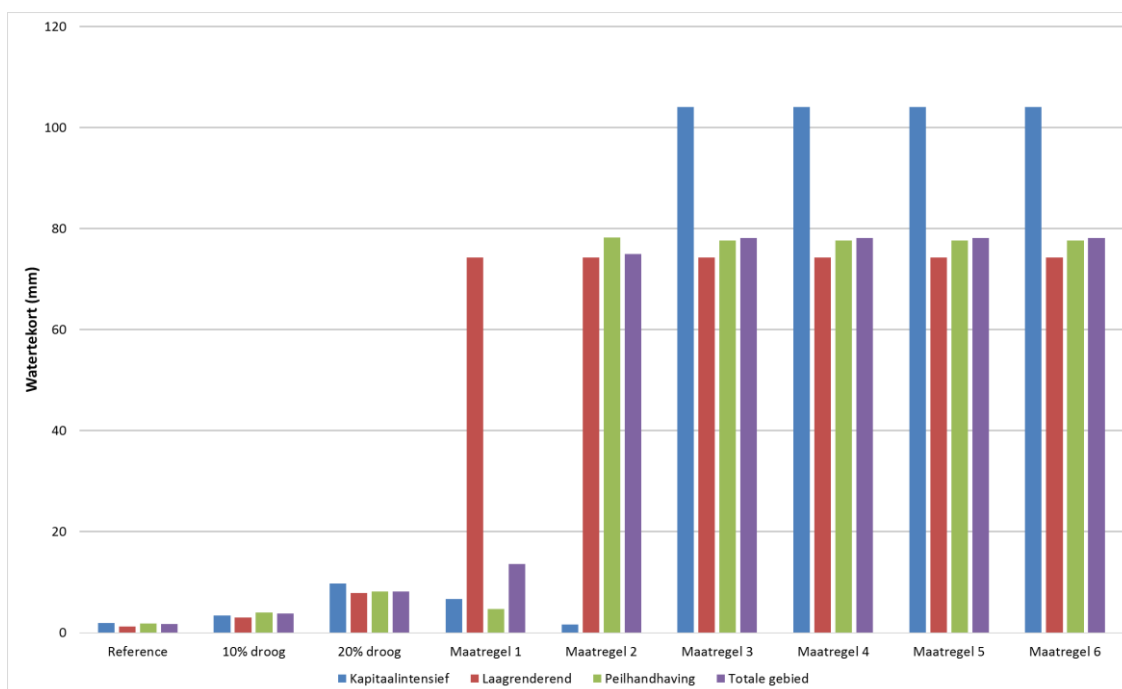


Figuur 41. Jaarlijkse wateraanvoerbehoefte en wateraanvoer in mm als gevolg van het treffen van de verschillende maatregelen.



Figuur 42. Jaarlijkse wateraanvoerbehoefte en wateraanvoer in Mm³ als gevolg van het treffen van de verschillende maatregelen.





Figuur 43. Jaarlijkse watertekort per type landgebruik als gevolg van het treffen van de verschillende maatregelen.

4.3 Schade

Voor de opbrengst van de kapitaalintensieve landbouwgewassen per hectare is het gemiddelde genomen van de categorieën overige landbouwgewassen, glastuinbouw, boomkwekerijen en fruitkwekerijen¹⁴. Voor de opbrengst van akkerland is het gemiddelde genomen van de categorieën aardappelen, suikerbieten, granen en snijmaïs. Vervolgens is deze opbrengst gecorrigeerd voor een inflatie van 2% per jaar voor 2011 en 2012 (Tabel 14 en Tabel 15). Omdat voor de gebieden met laag renderende teelten de ratio tussen akkerland en grasland verschilt, is de opbrengst voor de laag renderende teelten gewogen naar deze ratio. Voor de gebieden met peilhandhaving zijn alleen de schade van watertekorten voor grasland en akkerland meegeteld. De schade is uiteindelijk berekend door de gewogen opbrengst te vermenigvuldigen met het vochttekort in mm en de opbrengstderving per mm (0,2%).

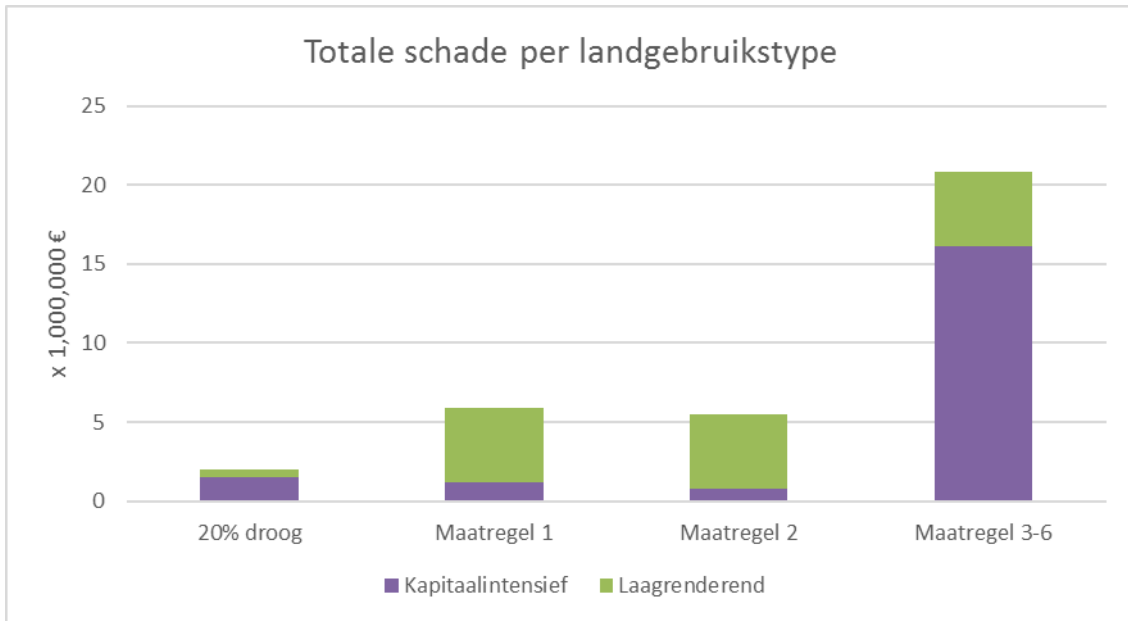
Tabel 14. Gewasopbrengst per landgebruik

Landgebruik	Saldo/ha/jaar	Saldo na inflatiecorrectie
Kapitaalintensief	€ 13,794	€ 14,352
Akkerland	€ 1,968	€ 2,048
Grasland	€ 815	€ 848

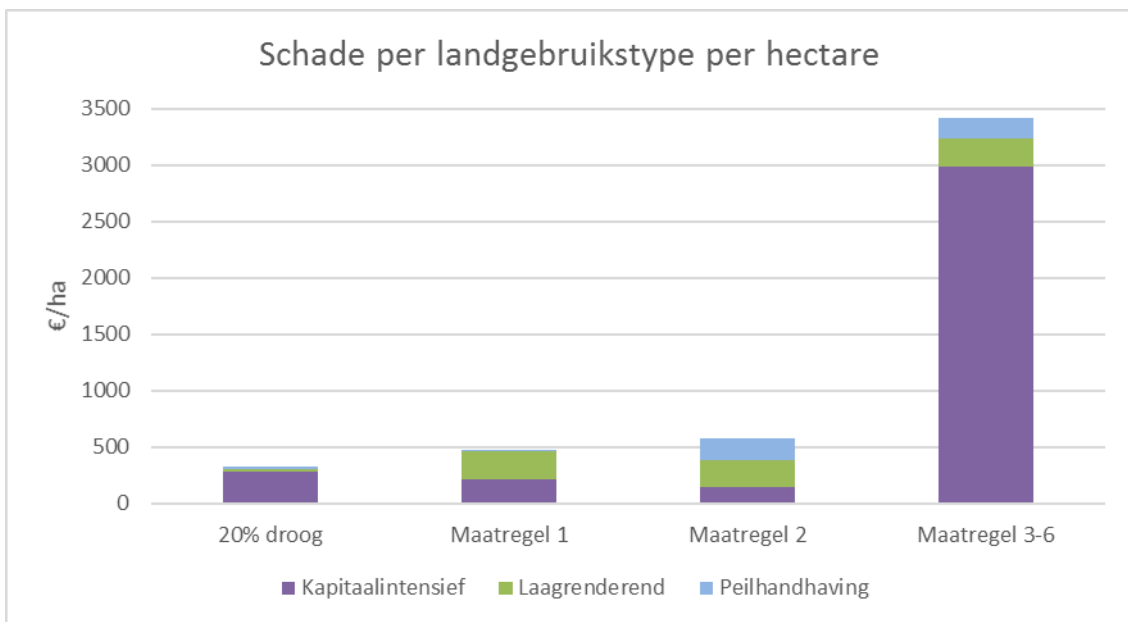
In Figuur 44 is de totale schade per landgebruikstype te zien. Bij het nemen van maatregel 1 (stopzetten oppervlaktewaterberegening voor laag renderende teelten) neemt de schade voor de kapitaalintensieve teelten iets af, maar de schade voor de laag renderende teelten neemt sterk toe. Bij het nemen van maatregel 2 (verminderde aanvoer voor peilhandhaving) neemt de schade voor de kapitaalintensieve teelten nog verder af, maar blijft de schade voor de laag renderende teelten gelijk ten opzichte van maatregel 1. De totale schade voor deze twee landgebruikstypes is dus nog steeds hoger dan in de situatie zonder maatregelen. Bij het nemen van maatregel 3 (stopzetten oppervlaktewaterberegening voor kapitaalintensieve teelten) neemt ook de schade



voor de kapitaalintensieve teelten toe, terwijl de schade voor de laag renderende teelten gelijk blijft. De maatregelen 4 t/m 6 hebben geen invloed meer op de schade van deze landgebruikstypes. Het volledige overzicht van de schade is te vinden in Appendix 16 en Appendix 17.



Figuur 44. Totale schade per landgebruikstype.



Figuur 45. Schade per landgebruikstype per hectare.

Wat opvalt is dat de totale schade bij elke maatregel hoger wordt. De totale aanvoer gaat dan ook omlaag (Appendix 15). Voor de toekomst kan het interessant zijn om een schade te koppelen aan de watertekorten in de gebieden met peilhandhaving (naast gras- en akkerland ook bos, bebouwd, etc.), de zoutindringing en het watertekort voor industrie en drinkwaterbereiding.

Een schadeberekening, zoals hierboven gepresenteerd, kan direct in WEAP uitgevoerd worden door gebruik te maken van de Variable Benefits functie (dit is een van de Cost-functies die per gebiedselement gedefinieerd kan worden).



5 Implementatie in het beslissingsondersteunend systeem

5.1 Technische inzet

Het WEAP-model kan operationeel worden ingezet om waterverdelingsopties door te rekenen en de gevolgen hiervan inzichtelijk te maken. Het woord “model” levert weleens verwarring op. In dit hoofdstuk wordt onderscheid gemaakt tussen “model software” (in dit geval het WEAP-model) en “model data” (input die nodig is voor de model software). Het woord “model” wordt gebruikt voor het geheel van “modelsoftware” en “modeldata”. Er zijn een aantal mogelijkheden om het WEAP-model te implementeren bij waterbeheerders:

- Volledig lokaal: modelsoftware en modeldata staan lokaal.
- Semi-lokaal: modelsoftware lokaal en modeldata centraal.
- Gekoppeld.

Deze mogelijkheden worden hieronder besproken. Daarnaast zijn nog gecombineerde varianten te bedenken, bijvoorbeeld een variant waarbij de waterbeheerder in een lokale versie het effect van een maatregel kan doorrekenen, en bij een gunstig effect dit kan overnemen in de gekoppelde versie.

5.1.1 Volledig lokaal

In de optie van “volledig lokaal” heeft een gebruiker de WEAP-software op de eigen PC geïnstalleerd en ook staat de modeldata op de eigen PC. Deze setup is eenvoudig en kan in vijf minuten worden gerealiseerd. Wel heeft de PC-gebruiker administratieve rechten nodig om software te installeren. WEAP kan direct van de SEI-website worden gedownload. Indien de gebruiker geen wijzigingen in het model wil opslaan kan WEAP in evaluatiemodus worden gebruikt en is geen licentie nodig. Invoergegevens aanpassen, bijvoorbeeld actuele of voorspellende weersgegevens, kan ook worden gedaan in deze evaluatiemodus. Deze gegevens moeten in CSV-formaat worden aangeboden aan WEAP, wat rechtstreeks mogelijk is uit bijvoorbeeld Excel of andere modellen.

De optie van “volledig lokaal” is vergelijkbaar met de standaard setup met Microsoft Office Word op de eigen PC en de Word documenten zelf ook op de eigen PC.

Voordeel van deze optie is de eenvoud. Nadeel is dat niet elke gebruiker met dezelfde versie van het model werkt.

5.1.2 Semi-lokaal

In de optie “semi-lokaal” heeft, net als bovengenoemde “volledig lokaal” optie, een gebruiker de WEAP-software op de eigen PC geïnstalleerd. De modeldata staat ergens centraal opgeslagen en op het moment dat de gebruiker WEAP opstart, wordt het model (dus de modeldata) van een centrale plaats opgehaald. Deze centrale plaats kan een netwerkschijf zijn, maar ook een cloud service.

De optie van “semi-lokaal” is vergelijkbaar met de standaard setup met Microsoft Office Word op de eigen PC en alle Word documenten staan centraal opgeslagen.



Voordeel van deze optie is de eenvoud en dat elke gebruiker met hetzelfde model werkt. Nadeel kan zijn dat veranderingen aangebracht door één gebruiker ook direct invloed hebben op alle andere gebruikers dus afspraken betreffende versiebeheer zijn essentieel.

5.1.3 Gekoppeld

De optie “gekoppeld” kan verschillende mogelijkheden hebben. Aan de ene kant kan WEAP-output gekoppeld worden aan andere software (model en/of visualisatie) voor verdere verwerking van de WEAP-resultaten. Er zijn hierbij een tweetal opties mogelijk. Ten eerste kunnen de WEAP-resultaten geëxporteerd worden in verschillende formaten (Excel, CSV) die vervolgens door andere software gebruikt kan worden. Tweede mogelijkheid is om gebruik te maken van WEAP's API (application programming interface) waarbij resultaten rechtstreeks door veel andere software kan worden gelezen (ook FEWS). Een meer geavanceerde optie is om een zogenoemde Published Interface te bouwen¹.

Voordeel van volledig gekoppeld werken is dat er een integraal systeem ontstaat. Nadeel zou kunnen zijn dat gebruikersflexibiliteit afneemt. Vooral dit laatste kan voor waterverdelingsanalyse met WEAP een potentiaal nadeel zijn, omdat WEAP juist gemaakt is om zeer snel en flexibel standaard maatregelen te analyseren en ook vooral om nieuwe maatregelen te definiëren en te analyseren.

5.2 Organisatorisch en operationeel

Het Deltaprogramma IJsselmeergebied (2014) geeft aan dat de zoetwatervoorziening in het gebied dat van zoetwater wordt voorzien momenteel robuust is; alleen in extreem droge jaren is het nodig het watergebruik te beperken. Klimaatverandering kan echter leiden tot een toenemende watervraag en periodes met minder wateraanvoer naar het IJsselmeergebied. Daarnaast kunnen maatschappelijke ontwikkelingen leiden tot verandering in de waterbehoefte. Hierdoor kunnen in de toekomst vaker knelpunten in de zoetwatervoorziening ontstaan. Het is dan ook van belang dat zowel operationeel maar ook strategisch een tool beschikbaar is om deze watervraag en waterverdeling beter te kunnen kwantificeren.

Een goed onderscheid tussen verschillende beslissingen is om te denken in strategische, tactische en operationele niveaus. Uiteraard liggen deze grenzen niet vast en is overlap niet alleen onoverkomelijk maar zeker ook wenselijk. Aan deze drie niveaus is ook een tijdsfactor en een ruimtelijke factor gerelateerd. Tabel 15

Tabel 15 laat zien dat er duidelijke relaties bestaan tussen ruimtelijke, tijdsschaal en beslisniveau op het gebied van waterverdeling. Met het operationele beslisniveau worden hier het besluitvormingsproces bedoeld tijdens een droge periode over hoe het water verdeeld moet worden. ‘Operationeel’ gaat hierbij dus niet over hoe het water op de juiste plaats gebracht moet worden. Operationele beslissingen vinden uiteraard vooral plaats op kleinere ruimtelijke schalen (peilvak, perceel) en kortere tijdsschalen (dag, uur). De meer strategisch beslissingen vinden plaats op landelijk en waterschapsniveau en betreffen meestal perioden van jaren.

Uitgaande van Tabel 15 is te bepalen waar het WEAP-model ondersteuning kan bieden voor het nemen van beslissingen betreffende waterverdeling. Tabel 16 laat schematisch zien in hoeverre

¹ <https://publicwiki.deltares.nl/display/FEWSDOC/Models+linked+to+Delft-Fews>



het WEAP-model gebruikt zou kunnen worden door verschillen actoren en domeinen. In de tabel zijn domeinen waar betreffende actor geen belangrijke rol speelt niet ingevuld. Specifieke toelichting per actor in relatie tot beslisniveau, en ruimtelijk en tijdsfactoren:

- **Politiek:** In de politiek zal het WEAP-model niet worden gebruikt. Uiteraard kan er wel gebruik gemaakt worden van adviesstudies die op WEAP gebaseerd zijn.
- **Deltaprogramma IJsselmeer:** Binnen het Deltaprogramma wordt een langetermijnstrategie ontwikkeld voor de veiligheid en zoetwatervoorziening van het IJsselmeergebied. Voor een analyse van de zoetwatervoorziening over langere termijn is WEAP erg geschikt omdat het op tijdschalen van maanden erg snel rekent en zeer eenvoudig tientallen scenario's (= projecties en maatregelen) kan analyseren.
- **LCW:** De Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling kan WEAP inzetten naast de beschikbare analysepakketten om vooral een groot aantal scenario's (maatregelen) door te rekenen.
- **Bestuur:** Het bestuur van een waterschap zal WEAP niet snel zelf gebruiken. Uiteraard kan er wel gebruik gemaakt worden van adviezen betreffende waterverdeling die op WEAP gebaseerd zijn.
- **Beleid:** De afdelingen beleid binnen een waterschap en/of provincie kunnen betreffende waterverdelingsvraagstukken zeer goed gebruik maken van WEAP. Vooral de schaalbaarheid maakt WEAP uitermate geschikt om toe te passen.
- **Boezembeheerder:** De regionale waterbeheerder/boezembeheerder is verantwoordelijk voor het verdelen van water tussen verschillende deelgebieden op operationeel en tactisch niveau. Deze regionale waterbeheerder kan zeer goed gebruik maken van WEAP om in korte tijd maatregelen door te rekenen. Hierbij is het goed om een aantal maatregelen standaard geïmplementeerd te hebben. WEAP is echter uitermate geschikt om standaard ingebouwde bestaande maatregelen snel iets te wijzigen in termen van m^3/s en/of prioriteiten. Dit is een proces dat in een uur kan worden gedaan en worden doorgerekend. Nieuwe maatregelen die nog niet standaard zijn doorgevoerd kunnen ook relatief eenvoudig worden geïmplementeerd en worden doorgerekend. Nadat de regionale waterbeheerder de optimale waterverdelingsmaatregel heeft bepaald, is vaak nog wel een meer hydraulisch model noodzakelijk, om exact te bepalen hoe het water op de betreffende locatie te krijgen. Om deze consistentie te bereiken kan WEAP met een hydraulisch model worden gekoppeld.
- **Peilbeheerder:** De peilbeheerder vormt de spil in het gehele operationele waterbeheer. Hij/zij geeft aan de ene kant informatie aan de regionale waterbeheerder over waargenomen knelpunten en is aan de andere kant verantwoordelijk voor de verdeling van het water op kleinere schaalniveaus. Ook een peilbeheerder kan profijt hebben van het WEAP-model door gezamenlijk met de regionale waterbeheerder te kijken naar alternatieve maatregelen. Tegelijkertijd kan de peilbeheerder zijn beslissingen verdedigen naar ingelanden door te laten zien dat de gekozen maatregel optimaal is voor de gezamenlijk ingelanden. De peilbeheerder zal daarnaast ook gebruik kunnen maken van een hydraulisch model om de voorgenomen waterverdeling werkelijk tot stand te krijgen. In veel gevallen heeft de peilbeheerder echter voldoende operationele ervaring betreffende gemalen en stuwen en kan hij/zij zonder hydraulisch model de gewenste verdeling tot stand brengen.
- **Agrariër:** Ingelanden zouden het WEAP-model eventueel kunnen toepassen op hun eigen bedrijf. Aangezien WEAP ook een uitgebreide gewasgroei-module heeft, zou in tijden van beperkingen in wateraanvoer een optimalisatie tussen verschillende percelen/gewassen kunnen worden doorberekend. De vraag is wel of WEAP voldoende meerwaarde geeft voor agrariërs ten opzichte van de inspanningen om het model te bouwen en te leren.



Tabel 15. Actoren in relatie tot beslisniveau, ruimtelijke en tijdfactoren op het gebied van waterverdeling

ACTOR	BESLIS			RUIMTELIJK				TIJD					
	Strategisch	Tactisch	Operationeel	Landelijk	Waterschap	Peilvak	Perceel	Eeuw	Jaar	Maand	Week	Dag	Uur
Politiek													
Deltaprogramma													
LCW													
Bestuur													
Beleid													
Boezembeheerder													
Peilbeheerder													
Agrarier													

LCW = Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling

Tabel 16. De geschiktheid om WEAP in te zetten ter ondersteuning van waterverdelingsbeslissingen voor relevante actoren in relatie tot beslisniveau, ruimtelijke- en tijdfactoren

ACTOR	BESLIS			RUIMTELIJK				TIJD					
	Strategisch	Tactisch	Operationeel	Landelijk	Waterschap	Peilvak	Perceel	Eeuw	Jaar	Maand	Week	Dag	Uur
Politiek	↓			↓				↓	↓				
Deltaprogramma	↗			↗	↑			↑	↑	↑			
LCW	↑			↑	↑					↑	↑		
Bestuur	↓	↓			↓	↓		↓	↓				
Beleid	↑	↑			↓	↗	↓		↑	↑	↑	↗	
Boezembeheerder		↗	↑		↑	↗	↓			↑	↑	↗	↓
Peilbeheerder			↑		↗	↗	↓			↑	↑	↗	↓
Agrarier			↓				↓				↓	↓	↓

Geschiktheid om WEAP in te zetten: ↑ = erg geschikt; ↗ = redelijk geschikt; ↓ = niet geschikt. Geen icoon betekent dat in betreffend domein er geen relevante beslisverantwoording is.



6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Pilotmodel WEAP voor Hunze en Aa's

In deze pilot is het WEAP-model opgezet, gekalibreerd en toegepast om de watervraag te bepalen per gebruiksdoel binnen het beheersgebied van Hunze en Aa's. Een vergelijking tussen het gekalibreerde WEAP-model en gemeten wateraanvoeren toont aan dat WEAP er goed in slaagt de aanvoer op maandbasis te simuleren ($R^2 > 0.9$ voor alle deelgebieden). De succesvolle validatie op afvoer wekt vertrouwen in de mogelijkheden van WEAP om de hydrologische processen in de deelgebieden op maandbasis goed te simuleren. Op week- en dagbasis treden grotere afwijkingen op t.o.v. de metingen, mede omdat de "operational rules" niet worden meegenomen in het historische model. In een operationele setting kunnen deze sturingskeuzes op dagbasis aan het model worden opgelegd, bijvoorbeeld door een beperking op een bepaalde aanvoerroute op te leggen.

Bij alle gepresenteerde resultaten dient te worden opgemerkt dat deze niet alleen een weergave zijn van de mogelijkheden van de tool WEAP in het algemeen, maar ook worden beïnvloed door de gemaakte keuzes in de modelschematisatie en -opzet. Andere keuzes in de modelschematisatie kunnen leiden tot andere conclusies, met name ten aanzien van de watervraag van de verschillende categorieën in de verdringingsreeks.

Voor een aantal scenario's is met het gekalibreerde model de waterverdeling doorgerekend. Deze scenario's hebben zowel betrekking op weersomstandigheden, als op maatregelen die door het waterschap getroffen kunnen worden. Op basis van deze informatie kan de waterverdeling worden geoptimaliseerd, teneinde de economische en maatschappelijke schade te minimaliseren. In deze pilot is gedemonstreerd hoe op deze manier de landbouwschade bij kapitaalintensieve en laagrenderende teelten kwantitatief kan worden gemaakt.

Zes verschillende maatregelen uit het Draaiboek Watertekort van Waterschap Hunze en Aa's zijn doorgerekend om hun impact op verminderen van watertekorten te bepalen. Deze maatregelen zijn "gestapeld" om zo hun cumulatieve effect te bepalen, volgens de in het Draaiboek vastgestelde volgorde. Geconcludeerd kan worden dat met name de stopzetting van toelevering van oppervlaktewater voor beregening en peilhandhaving effect heeft op de watertekorten (maatregelen 1, 2 en 3).

6.2 Mogelijkheden en beperkingen van WEAP

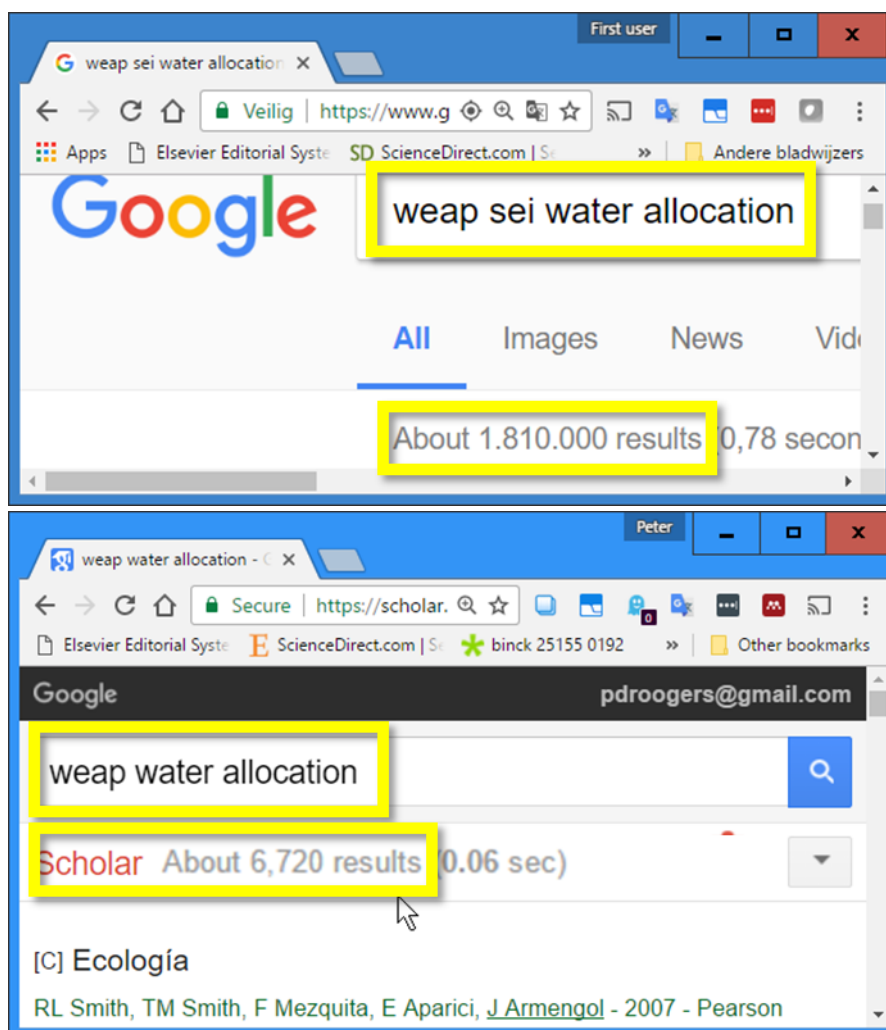
In het algemeen heeft de zoetwatervoorziening voor waterbeheerders een minder prominente rol gekregen ten opzichte van andere waterbeheer- en beleidszaken (Deltaprogramma IJsselmeergebied, 2014). Dit heeft vooral te maken met het feit dat de zoetwatervoorziening voor gebieden die al van zoetwater worden voorzien momenteel redelijk robuust is en er alleen in extreem droge jaren problemen ontstaan. In de toekomst kunnen bijvoorbeeld klimaatverandering en maatschappelijke ontwikkelingen leiden tot veranderingen in de waterbehoefte. Om hier nu al op in te spelen is het ontwikkelen van operationele, tactische en strategisch ondersteunende tools van belang.

In het zoeken naar ondersteunende tools is het principe van "het best model bestaat niet" leidend. Elk model heeft specifieke sterke en zwakke kanten en pogingen die al sinds de jaren 1980 gaande zijn (bijv. SHE-model) om een allesomvattende model te ontwikkelen zijn vaak niet gelukt, ondanks enorme investeringen. Waterbeheerders in Noord-Nederland gebruiken vaak een



combinatie van een oppervlaktewater (hydraulisch) model (gebaseerd op SOBEK, of mogelijk 3Di) en een grondwater model (MIPWA gebaseerd op MODFLOW). Daarnaast worden ook wel wat specifiekere modellen zoals SIMGRO, WALRUS, en SWAP gebruikt. Voor waterverdeling is het LHM (op basis van het NHI) beschikbaar, waarvan in dit rapport de berekende aanvoeren vergeleken zijn met WEAP-resultaten.

Tot nu toe wordt WEAP in Nederland nog erg weinig toegepast. De belangrijkste reden is de onbekendheid met het model bij zowel waterbeheerders als bij de meeste adviesbureaus. Voor zover bekend, is binnen Nederland alleen bij UNESCO-IHE / TU-Delft en bij FutureWater expertise en ervaring aanwezig. Buiten Nederland wordt WEAP echter veelvuldig toegepast en zijn er duizenden rapporten waar WEAP wordt beschreven (Figuur 46).



Figuur 46. Aantal internetpagina's waar het WEAP-model beschreven is (boven) en artikelen en rapporten gevonden op Google Scholar (onder).

De sterke kant van WEAP is de enorme flexibiliteit die het biedt in het opzetten van een model voor een specifiek gebied. Er kan gekozen worden om een model te bouwen dat een laag procesniveau en veel meer conceptueel georiënteerd is, of juist een model waar processen veel meer fysische worden berekend. Een typisch voorbeeld hiervan is dat een watervraag gedefinieerd kan worden als een punt met een aantal kubieke meters watervraag. Dit kan een constante per dag zijn, maar kan ook fluctuerend per dag zijn. Een stap verder is om die punt-watervraag door WEAP te laten bepalen door onderverdelingen te maken (bijv. hectares irrigatie, inwoners, fabrieken). Nog een stap verder is om ruimtelijk te werken door een simpele



hydrologische schematisatie te gebruiken of een meer complexere schematisatie (WEAP heeft hiervoor vijf verschillende opties). Ook in termen van grondwater, distributiesysteem, beperkingen in aan- en afvoer is er een flexibiliteit om meer conceptueel of meer procesmatig een model op te zetten.

Een andere sterke component van WEAP is de focus op optimalisatie van de waterverdeling bij optredende watertekorten. Er kan door gebruik te maken van prioriteiten simpel een verdringingsreeks worden nagebootst, maar ook complexere beperkingen in maximale aanvoer kunnen worden gebruikt (in kubieke meters of in percentage van de vraag, of in hoeveelheid beschikbaar water in grondwater, of oppervlaktewater).

WEAP is ook geheel ingericht om zeer snel en eenvoudig vele scenario's/maatregelen in te bouwen en te berekenen. Het veranderen van prioriteiten, een restrictie van een aanvoerkanaal, een verandering van beregend oppervlak, een veranderde vraag van industrie, veranderingen in totale aanvoer, etc. kunnen zeer snel worden aangepast en doorgerekend.

WEAP is ook uitermate gebruiksvriendelijk met een grafische interface voor zowel het opzetten van het model, maatregelen te definiëren als het presenteren van resultaten. WEAP kan ook redelijk eenvoudig worden gekoppeld met andere modellen en beslissingsondersteunende systemen door gebruik te maken van geautomatiseerde invoer- en/of uitvoerbestanden, de API (application programming interface) of de meer geavanceerde optie van Published Interfaces.

De bovengenoemde voordelen van de flexibiliteit (conceptueel of een meer fysieke georiënteerd model) is tegelijk ook de grootste beperking van WEAP. Er moet vooraf gekozen worden welk modelconcept het beste past bij de vraag die beantwoord moet worden. Daarnaast moet uiteraard ook de vraag gesteld worden of WEAP inderdaad het beste model is of dat beter een ander model kan worden ingezet.

Bovengenoemde mogelijkheden en beperkingen van WEAP zijn in deze pilot zeer duidelijk naar voren gekomen. De belangrijkste punten die naar voren kwamen zijn in hoeverre WEAP geschikt is om de (i) wateraanvoerbehoefte, (ii) waterverdeling en (iii) distributiesysteem te modelleren en tot op welk detailniveau. Uit de pilot is duidelijk naar voren gekomen dat WEAP geen hydraulisch model is dat alle aspecten van het distributiesysteem kan simuleren. Voor wat betreft de waterverdeling laat de pilot zien dat deze goed kan worden geanalyseerd en maatregelen redelijk eenvoudig kunnen worden opgezet. Met name de beregeningsvraag kon goed worden geanalyseerd. De berekende watervraag voor peilhandhaving, en de meest geschikte manier om dit proces in het model te conceptualiseren, behoeft verdere aandacht. Hierbij speelt een rol dat weinig informatie beschikbaar is van de werkelijke watervraag voor peilhandhaving, ter referentie voor de modelresultaten.

Verder is uit de pilot gebleken dat in de Nederlandse context, waar het watersysteem in grote mate wordt gestuurd, WEAP voor tijdstappen van week tot dag minder goed presteert dan op maandbasis. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat WEAP primair een waterverdelingsmodel is, met een beperkte functionaliteit voor simulaties van hydraulische processen. Vanwege de modelopzet van WEAP dienen sommige processen vereenvoudigd te worden, wat gevolgen heeft voor de operationele inzet van het model op dagbasis.

Deze pilot heeft eveneens inzicht gegeven in de ruimtelijke schaalniveaus waarop WEAP succesvol kan worden toegepast. Op het niveau van het waterschap presteert het model goed en ook op deelgebiedsniveau blijkt het model goed bruikbaar, al toont de vergelijking met gemeten afvoeren aan dat de prestatie per deelgebied varieert. Er is in de pilot niet expliciet gekeken naar de prestatie van het model op landelijk niveau. Op basis van de ervaringen in deze



pilot en in veelvuldig inzetten van WEAP in het buitenland, is de inschatting dat WEAP bij uitstek geschikt is voor de waterverdeling van het hoofdwatersysteem naar de regio's (het landelijk niveau).

6.3 Aanbevelingen voor toekomstige inzet van WEAP

Uit de pilot is naar voren gekomen dat het gebouwde model nog te veel beperkingen heeft om direct operationeel, tactisch of strategisch in te zetten. De kern van deze beperkingen is dat voor een aantal componenten niet voldoende aandacht is geweest over de mate van detailniveau (conceptueel tegenover proces). Er zijn drie belangrijke richtingen om uitgaande van het bestaande model tot een effectief watervraag- en waterverdelingsmodel te komen.

Ten eerste moet voor het ontwikkelde model een vereenvoudigingsstap gemaakt worden waarbij aan de ene kant een aantal detailprocessen moeten worden vereenvoudigd en aan de andere kant een geografisch uitbreiding gemaakt kan worden. Dit vereenvoudigde model moet veel minder detail bevatten in het distributiesysteem. Daarnaast zou ook kritisch gekeken moeten worden of het fysische detailniveau voor de berekening van watervraag voor peilhandhaving gerechtvaardigd is gezien de onzekerheden in deze parameterisatie. Dit vereenvoudigde model bevat alle gebieden die water uit het IJsselmeer onttrekken. In eerste instantie zal deze watervraag en waterverdeling op een redelijk conceptueel niveau moeten worden opgezet met voor elke waterbeheerder een beperkt aantal watervraagpunten en watervraaggebieden.

Een tweede richting is om het ontwikkelde model juist op kleiner domein toe te passen (één deelgebied) en voor dit gebied juist de hydrologische processen van peilhandhaving en berekening beter te begrijpen en om te zetten in de juiste parameters. Hierbij moet dan goed worden nagedacht over de achterliggende processen van infiltratie, intreeweerstand, oppervlakte-bodemwater interacties. Een koppeling met bijvoorbeeld WALRUS zou hier ook mogelijk zijn.

Een derde richting is om distributiesysteem zoals dat in het huidige model zit volledig te vervangen door een SOBEK-achtig model. De wateraanvoerbehoefte en de waterverdeling zoals door WEAP wordt bepaald, kan dan operationeel worden gerealiseerd met een SOBEK-achtig model als operationeel beslissingsondersteunend systeem. Hierbij moet dan goed worden nagedacht over een eventuele terugkoppeling indien de beoogde verdeling door het distributiesysteem toch niet kan worden gerealiseerd.

6.4 Reflectie op de pilot

Uit bovenstaand is duidelijk dat het gebouwde model nog te veel beperkingen heeft om direct operationeel, tactisch of strategisch in te zetten. Dit was wel de verwachting aan het begin van de pilot. De hoofdreden is dat de modellenexperts aan het begin van de pilot onvoldoende aandacht hebben besteed aan het zogenoemde verwachtingsmanagement. Dit heeft geresulteerd in een model waarbij componenten wel zijn ingebouwd met een te hoog detailniveau die niet voldoende getest zijn. Ook zijn de modellenexperts mogelijk te ver gegaan met de focus op een "perfect" model op te leveren, niet ingedachte houdend dat het een pilot betrof waar ook juist ruimte voor zwakke componenten in het model naar voren moesten komen.

De workshop waarbij de beoogde eindgebruikers werkelijk met het WEAP-model aan de slag zijn gegaan is pas aan het eind van de pilot gehouden. Het is waarschijnlijk dat als deze workshop aan het begin van de pilot gehouden zou worden, er een beter inzicht zou zijn wat de mogelijkheden en beperkingen van WEAP zijn.





Appendix 1: Verdringingsreeks Noord-Nederland

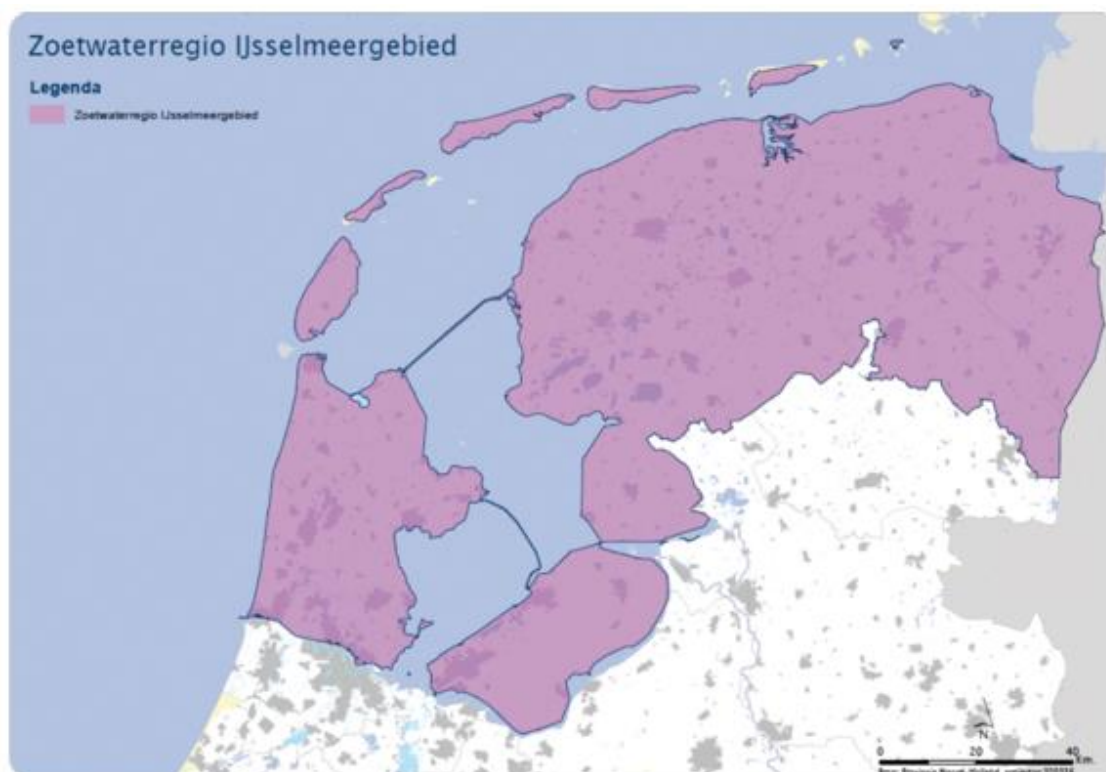
Prioriteitstelling wateraanvoer bij situaties van watertekort (verdringingsreeks)

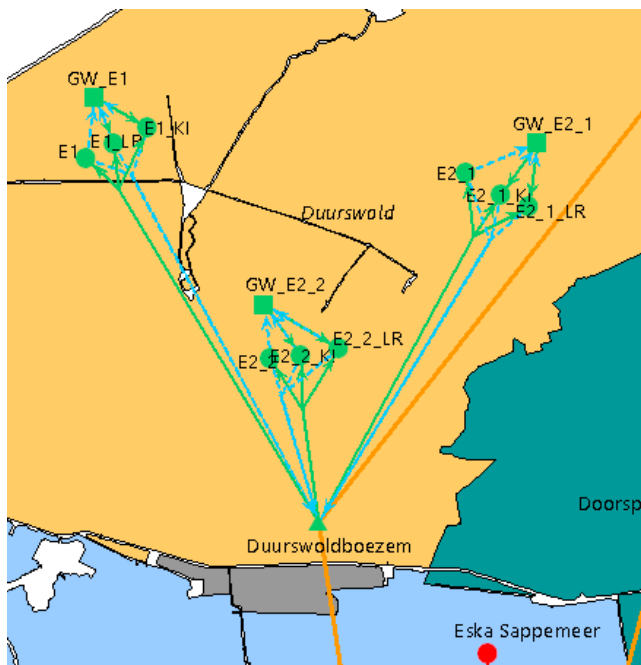
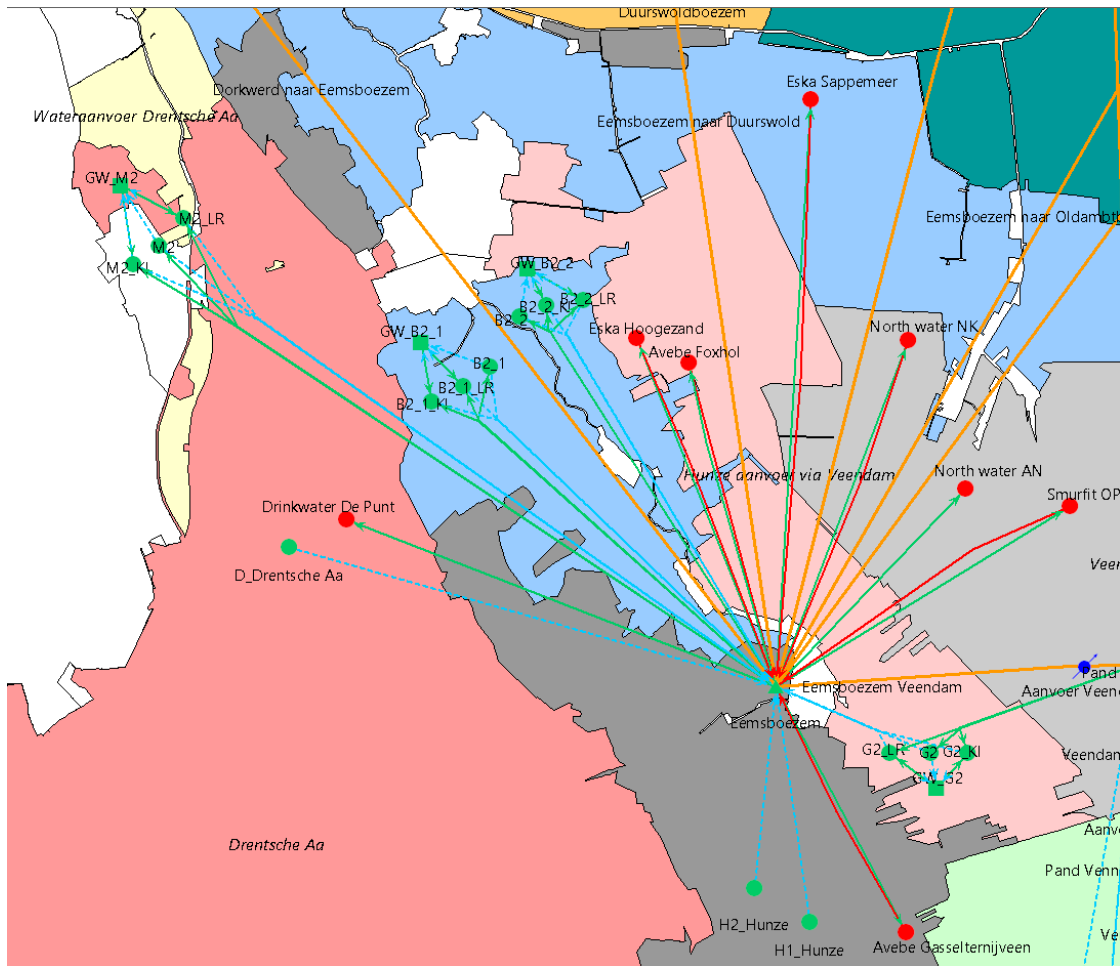
In perioden dat de peilen door ernstige watertekorten niet langer kunnen worden gehandhaafd handelt het waterschap volgens onderstaande prioriteitstelling, waarbij wateraanvoer ten behoeve van het hoogste nummer het eerst afvalt. Deze zgn. verdringingsreeks is conform de richtlijnen van het Rijk en de provinciale nota Normdoelstellingen Water c.q. provinciale omgevingsverordening.

Nr.	Prioriteit
Categorie 1: Veiligheid en voorkomen onomkeerbare schade	
1.	Peilhandhaving van het hoofdsysteem (primaire aanvoersysteem incl. alle andere kanalen in ophoging) voor de stabiliteit van de waterkeringen
2.	Peilhandhaving ter voorkoming van onomkeerbare klink (m.n. in veengebieden) en zetting (van bebouwing en infrastructuur)
3.	Peilhandhaving ter behoud van ecologische kwaliteit in gebieden met karakteristieke natuur- en landschapswaarden
Categorie 2: Nutsvoorzieningen	
4.	Onttrekking aan het oppervlaktewater en doorspoeling ten behoeve van drinkwatervoorziening
Categorie 3: Kleinschalig hoogwaardig gebruik	
5.	Doorspoeling van stedelijk en landelijk gebied ter voorkoming van botulisme en blauwalgen in geval sprake is van een risico voor de volksgezondheid
6.	Onttrekking van proceswater aan oppervlaktewater ten behoeve van de industrieën en gietwater
7.	Doorspoeling van het Eemskanaal (ten behoeve van het zoet houden van de voedingsweg naar Oost-Groningen)
8.	Berekening van akker- en tuinbouwgewassen, in de situatie dat met relatief kleine hoeveelheid water relatief grote sociaal-economische gevolgen te voorkomen zijn
Categorie 4: Overige belangen	
9.	Berekening van akker- en tuinbouwgewassen, sportvelden en greens (excl. 8)
10.	Doorspoeling ten behoeve van aanvoer berekening
11.	Peilhandhaving in het gebied ten zuiden van het Winschoterdiep en Westerwoldsche Aa (zomerpeil kan uitzakken tot winterpeil)
12.	Algehele peilhandhaving in de overige gebieden (excl. 1, 2, 3 en 11)
13.	Peilhandhaving, evt. doorspoeling niet-kwetsbare natuurgebieden
14.	Onttrekking voor berekening van gras en mais uit oppervlaktewater
15.	Doorspoeling ten behoeve van aanvoer berekening (excl. 8 en 9)
16.	Waterstandsverhoging in het gebied ten zuiden van het Winschoterdiep en Westerwoldsche Aa ten behoeve van extra infiltratie (maximaal 20 cm boven zomerpeil)
17.	Waterstandsverhoging in de overige gebieden ten behoeve van extra infiltratie
18.	Eventuele lokstromen voor visintrek
19.	Algehele doorspoeling provincie (excl. 4, 5, 7, 10, 13 en 15)
20.	Zuinig aandoen met schutbedrijf (evt. konvoovaart)

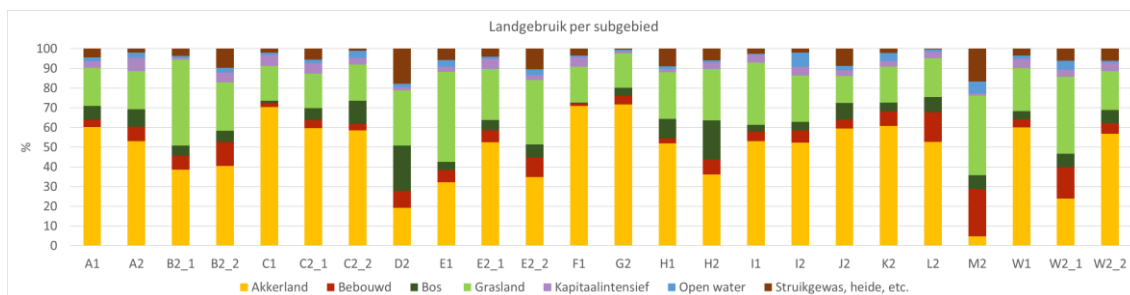


Appendix 2: Zoetwaterregio's





Appendix 4: Landgebruikspercentages



Sub-gebied	Akkerland	Bebouwd	Bos	Grasland	Kapitaal-intensief	Open water	Struikgewas/heide
Aanvoer uit zuiden							
A1	60%	4%	7%	19%	4%	2%	4%
A2	53%	7%	9%	19%	7%	3%	2%
Aanvoer uit Zuidlaardermeer en Winschoterdiep							
B2_1	39%	7%	5%	44%	1%	1%	4%
B2_2	40%	12%	6%	25%	5%	2%	10%
Avebe							
C1	70%	2%	1%	18%	6%	1%	2%
C2_1	60%	4%	6%	18%	5%	2%	5%
C2_2	59%	3%	12%	18%	3%	3%	1%
Drentsche Aa							
D2	19%	9%	23%	28%	1%	2%	18%
Duurswold							
E1	32%	6%	4%	46%	3%	3%	6%
E2_1	53%	6%	5%	26%	5%	1%	4%
E2_2	35%	10%	6%	33%	3%	3%	11%
Fiemel							
F1	71%	1%	0%	18%	5%	1%	3%
Hunze aanvoer via Veendam							
G2	72%	4%	4%	17%	1%	1%	0%
Hunze							
H1	52%	3%	10%	24%	2%	1%	9%
H2	36%	8%	20%	26%	3%	1%	6%
Oldambt							
I1	53%	5%	3%	32%	4%	1%	3%
I2	52%	6%	4%	24%	5%	7%	2%
TAK							
J2	59%	5%	8%	14%	3%	2%	9%
Veenkoloniën							
K2	61%	8%	4%	18%	3%	4%	2%



Vennix							
L2	53%	15%	8%	20%	3%	1%	0%
Wateraanvoer Drentsche Aa							
M2	5%	24%	7%	40%	1%	6%	17%
Westerwolde							
W1	60%	4%	4%	22%	5%	2%	4%
W2_1	24%	16%	7%	39%	4%	4%	6%
W2_2	57%	6%	7%	20%	4%	1%	6%
Totaal	46%	7%	9%	25%	4%	3%	5%

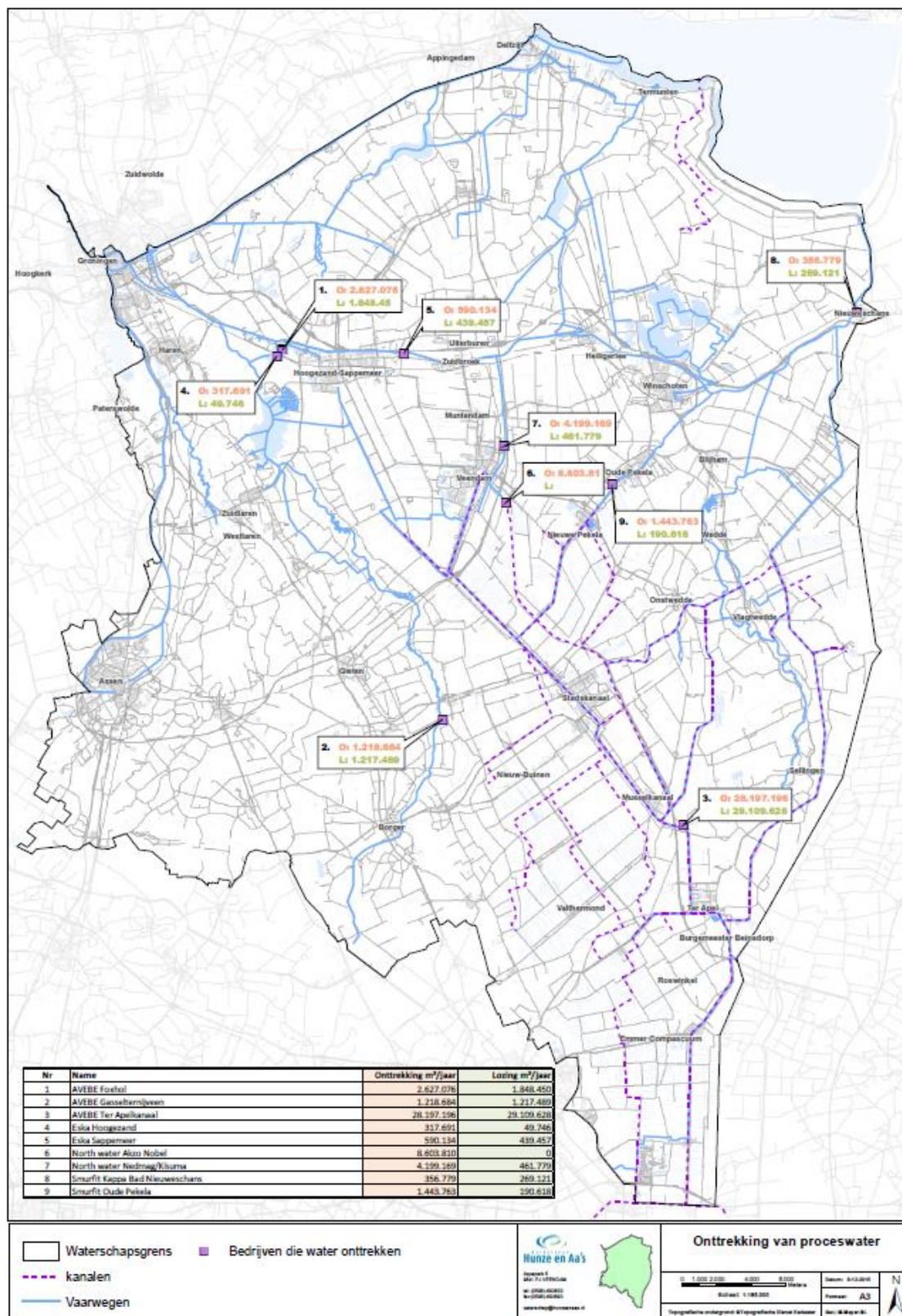


Appendix 5: Percentage beregend

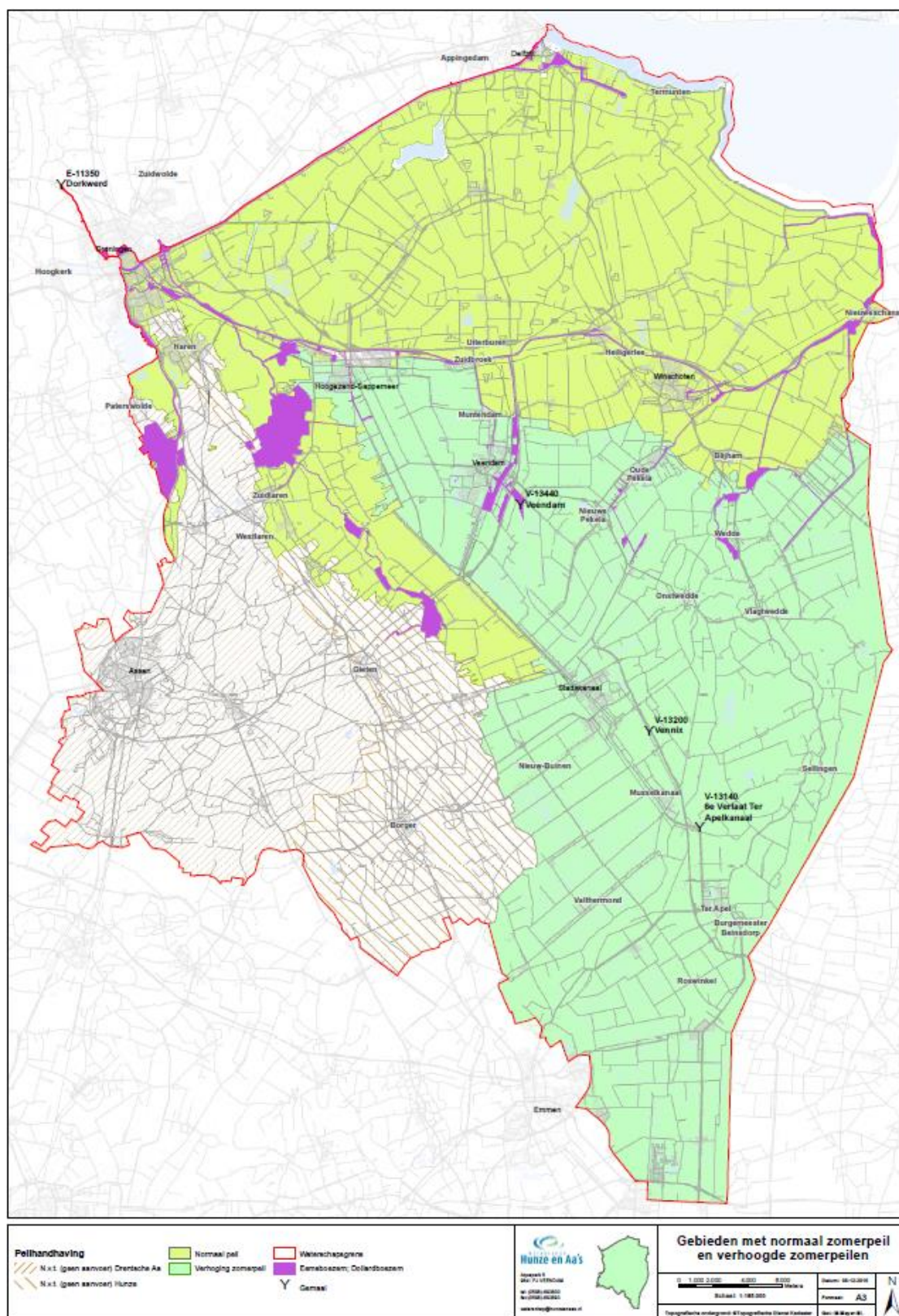
Deelgebied	Percentage beregend
Aanvoer uit zuiden	12%
Aanvoer uit Zuidlaardermeer en Winschoterdiep	15%
Avebe	28%
Duurswold	16%
Fiemel	16%
Hunze via Veendam	10%
Oldambt	17%
Ter Apelkanaal (TAK)	18%
Veenkoloniën	22%
Vennix	21%
Wateraanvoer Drentsche Aa	3%
Westerwolde	14%
Totaal over wateraanvoergebieden Hunze en Aa's	16%



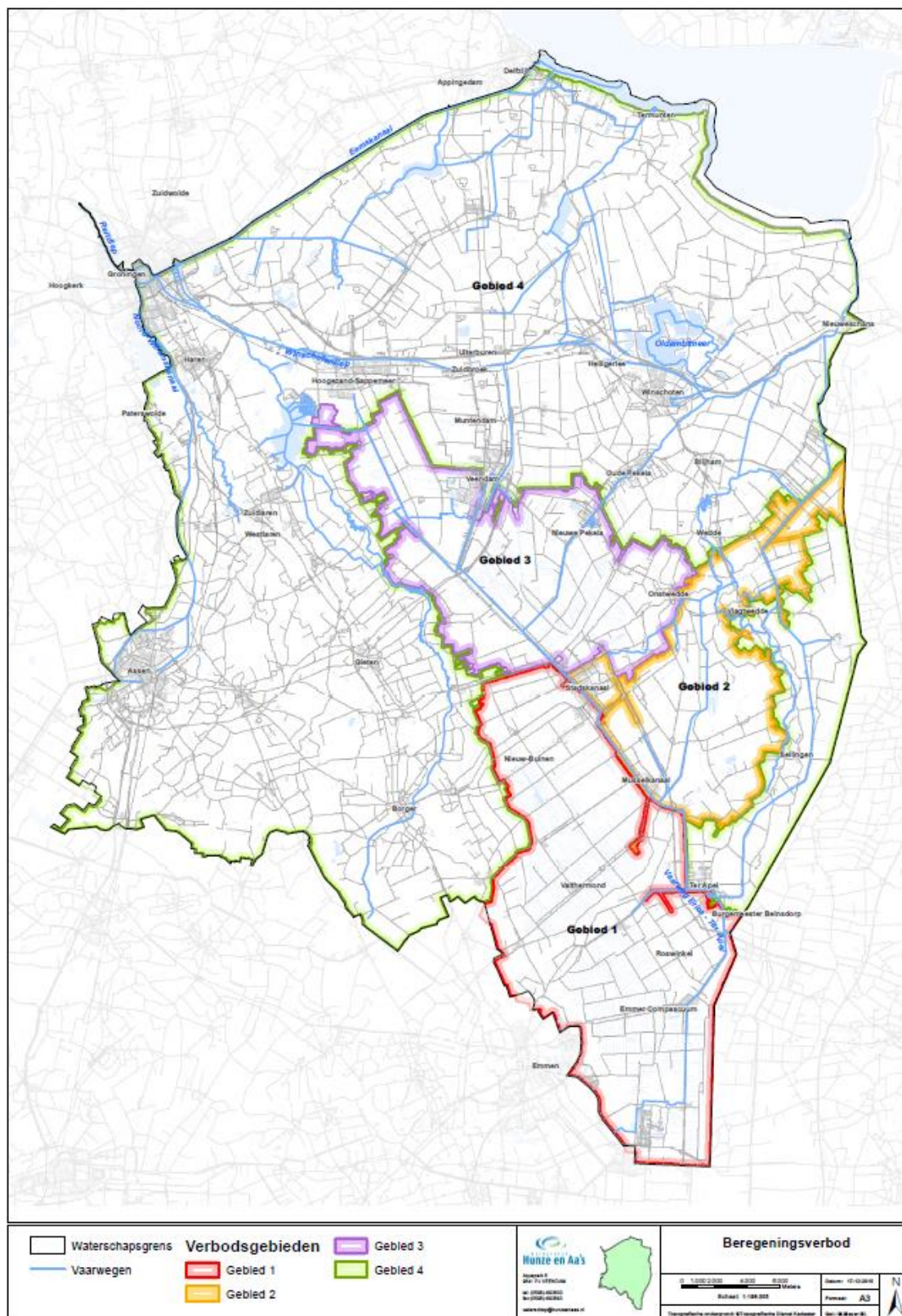
Appendix 6: Industriële onttrekkingen



Appendix 7: Gebieden met normaal zomerpeil en verhoogde zomerpeilen



Appendix 8: Indeling beregeningsverbod

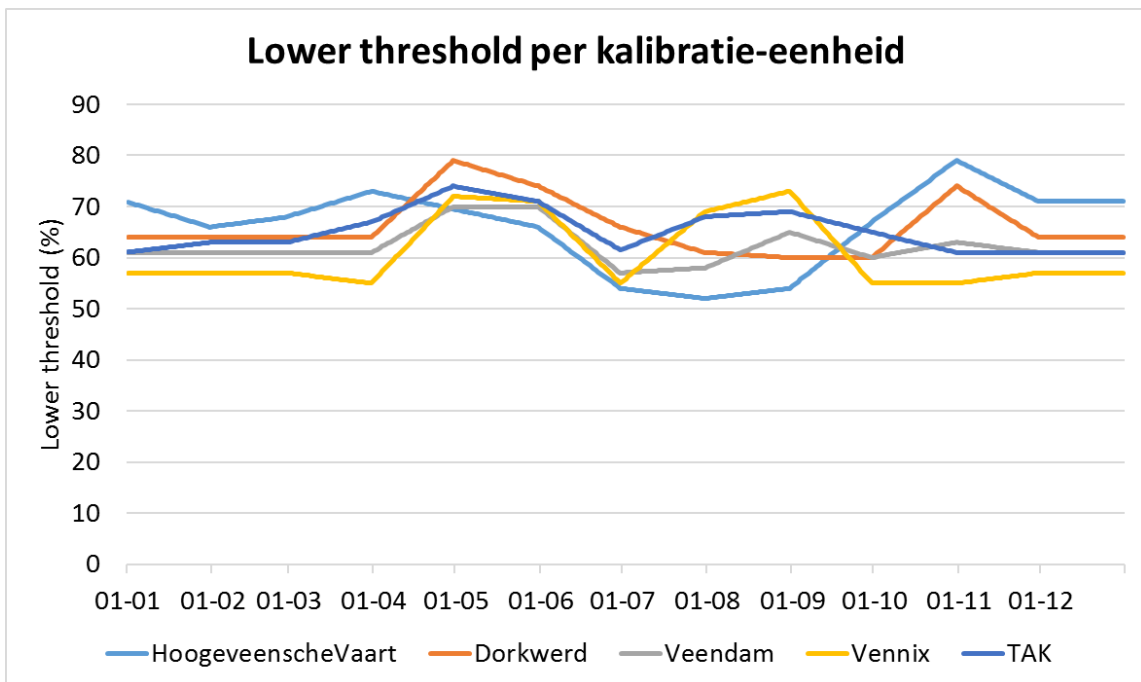


Appendix 9: Beschikbare meetgegevens per deelgebied

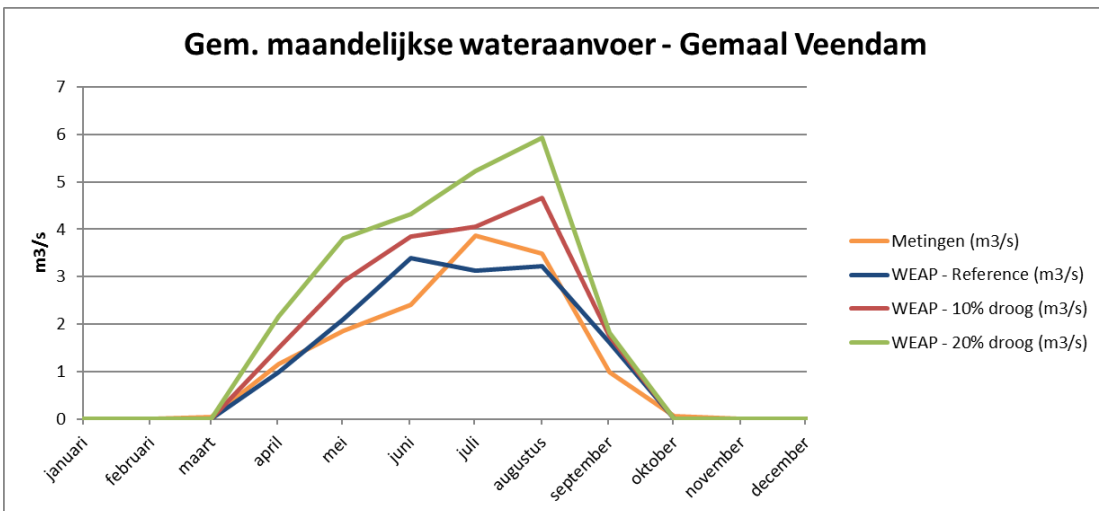
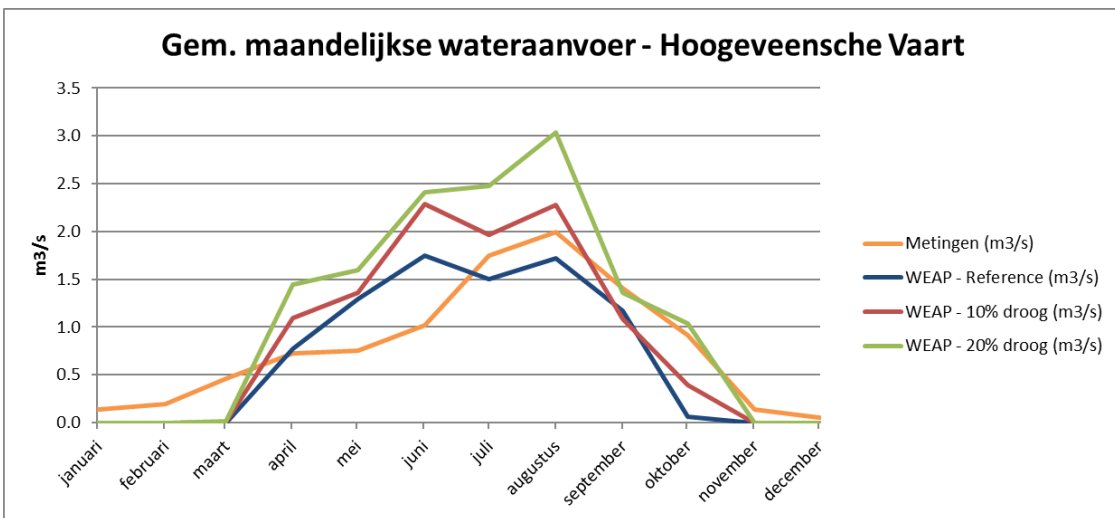
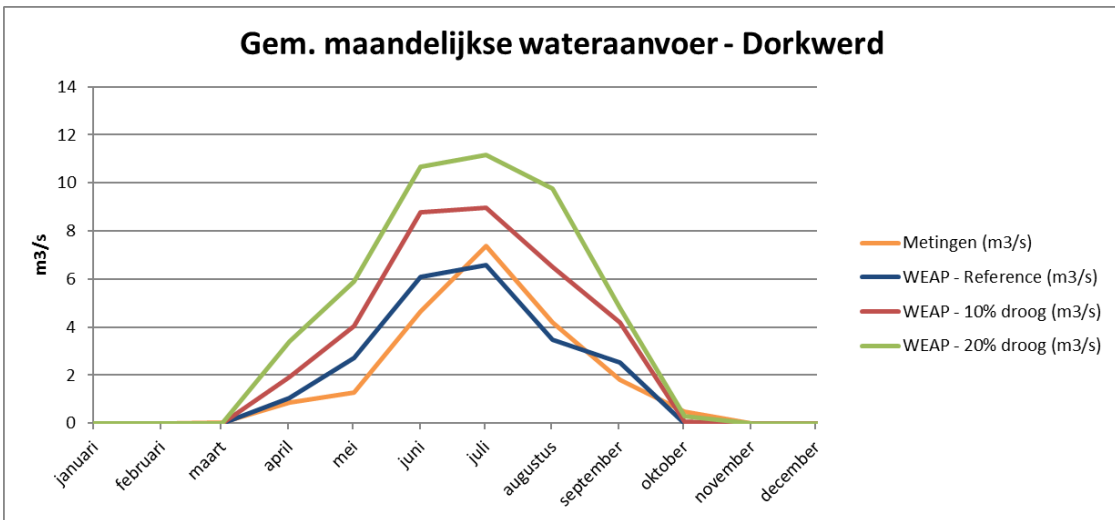
Deelgebied	Aanvoermeetpunt	Afvoermeetpunt
Aanvoer uit zuiden	Inlaten Hoogeveense Vaart	Vleddermond + Lokkersluis + Gasselternijveenschemond
Aanvoer uit Zuidlaardermeer en Winschoterdiep	Onbekend	Onvolledig
Avebe	Gemaal Avebe + inlaat Jipsingboermussel	Afvoer Avebe + Vennix = Veelerveen min Stuwsluis Vlagtwedde min Stuw Voedingsleiding
Duurswold	Onbekend	Gemaal Duurswold
Fiemel	Slecht bekend door kleinere inlaten	Gemaal Fiemel
Hunze via Veendam	Onbekend	Onbekend
Oldambt	Onbekend	Gemaal Rozema
Ter Apelkanaal (TAK)	Inlaat sluis ter Apel + Inlaat Ter Apel (kleine inlaat: 300 L/s in zomer)	Onvolledig
Veenkoloniën	Onbekend	Onbekend
Vennix	Onbekend	Afvoer Avebe + Vennix = Veelerveen min Stuwsluis Vlagtwedde min Stuw Voedingsleiding
Wateraanvoer Drentsche Aa	Onbekend	Onbekend
Westerwolde	Slecht bekend door kleinere inlaten	Onvolledig
Totale gebied	Gemaal Duurswold	Oude zeesluis Farmsum+ Gemaal Rozema + Nieuwe Statenzijl

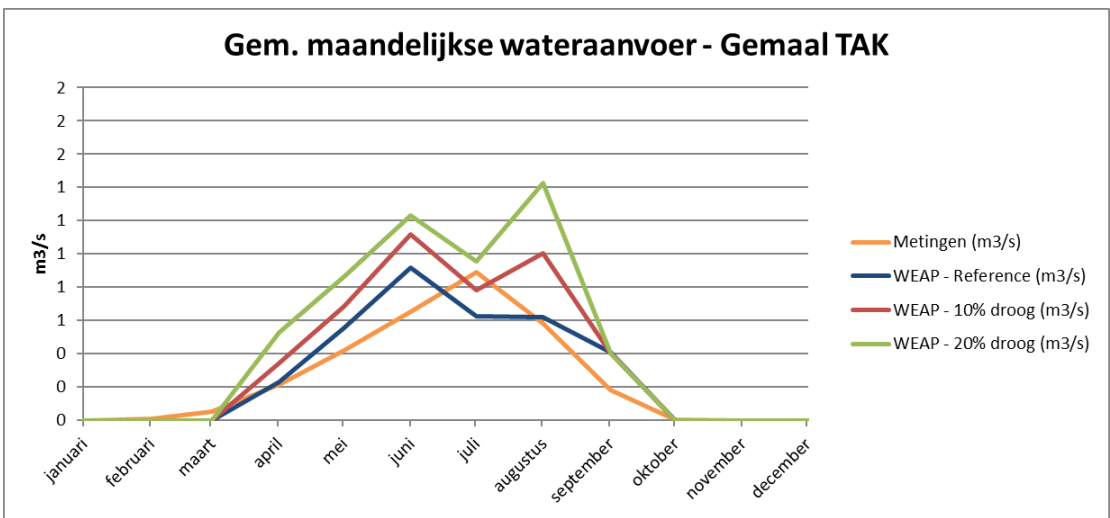
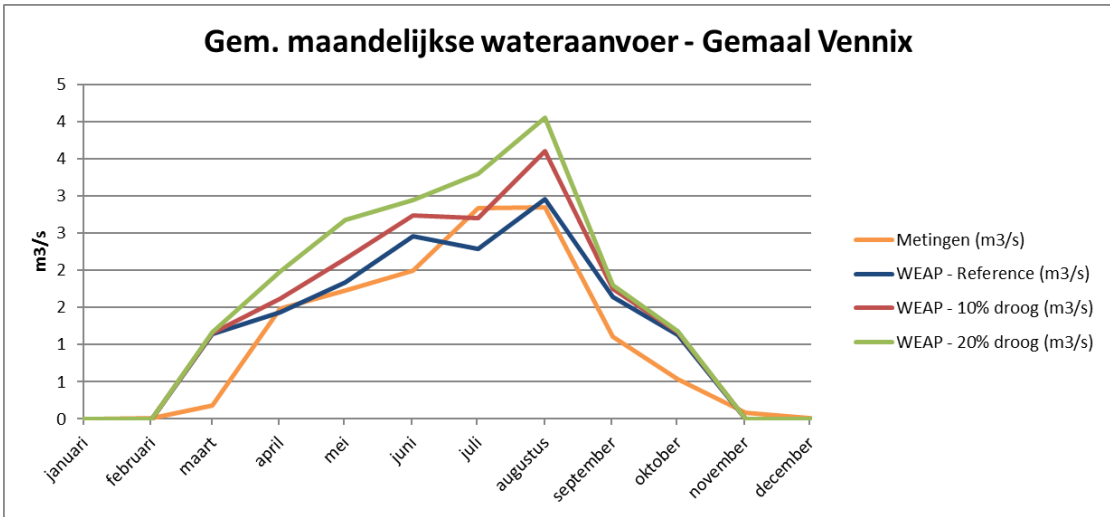


Appendix 10: Lower threshold per kalibratie-eenheid

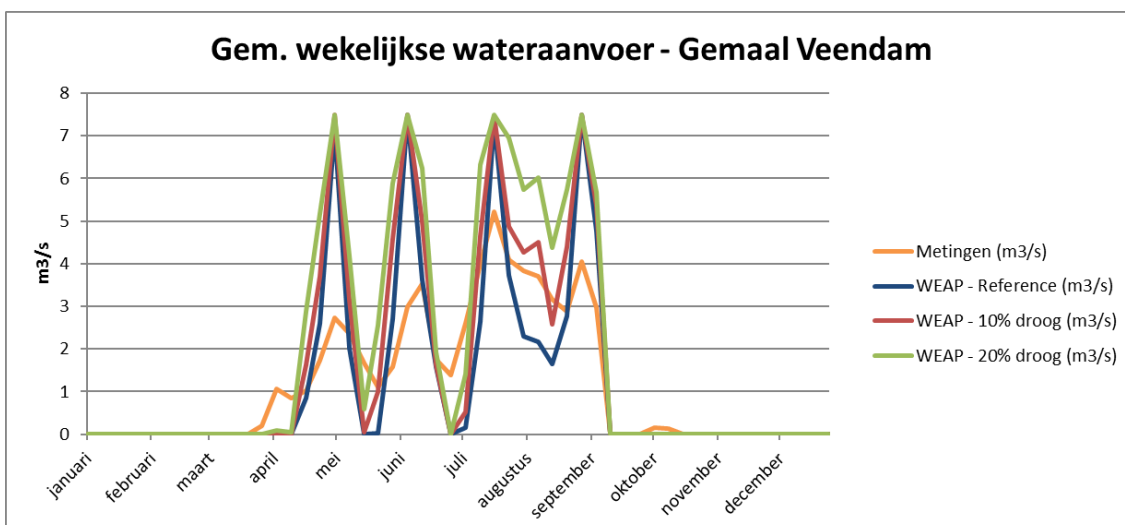
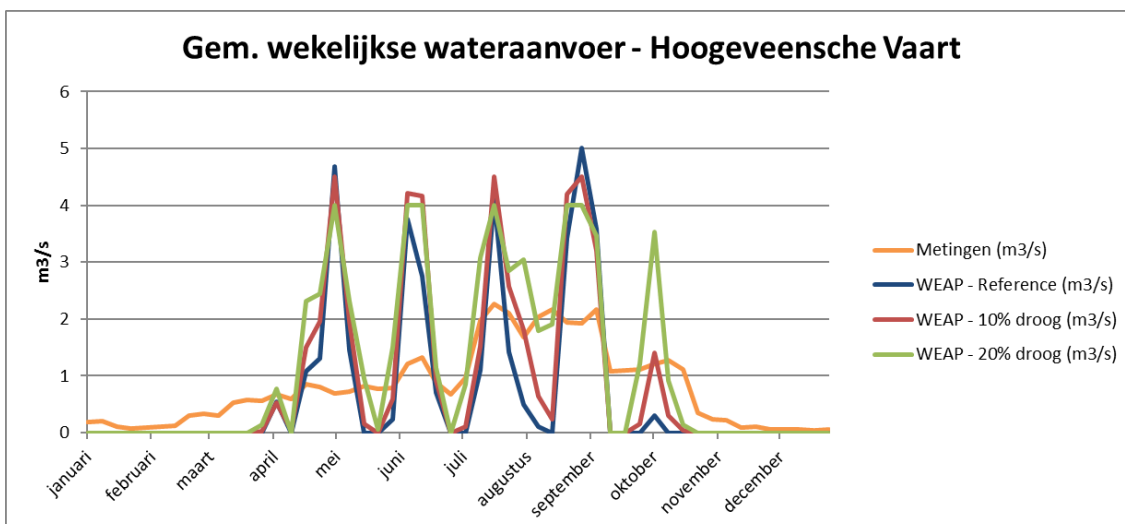
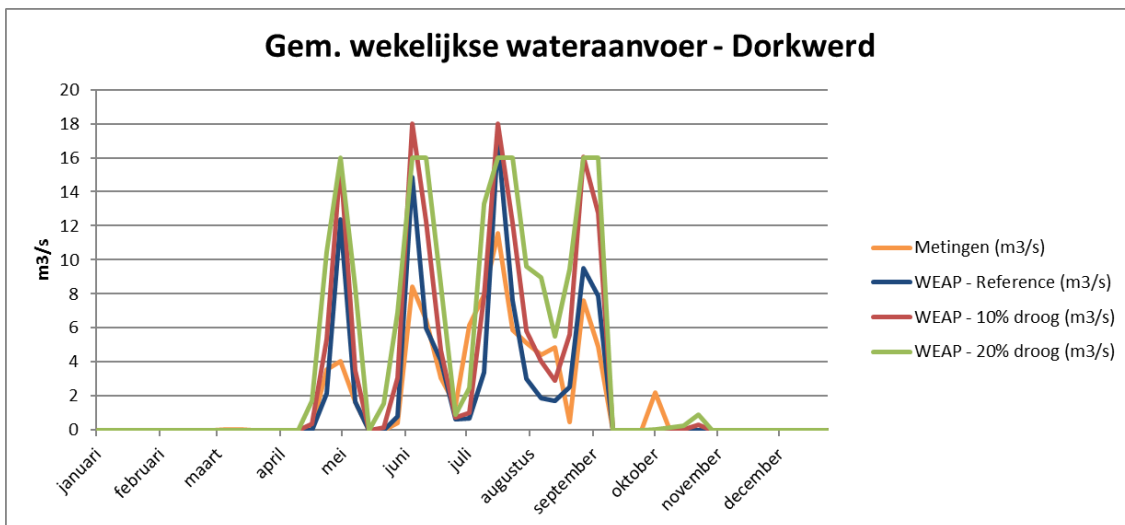


Appendix 11: Gesimuleerde en gemeten maandelijkse aanvoeren

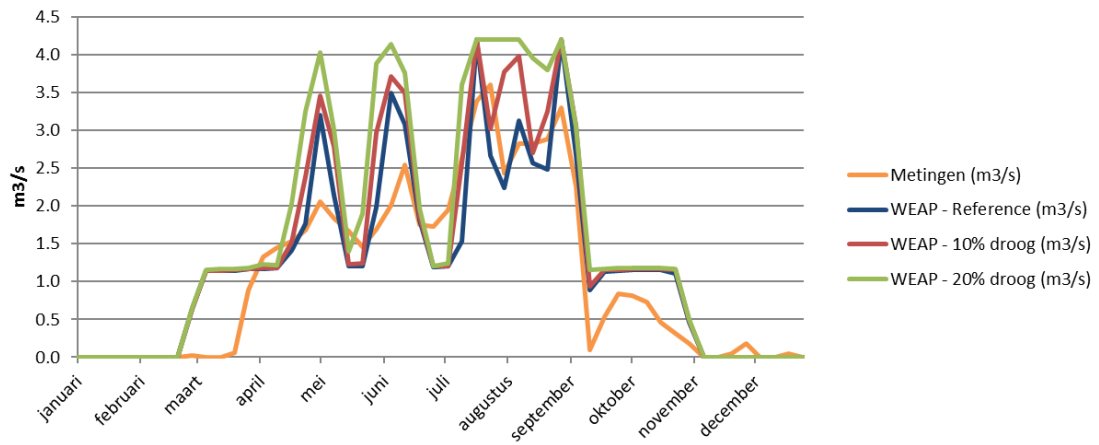




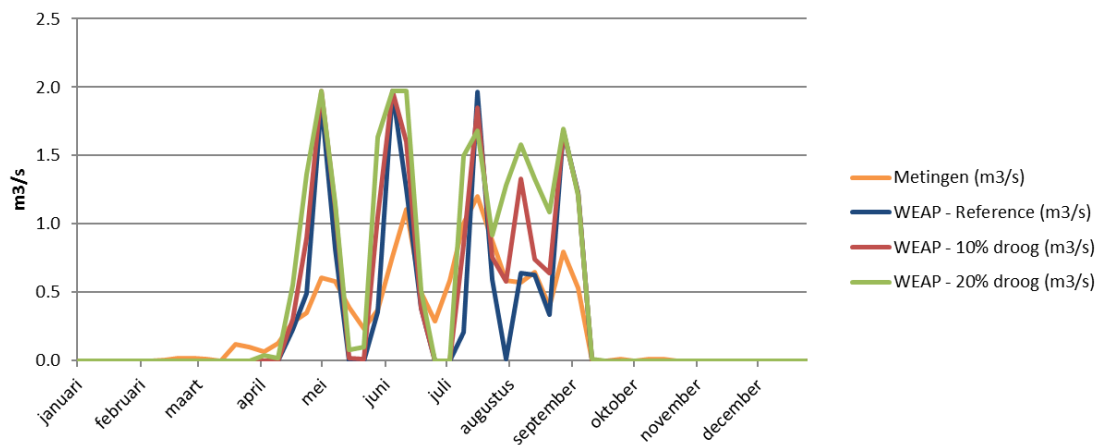
Appendix 12: Gesimuleerde en gemeten wekelijkse aanvoeren



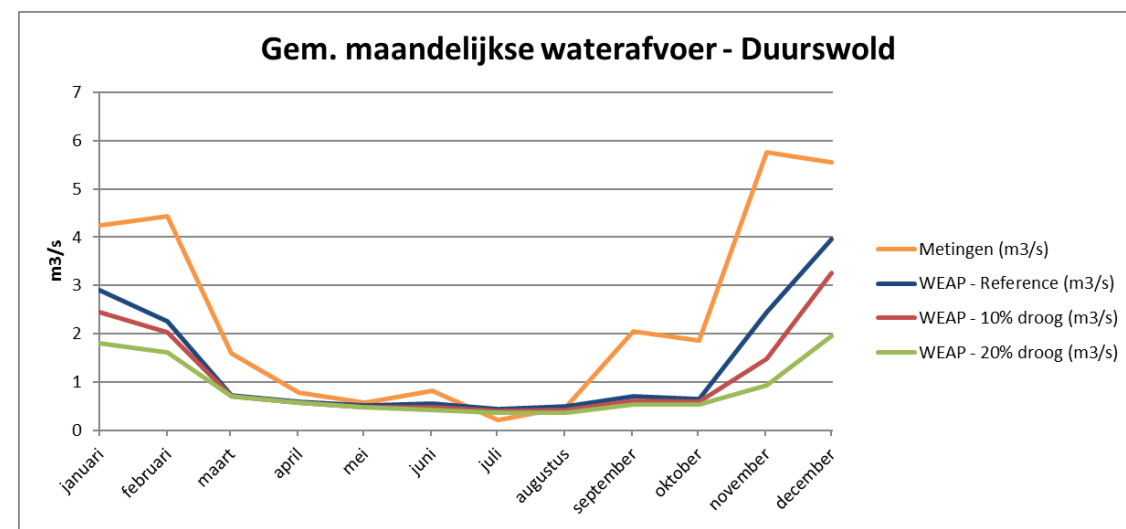
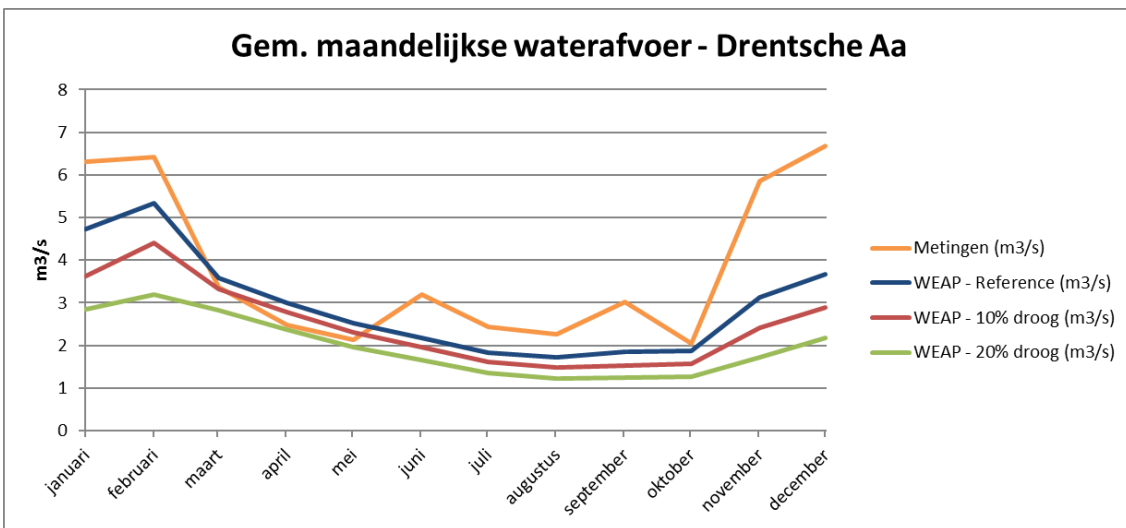
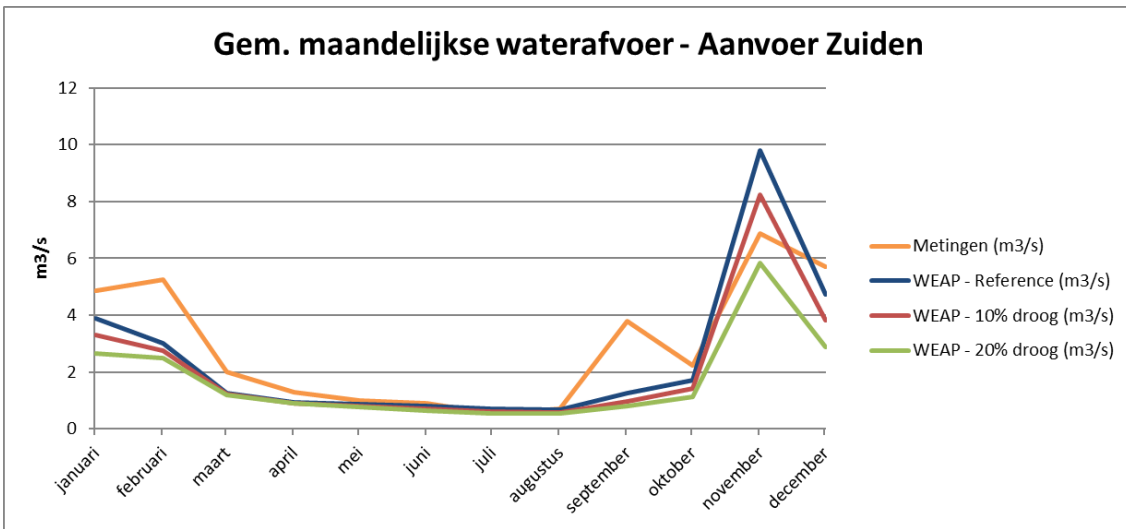
Gem. wekelijkse wateraanvoer - Gemaal Vennix

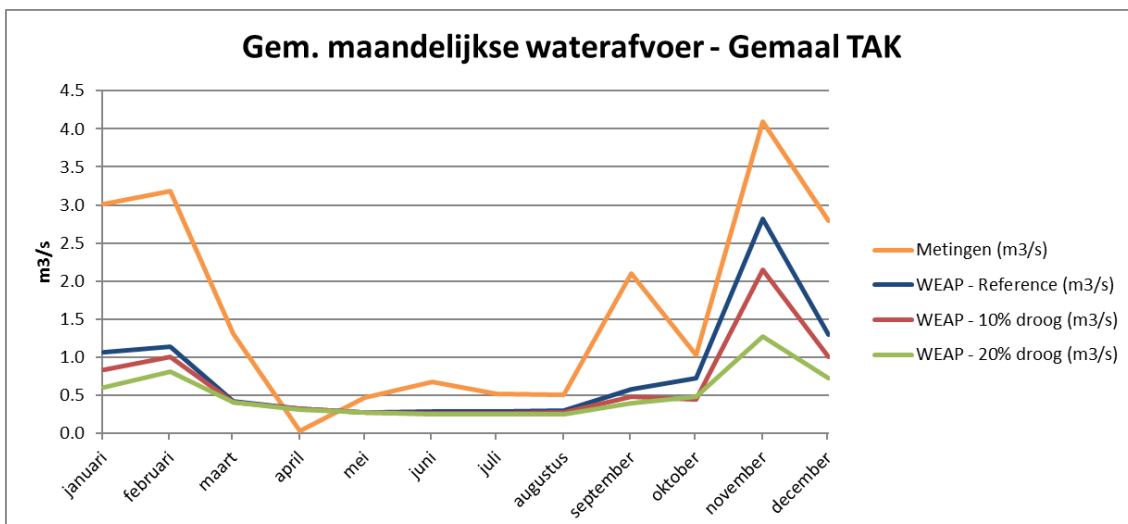
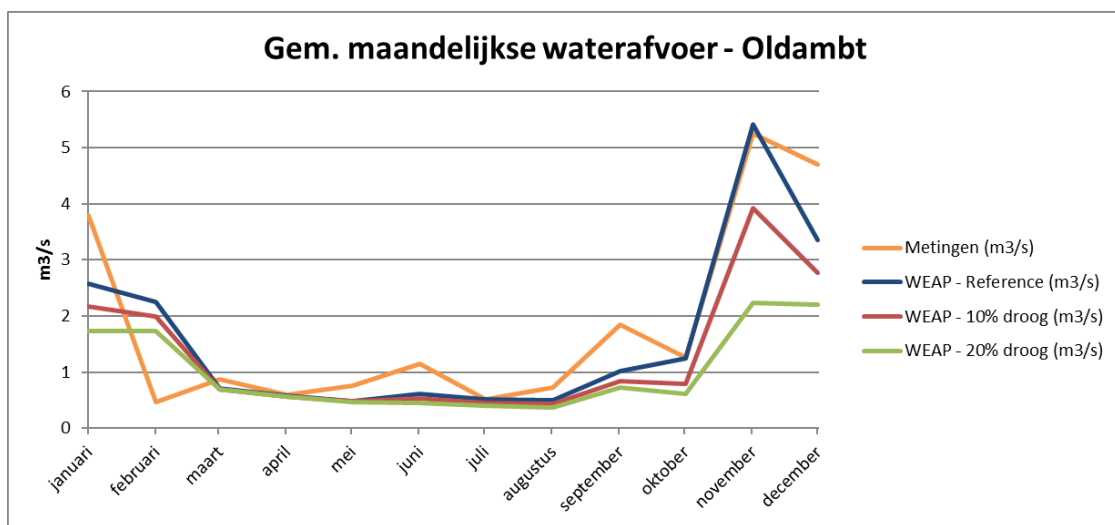
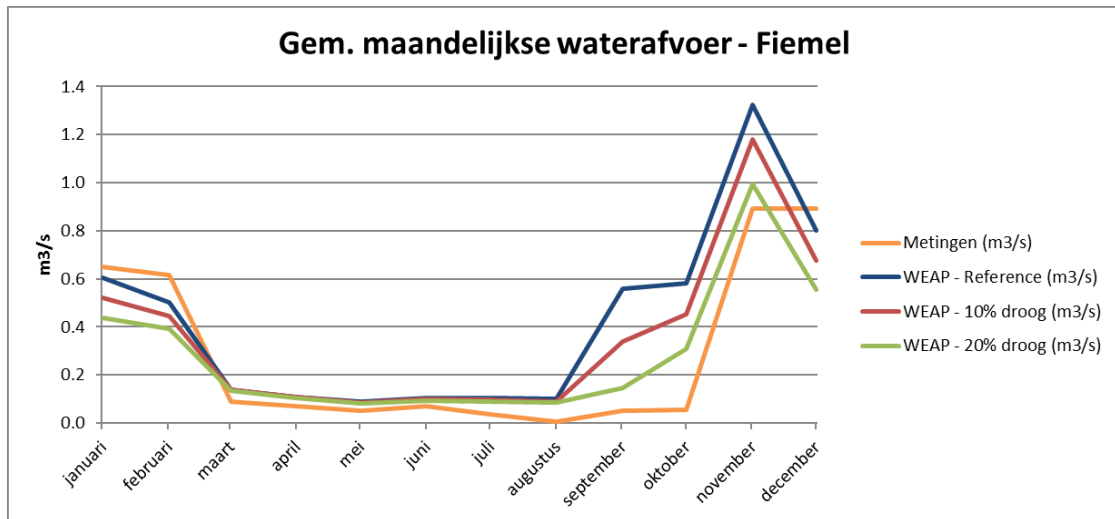


Gem. wekelijkse wateraanvoer - Gemaal TAK

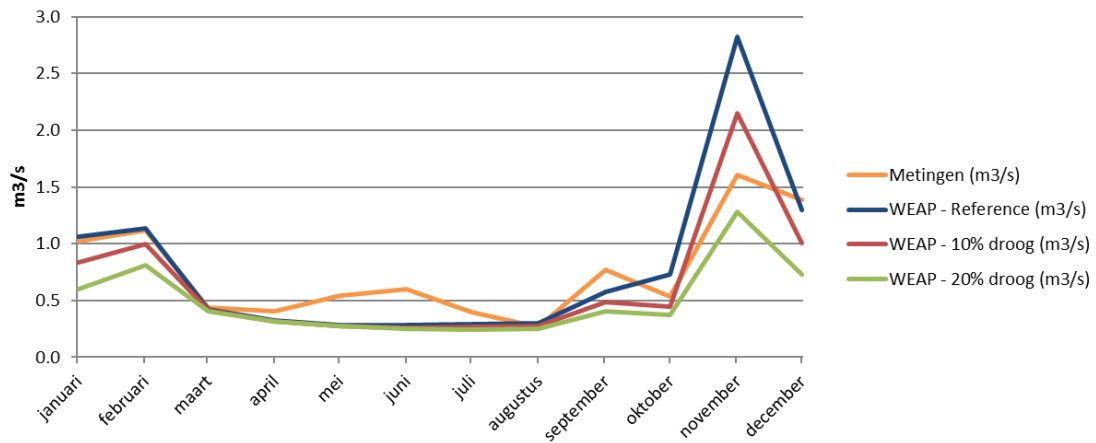


Appendix 13: Gesimuleerde en gemeten maandelijks afvoeren

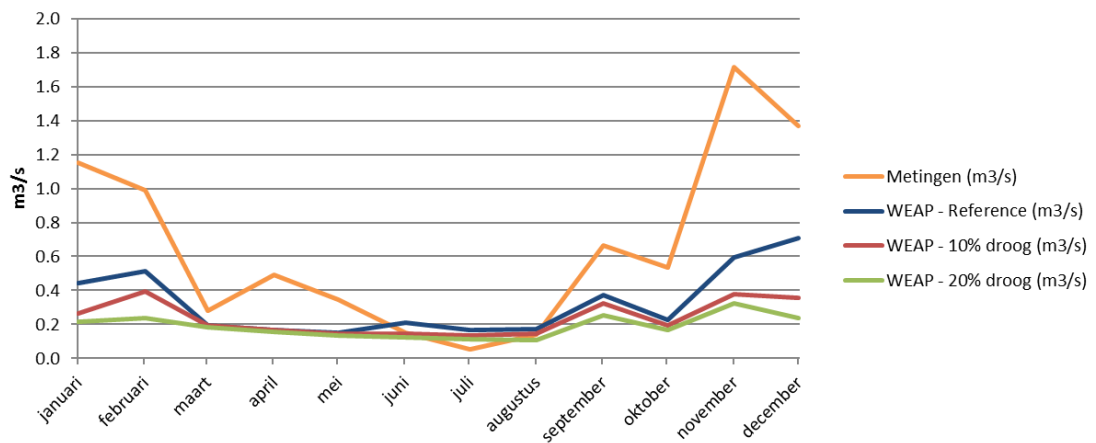




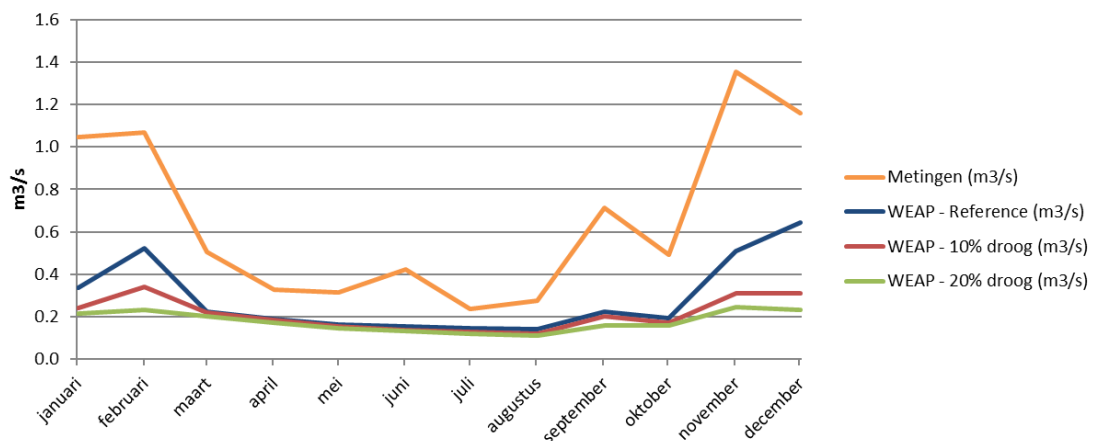
Gem. maandelijkse waterafvoer - TAK



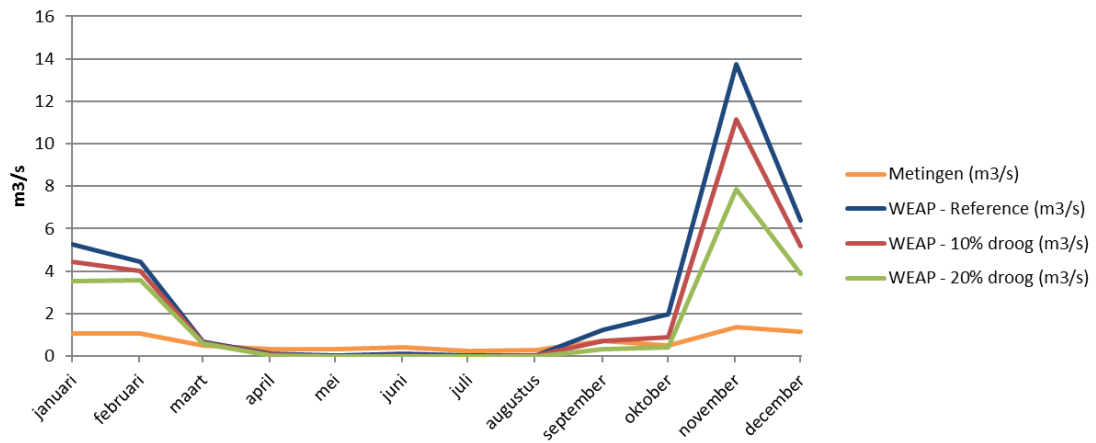
Gem. maandelijkse waterafvoer - W2_1



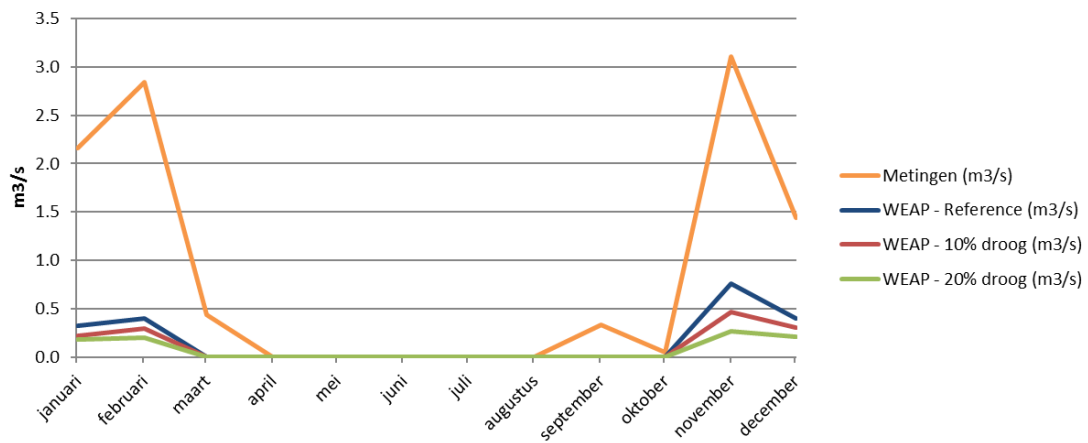
Gem. maandelijkse waterafvoer - W2_2



Gem. maandelijkse waterafvoer - Gemaal Veendam



Gem. maandelijkse waterafvoer - Gemaal Vennix



Appendix 14: Tekorten (in mm) per deelgebied en landgebruikstype

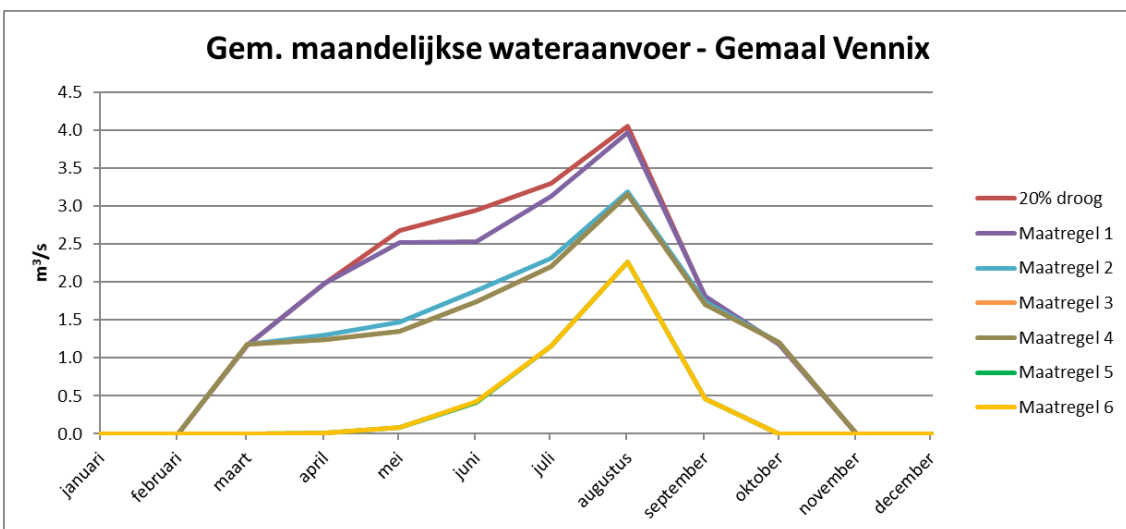
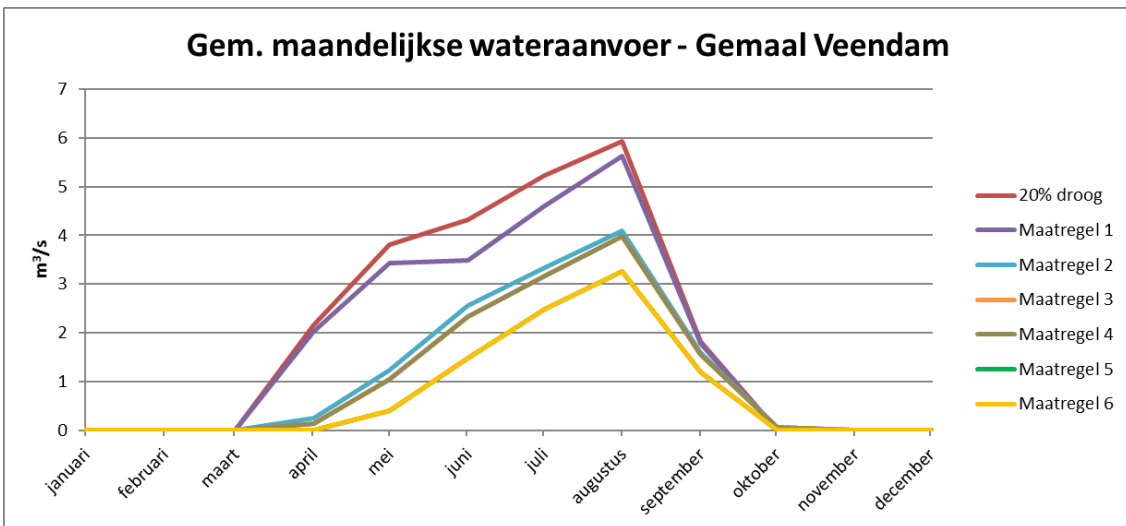
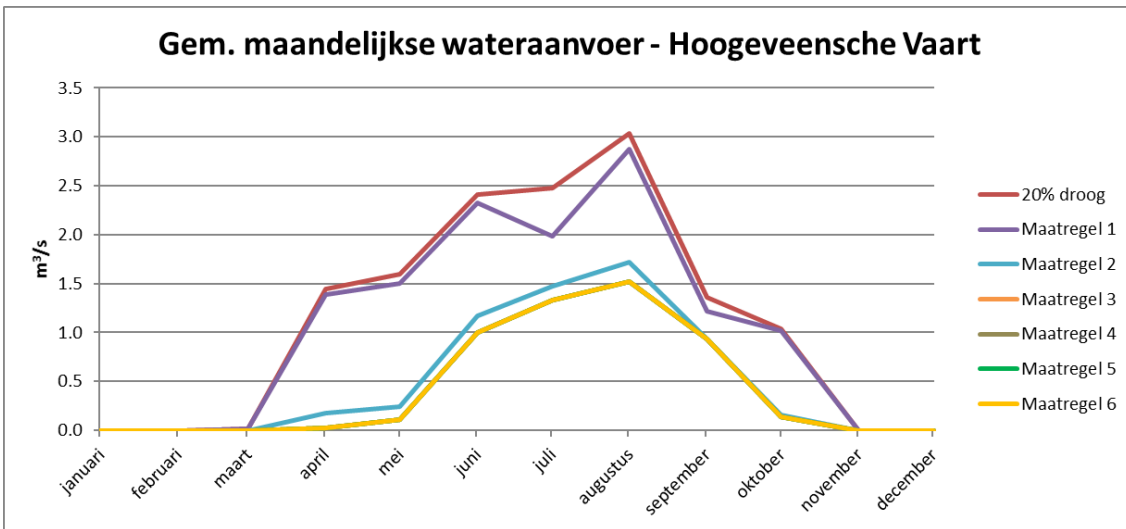
Deelgebied	Landgebruik	Opp. (ha)	Huidige situatie	Scenario's	
			Reference	10% droog	20% droog
Aanvoer uit zuiden	Kapitaalintensief	932	2.0	3.4	4.4
	Laagrenderend	2440	1.0	3.1	9.6
	Peilhandhaving	25274	2.4	11.4	12.1
	Totale gebied	28646	2.3	10.5	11.7
Aanvoer uit Zuidlaardermeer	Kapitaalintensief	693	0.0	0.0	17.5
	Laagrenderend	2104	0.0	0.0	11.8
	Peilhandhaving	15454	0.0	0.0	6.5
	Totale gebied	18251	0.0	0.0	7.5
Avebe	Kapitaalintensief	488	10.8	21.9	28.8
	Laagrenderend	2425	4.2	12.9	15.8
	Peilhandhaving	7610	11.7	13.3	13.8
	Totale gebied	10523	9.9	13.6	15.0
Duurswold	Kapitaalintensief	701	0.0	0.0	5.8
	Laagrenderend	2753	0.0	0.0	4.5
	Peilhandhaving	17537	0.0	0.4	8.3
	Totale gebied	20991	0.0	0.3	7.7
Fiemel	Kapitaalintensief	222	0.0	0.0	0.0
	Laagrenderend	468	0.0	0.0	1.1
	Peilhandhaving	3756	0.0	0.0	0.8
	Totale gebied	4446	0.0	0.0	0.8
Hunze via Veendam	Kapitaalintensief	54	0.0	0.0	0.2
	Laagrenderend	600	0.4	0.0	0.0
	Peilhandhaving	5762	0.5	0.0	2.6
	Totale gebied	6416	0.5	0.0	2.4
Oldambt	Kapitaalintensief	898	0.0	0.0	0.8
	Laagrenderend	2510	0.0	0.0	4.3
	Peilhandhaving	16576	0.0	0.0	5.1
	Totale gebied	19984	0.0	0.0	4.8
TAK	Kapitaalintensief	247	8.2	9.2	18.5
	Laagrenderend	1675	3.8	4.6	10.9
	Peilhandhaving	8608	7.5	8.3	10.6
	Totale gebied	10530	7.0	7.8	10.9
Veenkoloniën	Kapitaalintensief	410	0.0	0.0	0.8
	Laagrenderend	2288	0.1	2.7	4.4
	Peilhandhaving	9688	0.3	1.9	5.5
	Totale gebied	12386	0.3	2.0	5.1
Vennix	Kapitaalintensief	110	11.1	16.5	22.6
	Laagrenderend	621	6.0	9.9	10.0

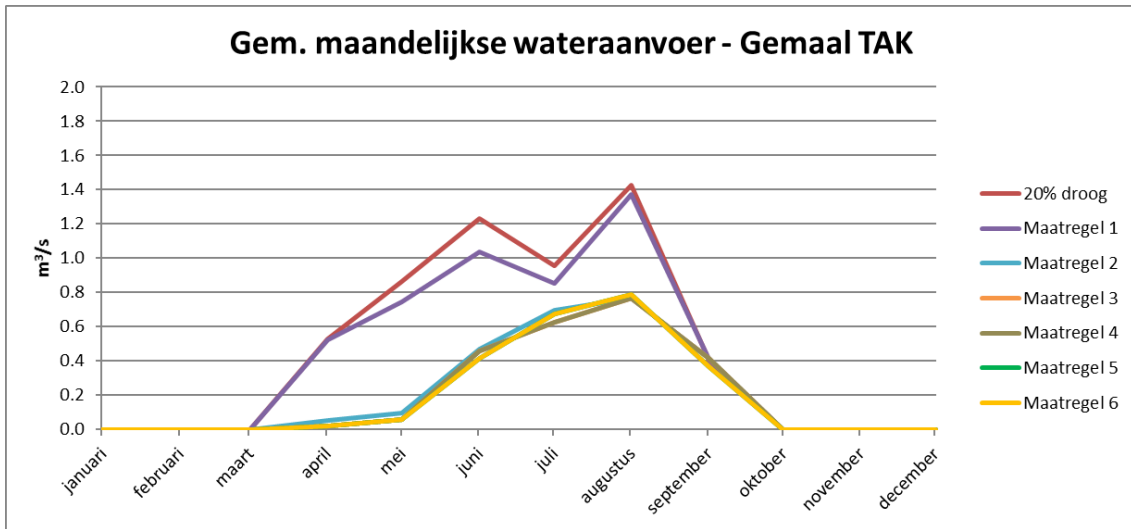


	Peilhandhaving	2681	5.7	6.9	6.3
	Totale gebied	3412	6.0	7.8	7.5
Wateraanvoer Drentsche Aa	Kapitaalintensief	14	0.0	0.0	0.0
	Laagrenderend	25	0.0	0.0	2.8
	Peilhandhaving	1419	0.0	0.0	0.1
	Totale gebied	1458	0.0	0.0	0.1
Westerwolde	Kapitaalintensief	619	0.0	0.8	16.0
	Laagrenderend	1370	0.0	0.0	5.7
	Peilhandhaving	12719	0.0	0.3	9.2
	Totale gebied	14708	0.0	0.3	9.2



Appendix 15: Gesimuleerde wateraanvoer bij het treffen van maatregelen





Appendix 16: Schade (in duizenden euro's) per deelgebied en landgebruikstype voor de scenario's

Deelgebied	Landgebruik	Oppervlakte (ha)	Huidige situatie	Scenario's	
			Reference	10% droog	20% droog
Aanvoer uit zuiden	Kapitaalintensief	932	53	92	119
	Laagrenderend	2440	9	26	81
	Peilhandhaving	25274	155	731	775
	Totale gebied	28646	216	848	975
Aanvoer uit Zuidlaardermeer	Kapitaalintensief	693	0	0	347
	Laagrenderend	2104	0	0	77
	Peilhandhaving	15454	0	0	213
	Totale gebied	18251	0	0	638
Avebe	Kapitaalintensief	488	151	307	403
	Laagrenderend	2425	36	111	136
	Peilhandhaving	7610	248	282	292
	Totale gebied	10523	436	700	832
Duurswold	Kapitaalintensief	701	0	0	117
	Laagrenderend	2753	0	0	36
	Peilhandhaving	17537	0	14	326
	Totale gebied	20991	0	14	479
Fiemel	Kapitaalintensief	222	0	0	0
	Laagrenderend	468	0	0	2
	Peilhandhaving	3756	0	0	10
	Totale gebied	4446	0	0	12
Hunze via Veendam	Kapitaalintensief	54	0	0	0
	Laagrenderend	600	1	0	0
	Peilhandhaving	5762	7	0	36
	Totale gebied	6416	8	0	36
Oldambt	Kapitaalintensief	898	0	0	20
	Laagrenderend	2510	0	0	35
	Peilhandhaving	16576	0	0	219
	Totale gebied	19984	0	0	275
TAK	Kapitaalintensief	247	58	65	131
	Laagrenderend	1675	23	28	67
	Peilhandhaving	8608	173	191	244
	Totale gebied	10530	255	285	442
Veenkoloniën	Kapitaalintensief	410	0	0	10
	Laagrenderend	2288	1	22	36
	Peilhandhaving	9688	9	51	148
	Totale gebied	12386	10	73	193
Vennix	Kapitaalintensief	110	35	52	71
	Laagrenderend	621	13	21	21
	Peilhandhaving	2681	38	46	42
	Totale gebied	3412	86	119	135
Wateraanvoer Drentsche Aa	Kapitaalintensief	14	0	0	0
	Laagrenderend	25	0	0	0
	Peilhandhaving	1419	0	0	0
	Totale gebied	1458	0	0	0
Westerwolde	Kapitaalintensief	619	0	14	284
	Laagrenderend	1370	0	0	25
	Peilhandhaving	12719	0	9	279
	Totale gebied	14708	0	22	589



Appendix 17: Schade (in duizenden euro's) per deelgebied en landgebruikstype bij het treffen van maatregelen

Deelgebied Hunze & Aa's	Landgebruik	Oppervlakte (ha)	Scenario	Maatregelen		
			20% droog	Maatregel 1	Maatregel 2	Maatregel 3-6
Aanvoer uit zuiden	Kapitaalintensief	932	119	15	0	3166
	Laagrenderend	2440	81	750	750	750
	Peilhandhaving	25274	775	618	5041	4941
	Totale gebied	28646	975	1383	5791	8857
Aanvoer uit Zuidlaardermeer	Kapitaalintensief	693	347	327	242	1908
	Laagrenderend	2104	77	472	472	472
	Peilhandhaving	15454	213	160	2756	2756
	Totale gebied	18251	638	959	3470	5136
Avebe	Kapitaalintensief	488	403	315	195	1274
	Laagrenderend	2425	136	524	524	524
	Peilhandhaving	7610	292	169	1847	1839
	Totale gebied	10523	832	1008	2567	3638
Duurswold	Kapitaalintensief	701	117	110	76	2616
	Laagrenderend	2753	36	698	698	698
	Peilhandhaving	17537	326	275	3906	3906
	Totale gebied	20991	479	1083	4680	7220
Fiemel	Kapitaalintensief	222	0	0	0	567
	Laagrenderend	468	2	97	97	97
	Peilhandhaving	3756	10	0	0	0
	Totale gebied	4446	12	97	97	664
Hunze via Veendam	Kapitaalintensief	54	0	0	0	363
	Laagrenderend	600	0	306	306	306
	Peilhandhaving	5762	36	0	1306	1302
	Totale gebied	6416	36	306	1613	1970
Oldambt	Kapitaalintensief	898	20	0	0	2299
	Laagrenderend	2510	35	498	498	498
	Peilhandhaving	16576	219	10	3137	3137
	Totale gebied	19984	275	508	3635	5934
TAK	Kapitaalintensief	247	131	96	4	763
	Laagrenderend	1675	67	439	439	439
	Peilhandhaving	8608	244	102	1857	1810
	Totale gebied	10530	442	637	2299	3012
Veenkoloniën	Kapitaalintensief	410	10	0	0	1278
	Laagrenderend	2288	36	601	601	601
	Peilhandhaving	9688	148	13	1971	1935
	Totale gebied	12386	193	614	2572	3814
Vennix	Kapitaalintensief	110	71	49	16	339
	Laagrenderend	621	21	144	144	144
	Peilhandhaving	2681	42	1	510	510
	Totale gebied	3412	135	195	670	993
Wateraanvoer Drentsche Aa	Kapitaalintensief	14	0	1	0	90
	Laagrenderend	25	0	6	6	6
	Peilhandhaving	1419	0	0	124	124
	Totale gebied	1458	0	7	131	220
Westerwolde	Kapitaalintensief	619	284	249	236	1432
	Laagrenderend	1370	25	224	224	224
	Peilhandhaving	12719	279	199	1817	1817
	Totale gebied	14708	589	672	2277	3473

