

MIT-haalbaarheidsproject

Topsector: Water
Cluster: Deltatechnologie
Thema: Zoetwater en Energie

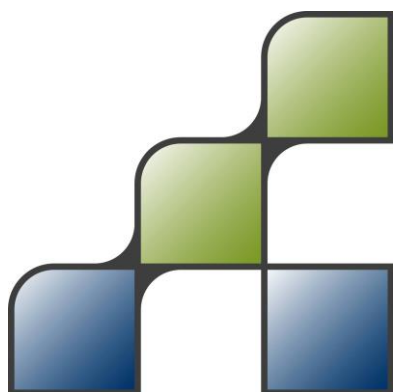
Flying Sensors informatie voor een duurzamere water en energie economie

Maart 2016

Auteurs

Martijn de Klerk
Peter Droogers

FutureWater Report 151



FutureWater
Costerweg 1V
6702 AA Wageningen
The Netherlands

+31 (0)317 460050

info@futurewater.nl

www.futurewater.nl

Project details

Mkb-innovatiestimulering Regio en Topsectoren (MIT) regeling is in 2015 van start gegaan en heeft als doelstelling:

Innovatie bij het midden- en kleinbedrijf over regiogrenzen heen te stimuleren.

FutureWater heeft in 2015 een voorstel ingediend voor deze MIT regeling voor het instrument "haalbaarheid" met de titel:

"Flying Sensors informatie voor een duurzamere water en energie economie"

Op 27 juli 2015 heeft de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland besloten subsidie te verlenen aan FutureWater voor dit project. Administratieve details zijn:

- Topsector: water
- Cluster: deltatechnologie
- Thema: zoetwater en energie
- Looptijd: 1 juli 2015 tot en met 31 december 2015
- Referentienummer: MTHLA15173

Dit rapport geeft een overzicht van de resultaten van het uitgevoerde haalbaarheidsproject.

FutureWater waardeert de financiële ondersteuning die ontvangen is van RVO voor het uitvoeren van dit haalbaarheidsproject.



1	Introductie	6
2	Economische haalbaarheid	8
2.1	Waterverbruik	8
2.2	Energieverbruik	12
2.2.1	Agrariërs	12
2.2.2	Waterschappen	14
2.2.3	Provincies	15
2.2.4	Rijkswaterstaat	17
2.2.5	Totaal energieverbruik	18
2.3	CO ₂ -emissie en kosten	19
2.3.1	Agrariërs	19
2.3.2	Waterbeheerders	22
2.4	Potentiële afnemers	22
2.5	Invloed van klimaatverandering	24
2.5.1	Klimaatscenario's	24
2.5.2	Effect op berekening	25
2.6	Kosten-baten analyse	26
2.7	Wereldwijde potentie	26
2.7.1	Mitigation	27
2.7.2	Adaptation	27
2.7.3	Theoretical GHG reduction	27
2.8	Marktpotentieel	27
3	Technische haalbaarheid	29
3.1	Water-energy nexus	29
3.2	Precisielandbouw	29
3.3	Flying sensors	30
3.4	Sensortechnieken	30
4	Experimentele ontwikkeling	33
4.1	Werkwijze	33
4.2	Pilot Flying Sensors informatie	33
4.2.1	Van den Borne aardappelen	33
4.2.2	Harry's Farm	36
4.2.3	Asbreuk Agri BV	38
4.3	Resultaten	40
5	Conclusies en aanbevelingen	41
6	Referenties	43
	Bijlage 1: Waterschappen van Nederland	45
	Bijlage 2: Provincies van Nederland	46
	Bijlage 3: Posters vliegwerk	47



Tabellen

Tabel 1. Het gemiddelde beregende oppervlak, aandeel bedrijven dat beregening toepast en waterverbruik per ha per jaar (LEI Wageningen UR, 2015).	8
Tabel 2. Herkomst van beregeningswater (LEI Wageningen UR, 2015).	10
Tabel 3. Gebruikte variabelen om het energieverbruik als gevolg van beregening te berekenen.	12
Tabel 4. Objecten van Rijkswaterstaat met het hoogste energieverbruik.	18
Tabel 5. Totaal energieverbruik per jaar van de verschillende waterbeheerders en agrariërs (*gemiddelde tussen 2002 en 2014)	19
Tabel 6. Klimaatverandering in Nederland rond 2050 ten opzichte van het basisjaar 1990 volgens de vier KNMI'14 scenario's (KNMI, 2014).	25
Tabel 7. GHG sources and reductions by pumping and transportation of water.	27
Tabel 8. Overzicht van spectrale vegetatie indices relevant voor schatting van biomassa en stikstof in vegetatie (Kooistra, 2011).	32

Figuren

Figuur 1. Totaal beregende oppervlakte in ha in Nederland en het aandeel in de totale oppervlakte cultuurgrond in % (2002-2014).	9
Figuur 2. Aantal bedrijven dat beregening toepast in Nederland en het aandeel alle bedrijven (2002-2014).	10
Figuur 3. Waterverbruik in m ³ door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water per bedrijf in Nederland (2002-2014).	11
Figuur 4. Totaal waterverbruik in Mm ³ door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland en het cumulatieve potentiële neerslagtekort in de periode april - september (2002-2014).	12
Figuur 5. Energieverbruik in kWh per bedrijf door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland (2002-2014).	13
Figuur 6. Totaal energieverbruik in GWh door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland (2002-2014).	13
Figuur 7. Totaal energieverbruik per waterschap in GWh/j.	14
Figuur 8. Energieverbruik per waterschap naar grootte van beheergebied in MWh/km ² /j.	15
Figuur 9. Totaal energieverbruik per provincie in MWh/j.	16
Figuur 10. Energieverbruik per provincie naar grootte van beheergebied in KWh/km ² /j.	17
Figuur 11. Totaal energieverbruik in GWh/j en het aandeel op het totale verbruik in %.	18
Figuur 12. Equivalent in CO ₂ -uitstoot in kg per bedrijf door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland (2002-2014).	20
Figuur 13. Totaal equivalent in CO ₂ -uitstoot in ton door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland (2002-2014).	20
Figuur 14. Kosten in euro per bedrijf door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland (2002-2014).	21
Figuur 15. Totale kosten in miljoen euro door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland (2002-2014).	21
Figuur 16. Totaal aantal bedrijven met akkerbouw, tuinbouw open grond, grasland en groenvoedergewassen in Nederland in het verleden en zoals voorspeld tot 2050.	22
Figuur 17. Totale cultuurgrond in ha in Nederland in het verleden en zoals voorspeld tot 2050.	23



Figuur 18. Cultuurgrond per bedrijf in ha in Nederland in het verleden en zoals voorspeld tot 2050.....	24
Figuur 19. De vier KNMI'14-klimaatsscenario's (KNMI, 2014).....	24
Figuur 20. De Flying Sensor 'Pelican', die gebruikt werd voor de studie, bevat een nabij-infrarood sensor (HiView, 2015).....	30
Figuur 21. Reflectie van golf lengtes bij een gezond en aangetast gewas (Schans et al., 2011).	31
Figuur 22. Locatie van Van den Borne aardappelen.....	33
Figuur 23. De cyclus van precisielandbouw bij van den Borne aardappelen (Van den Borne Aardappelen, 2015).....	34
Figuur 24. Het orthomozaïek: geometrisch gecorrigeerde en samengevoegde nabij-infrarood beelden met georeferentie en een resolutie van 5 cm per pixel (5 aug 2015).....	35
Figuur 25. Vegetatietoestand bepaald door middel van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Groen wijst op gezonde vegetatie, rood op ongezonde of schaarse vegetatie (5 aug 2015).	36
Figuur 26. Locatie van Harry's Farm.	36
Figuur 27. Gewassen bij Harry's Farm: wintertarwe (linksboven), uien (rechtsboven), suikerbieten (linksonder) en aardappelen (rechtsonder).	37
Figuur 28. Het orthomozaïek: geometrisch gecorrigeerde en samengevoegde nabij-infrarood beelden met georeferentie en een resolutie van 5 cm per pixel (5 aug 2015).....	37
Figuur 29. Vegetatietoestand bepaald door middel van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Groen wijst op gezonde vegetatie, rood op ongezonde of schaarse vegetatie (5 aug 2015).	38
Figuur 30. Locatie van Asbreuk Agri BV.	38
Figuur 31. Het orthomozaïek: geometrisch gecorrigeerde en samengevoegde nabij-infrarood beelden met georeferentie en een resolutie van 5 cm per pixel (5 aug 2015).....	39
Figuur 32. Vegetatietoestand bepaald door middel van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Groen wijst op gezonde vegetatie, rood op ongezonde of schaarse vegetatie (5 aug 2015).	40
Figuur 33. Poster vliegwerk Reusel.	47
Figuur 34. Poster vliegwerk Swifterbant.....	48
Figuur 35. Poster vliegwerk Haaksbergen.	49



1 Introductie

Zoetwatervoorziening is belangrijk en zal met de toenemende vraag en de gevolgen van klimaatverandering nog belangrijker worden in de toekomst. Een tot nu toe onderbelicht aspect is de energieconsumptie die nodig is om aan de zoetwatervoorziening te voldoen. Met behulp van informatie die verzameld wordt met Flying Sensors (drones) is het mogelijk om exact aan te geven waar en wanneer hoeveel beregend moet worden en wat de energieconsumptie hiervan is. De eindgebruiker zal met deze informatie efficiënter omgaan met beregening en dus met energie. In dit haalbaarheidsproject heeft onderzocht FutureWater de technische en economische risico's van deze innovatieve aanpak.

De doelstelling van dit haalbaarheidsonderzoek is: *Onderzoeken van de kansen die een innovatieproject heeft voor de ontwikkeling van Flying Sensor informatievoorziening om zoetwater en energie te besparen.*

Hieronder een copy van de drie aspecten die in het voorstel staan en die in dit rapport worden behandeld.

Projectonderdelen zoals weergegeven in het voorstel

1. Economisch haalbaarheid

1.1. Marktpotentieel detaillering

Een verdere detaillering van de totale markt zal worden gemaakt. Hierbij zal gebruikt gemaakt worden van cijfers uit de literatuur. Het uiteindelijke **resultaat** zal laten zien hoeveel zoetwater gemiddeld wordt beregend, hoeveel energie hiervoor nodig is en wat de kosten zijn.

1.2. Marktonderzoek potentiële afnemers

Potentiële afnemers (agrariërs en waterbeheerders) zullen worden benaderd. Een kwalitatieve analyse onder een beperkte groep zal worden aangevuld met literatuuronderzoek. Het **resultaat** zal een eerste orde marketing plan opleveren alsmede gebruikers verwachtingen van het eindproduct.

1.3. Kosten-baten analyse

Op basis van de marktpotentieel analyse, gecombineerd met een eerste orde kostenanalyse kan worden bepaald wat de kosten-baten zijn. Dit zal worden uitgevoerd voor zowel voor de eindgebruikers (dus als onderdeel van de marketing) als voor FutureWater. **Resultaat** is dus een kosten-baten analyse voor potentiële klanten en voor FutureWater.

2. Technische haalbaarheid

2.1. Literatuur water-energy nexus

In de wetenschappelijke literatuur is de laatste jaren veel aandacht voor de water-food-energy nexus. Een verdere verdieping is nodig, zowel voor de marketing als de technische haalbaarheid. **Resultaat** zal zijn een samenvattend rapport.

2.2. Sensor technieken verfijning

Er bestaat een zeer snelle ontwikkeling in sensortechnologie. FutureWater heeft voldoende kennis op het gebied van de platforms van Flying Sensors, maar te beperkt van de sensortechnologie. Een literatuurstudie gecombineerd met informatie van sensorontwikkelaars moet deze kennisleemte oplossen. **Resultaat** zal zijn een technische vergelijking van mogelijke sensoren.

2.3. Platform voor adviesverstrekking

De informatie voor de potentiële eindgebruikers (agrariërs, waterbeheerders) moet doelmatig en snel worden verspreid. Een web-based platform lijkt het meest logisch, maar is passief (klant moet inloggen). De laatste tijd wordt er ook meer klant-actieve informatie verstrekt (bijv, email, whatsapp). Er zal onderzocht worden wat technisch mogelijke is en wat de klant (zie 1.2) wenselijk acht. **Resultaat** is een eerste versie prototype van het advies.

3. Experimentele ontwikkeling

3.1. Pilot Flying Sensors informatie

Om het haalbaarheidsonderzoek concreter te maken en technische verbeteringen te verkrijgen, zullen een vijftal vluchten met de bestaande Flying Sensors worden uitgevoerd. Hierdoor kan vooral de type sensor worden getest en kunnen zaken als vlieghoogte en tijdsinterval tussen de vluchten worden getest. Ook het



verwerken van het ruwe beeld tot eindproduct zal worden getest. Het **resultaat** is de verbeterde technologische vaardigheid om de informatie voor het eindproduct in te winnen.

3.2. Demonstratie potentieel eindproduct

Het eindproduct (advies aan de agrariër en waterbeheerder) zal automatisch moeten worden gegenereerd. Een aantal prototype zal worden getest. **Resultaat** zal een aantal prototype van het potentiële eindproduct zijn.



2 Economische haalbaarheid

In dit hoofdstuk wordt een detaillering van de totale markt gemaakt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van cijfers uit de literatuur. Het uiteindelijke resultaat laat zien hoeveel zoetwater gemiddeld wordt berekend, hoeveel energie hiervoor nodig is, hoeveel CO₂ hierbij vrij komt en wat de kosten zijn.

Allereerst is het jaarlijkse directe energieverbruik verzameld van de waterbeherende objecten. Het directe energieverbruik is het verbruik van energie door objecten dat noodzakelijk is om de dagelijkse beheerfunctie van het watersysteem uit te voeren. De objecten die in het onderzoek meegenomen worden, zijn de gemalen, stuwen en sluizen (waaronder ook hoogwaterkeringen). Onder het nationale waterbeheer wordt het hoofdwatersysteem verstaan dat Rijkswaterstaat beheert: de grote rivieren, het IJsselmeer en de deltagebieden. Waterschappen zijn de regionale waterbeheerders. De waterketen (drinkwater, riolering en afvalwaterzuivering) vormt geen onderdeel van deze studie evenmin als het energieverbruik van het benodigde onderhoud om de dagelijkse beheerfunctie te kunnen uitvoeren.

Ten tweede is voor bedrijven met akkerbouw, tuinbouw open grond, grasland en groenvoedergewassen het water- en energieverbruik, de CO₂-uitstoot en de kosten die hiermee gemoeid gaan berekend. Glastuinbouw en veehouderijen zijn buiten beschouwing gelaten.

Tot slot wordt het aantal bedrijven en grondgebruik in de agrarische sector beschreven. Hierbij wordt, aan de hand van tellingen in het verleden, een voorspelling gemaakt voor het jaar 2050.

2.1 Waterverbruik

Tabel 1 laat het gemiddelde beregende oppervlak, aandeel van bedrijven dat berekening toepast en waterverbruik per ha per jaar zien. Deze gegevens zijn afkomstig van de Agrimatie database van LEI Wageningen UR (2015).

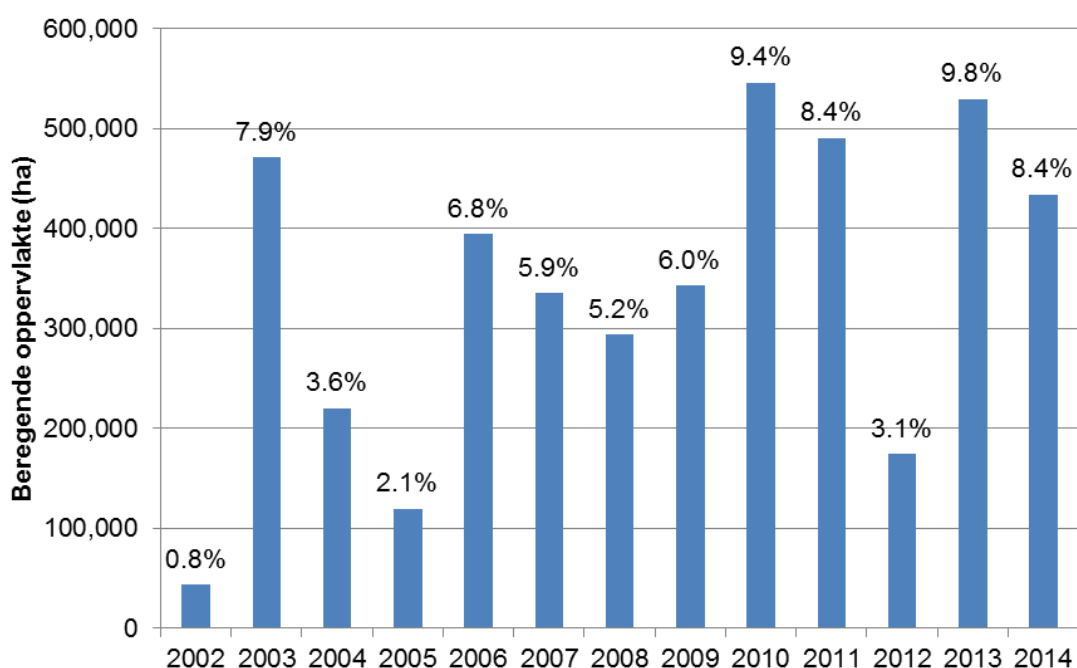
Tabel 1. Het gemiddelde beregende oppervlak, aandeel bedrijven dat berekening toepast en waterverbruik per ha per jaar (LEI Wageningen UR, 2015).

Jaar	Beregende oppervlakte (ha)	Aandeel bedrijven dat berekening toepast (%)	Waterverbruik per ha (m ³)
2002	0,39	7	530
2003	4,42	26	490
2004	2,11	13	250
2005	1,20	12	290
2006	4,07	23	490
2007	3,59	21	210
2008	3,20	17	360
2009	3,84	19	450
2010	6,19	27	440
2011	5,69	30	320
2012	2,07	11	410
2013	6,34	25	450
2014	5,35	29	280



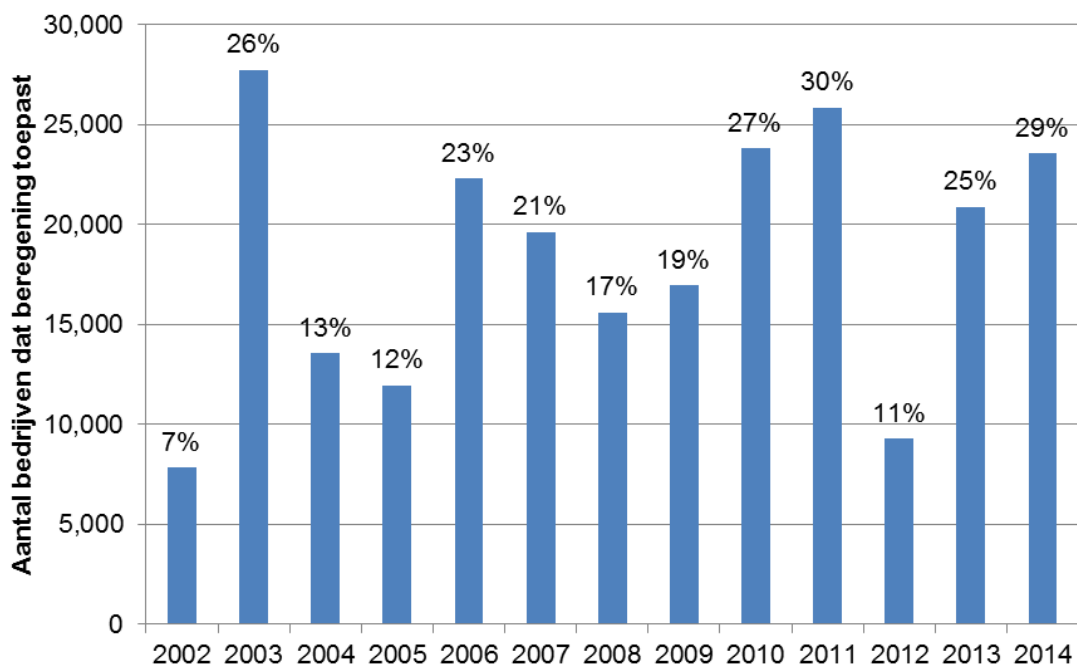
De beregende oppervlakte is de gemiddelde oppervlakte op alle akkerbouwbedrijven dat beregend wordt. Een oppervlakte die meerdere keren beregend is telt maar 1 keer mee. Met het aandeel bedrijven dat beregening toepast wordt het deel van alle akkerbouwbedrijven dat beregening toepast bedoeld. Het gemiddelde waterverbruik is het aantal m³ per ha beregende oppervlakte, los van het aantal malen dat beregend is. Informatie over grasland was helaas niet beschikbaar.

Figuur 1 geeft de totale beregende oppervlakte in hectare in Nederland weer. Deze is berekend door het totale aantal bedrijven (Figuur 16) te vermenigvuldigen met de gemiddelde beregende oppervlakte per bedrijf (Tabel 1). In de periode 2002-2014 bedraagt de gemiddelde oppervlakte 338 duizend hectare, met als minimum 44 duizend hectare en als maximum 546 duizend hectare. Zoals te zien is in Figuur 4 heeft de beregende oppervlakte (en dus het waterverbruik) een sterke correlatie met het neerslagtekort in de zomermaanden. Dit verklaart de grote verschillen in beregende oppervlakte door de jaren heen.



Figuur 1. Totaal beregende oppervlakte in ha in Nederland en het aandeel in de totale oppervlakte cultuurgrond in % (2002-2014).

In Figuur 2 is het aantal bedrijven weergegeven dat beregening toepast. Dit is berekend door het totale aantal bedrijven (Figuur 16) te vermenigvuldigen met het aandeel bedrijven dat beregening toepast (Tabel 1). In de periode 2002-2014 bedraagt het gemiddelde aantal bedrijven dat beregening toepast ruim 18 duizend, met rond de 8 duizend en 28 duizend als uitschieters.



Figuur 2. Aantal bedrijven dat berekening toepast in Nederland en het aandeel alle bedrijven (2002-2014).

Het waterverbruik is berekend door de totale beregende oppervlakte (Figuur 1) te vermenigvuldigen met het waterverbruik per hectare (Tabel 1). Door dit te delen door het aantal bedrijven dat berekening toepast (Figuur 2) is het waterverbruik per bedrijf bepaald.

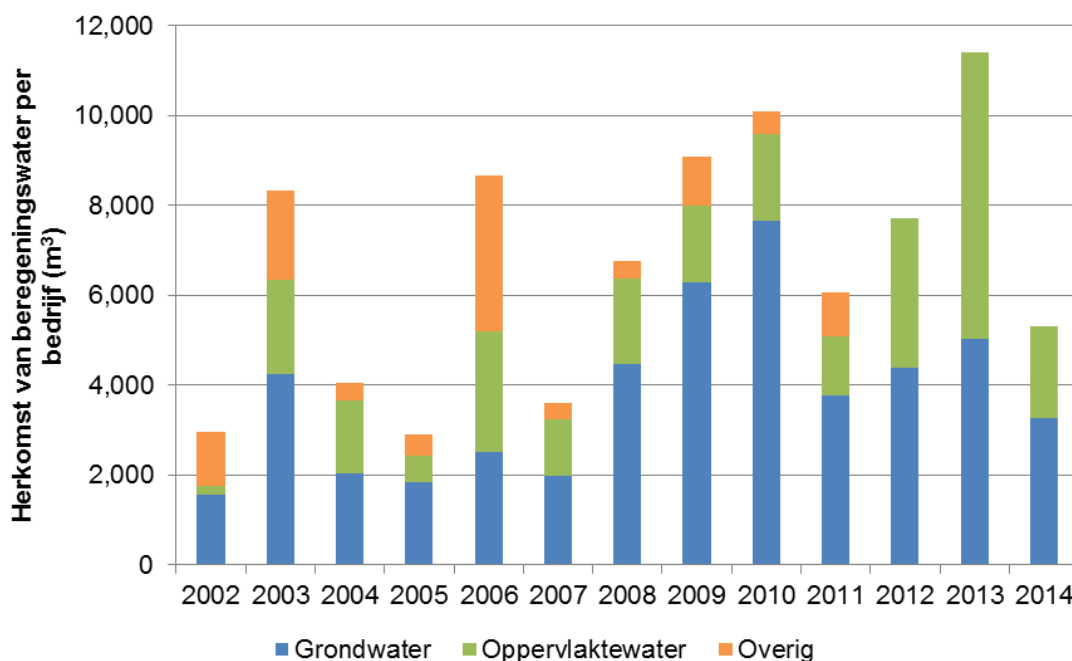
Tabel 2 laat de herkomst van het beregeningswater zien. Deze gegevens zijn afkomstig van de Agrimatie database van LEI Wageningen UR (2015). Met behulp van deze getallen kon het grondwater-, oppervlaktewater- en overig waterverbruik worden berekend. Water waarvan de bron niet bekend was, of wat niet was te splitsen in grond- of oppervlaktewater, is opgenomen in de categorie 'Overig of niet gesplitst'.

Tabel 2. Herkomst van beregeningswater (LEI Wageningen UR, 2015).

Jaar	Grondwater (%)	Oppervlaktewater (%)	Overig of niet gesplitst (%)
2002	53	6	41
2003	51	25	24
2004	50	40	10
2005	63	21	16
2006	29	31	40
2007	55	35	10
2008	66	28	6
2009	69	19	12
2010	76	19	5
2011	62	22	16
2012	57	43	0
2013	44	56	0
2014	63	40	-3



Het waterverbruik per bedrijf, onderverdeeld naar herkomst, is weergegeven in Figuur 3. In de periode 2002-2014 bedraagt het gemiddelde waterverbruik per bedrijf 6.679 m³, met 2.900 m³ als minimum en 11.412 m³ als maximum.

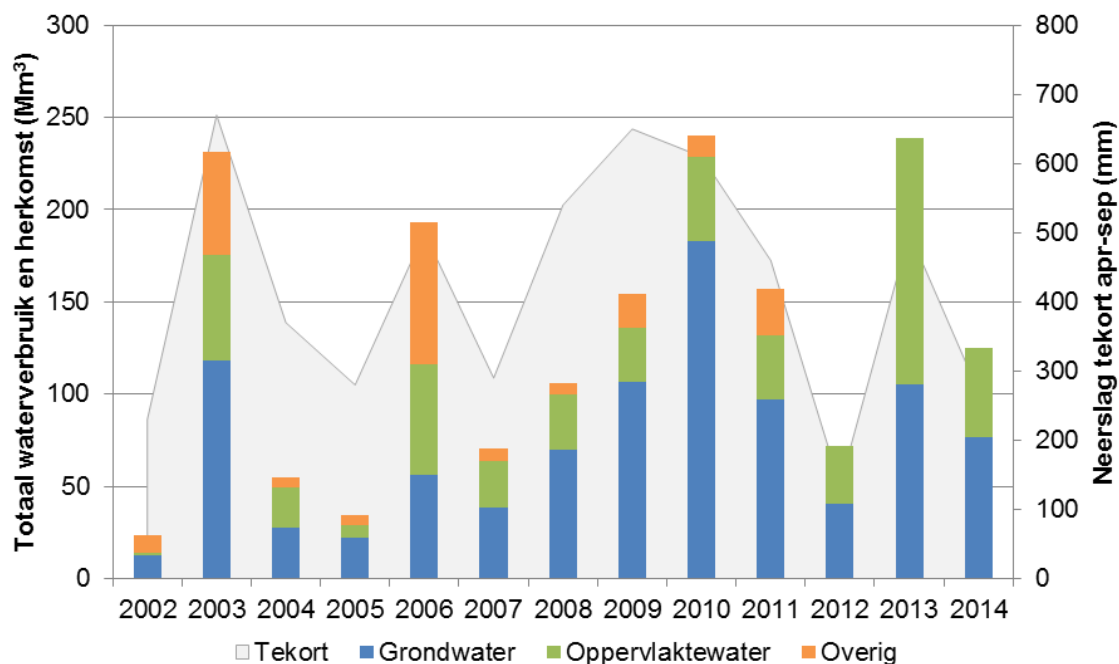


Figuur 3. Waterverbruik in m³ door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water per bedrijf in Nederland (2002-2014).

Het totale waterverbruik in Nederland, onderverdeeld naar herkomst, is weergegeven in Figuur 4. In de periode 2002-2014 bedraagt het totale waterverbruik gemiddeld 131 miljoen m³, met 23 miljoen m³ als minimum en 230 miljoen m³ als maximum. Gemiddeld is 73 miljoen m³ (56%) afkomstig van grondwater, 40 miljoen m³ (31%) van oppervlaktewater en 17 miljoen m³ (13%) van overige bron.

Hoge verbruiken van water zijn over het algemeen toe te schrijven aan droge groeiseizoenen. Voorbeelden hiervan waren 2003 (met alleen mei aan de natte kant; februari, maart, juni, juli en augustus waren te droog) en 2006 (met februari, maart, mei en vooral augustus aan de natte kant; april en vooral juni en juli waren te droog) (Compendium voor de Leefomgeving, 2014).

Om deze reden is het potentiële neerslag tekort in de zomermaanden (april tot september) ook weergegeven in Figuur 4 (KNMI, 2015). Hier is duidelijk de sterke correlatie tussen waterverbruik en het neerslagtekort te zien.



Figuur 4. Totaal waterverbruik in Mm³ door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland en het cumulatieve potentiële neerslagtekort in de periode april - september (2002-2014).

2.2 Energieverbruik

2.2.1 Agrariërs

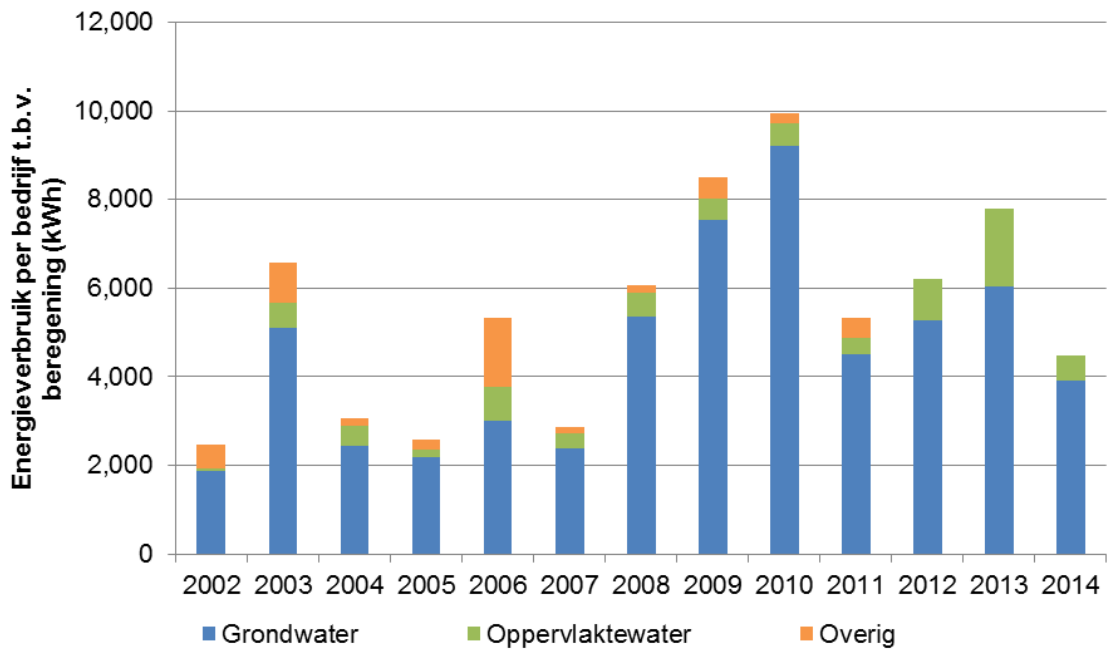
Uit het waterverbruik is het energieverbruik berekend. Hierbij is gebruik gemaakt van de variabelen die zijn weergegeven in Tabel 3. Er is uitgegaan van een gemiddelde beregeningspomp: de GP 4500 INOX, met als gemiddelde oppervlaktewaterdiepte 0 tot 5 meter en als gemiddelde grondwaterdiepte 40 tot 45 meter. Deze diepten kwamen voort uit interviews met boeren in Swifterbant, Reusel en Haaksbergen. Ook gaven zij aan niet precies te weten over welke type beregeningssysteem te beschikken, maar dat het in ieder geval ging om een pomp met een 'gemiddelde' capaciteit.

Tabel 3. Gebruikte variabelen om het energieverbruik als gevolg van beregening te berekenen.

Variabel	Grondwater	Oppervlaktewater	Overig
Pompcapaciteit (l/uur)	1000	4350	2675
Verbruik (Watt)	1200	1200	1200

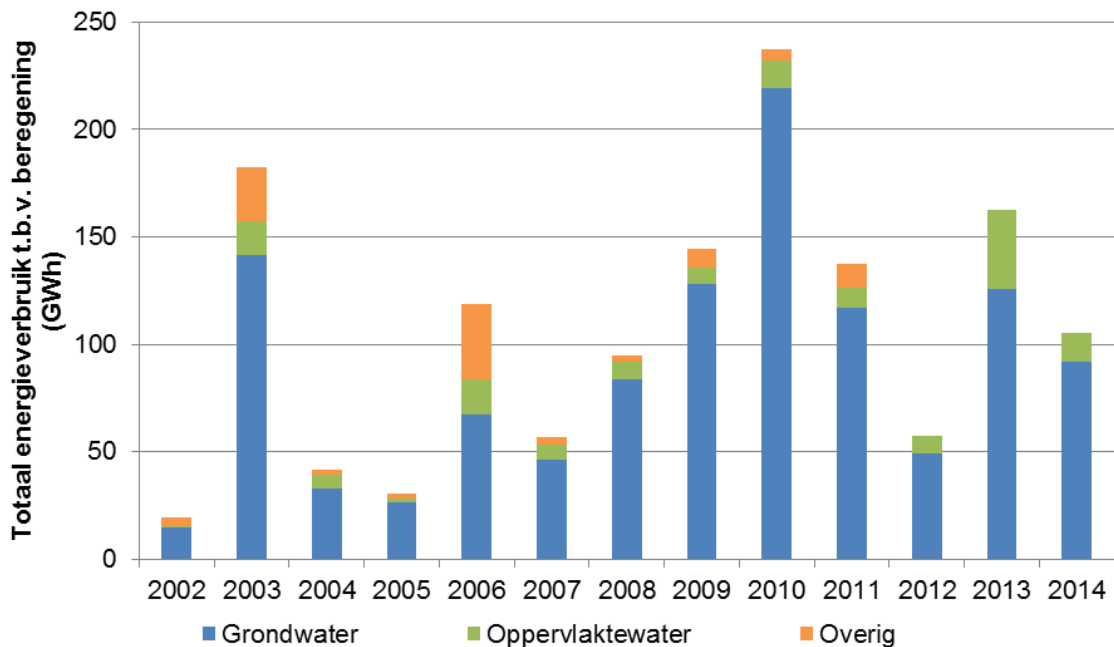
In Figuur 5 is het energieverbruik per bedrijf ten behoeve van beregening weergegeven, onderverdeeld naar herkomst. Het energieverbruik is berekend door het waterverbruik (Figuur 3) te delen door de pompcapaciteit van een gemiddelde grond- en oppervlaktewaterpomp (in liter per uur) en vervolgens te vermenigvuldigen met het vermogen (in Watt). Het gemiddelde energieverbruik is ruim 5400 kWh per jaar, ongeveer 75% meer dan het gemiddelde jaarlijkse elektriciteitsverbruik van een huishouden van 3100 kWh (Milieu Centraal, 2015). Dit energieverbruik geldt alleen voor bedrijven die beregening toepassen.





Figuur 5. Energieverbruik in kWh per bedrijf door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland (2002-2014).

Het totale energieverbruik in Nederland, onderverdeeld naar herkomst, is weergegeven in Figuur 6. In de periode 2002-2014 bedraagt het totale energieverbruik gemiddeld 106,8 GWh, met 19 GWh als minimum en 237 GWh als maximum. Gemiddeld is 88 GWh (82%) te wijten aan beregening uit grondwater, 11,1 GWh (10%) uit oppervlaktewater en 7,7 GWh (7%) uit overige bron. Geveleken met het totale energieverbruik van Nederland van 115 TWh per jaar komt dit neer op 0,1% (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2015a). De waterbeheerders verbruiken in totaal 65% meer energie dan alle agrariërs samen ten behoeve van beregening.

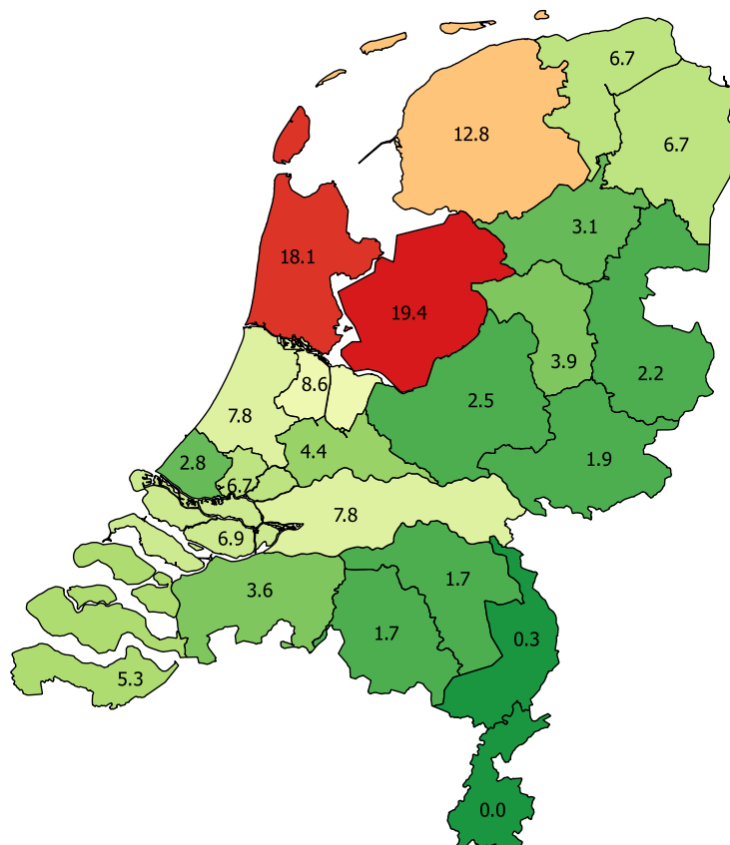


Figuur 6. Totaal energieverbruik in GWh door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland (2002-2014).



2.2.2 Waterschappen

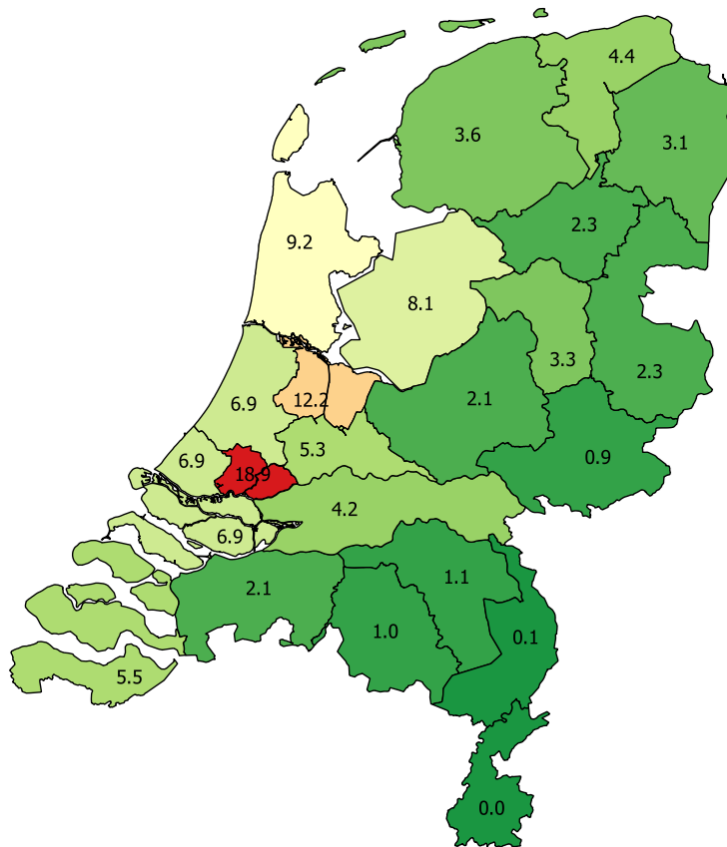
De waterschappen blijken veruit de grootste energieverbruiker in het Nederlandse waterbeheer. In totaal verbruiken de waterschappen circa 140,6 GWh/jaar om het regionale watersysteem te beheren. Het energieverbruik voor elk waterschap weergegeven in Figuur 7. Dit geeft een beeld van het energieverbruik per regio. Het verbruik varieert per waterschap tussen 0 en 19,4 GWh/j, gemiddeld verbruiken de waterschappen 5,2 GWh/jaar voor waterbeheer. Grote uitschieters zijn Waterschap Zuiderzeeland en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (Deltares, 2009, Grontmij, 2009).



Figuur 7. Totaal energieverbruik per waterschap in GWh/j.

De waterschappen verschillen van elkaar in onder andere grootte, ligging, aantal inwoners en kilometer watergang in beheer. Een andere mogelijke oorzaak van verschillen in energieverbruik tussen waterschappen is het verschil in neerslag. In een periode of gebied waarin veel neerslag valt, is in de regel meer energie nodig om dit water af te voeren. Hierdoor zijn ze niet direct met elkaar te vergelijken. In Figuur 8 is het totale energieverbruik van de waterschappen afgezet tegen de oppervlakte van het beheergebied (Deltares, 2009, Grontmij, 2009).





Figuur 8. Energieverbruik per waterschap naar grootte van beheergebied in MWh/km²/j.

In bijlage 1 is een kaart te vinden met de namen van de verschillende waterschappen, per 1 december 2015 (Imergis Organisatiebloei, 2015).

Energieverbruik per object:

- Gemaal: 5,6 – 83,3 MWh/j (uitzondering: 1605 MWh/j in Waterschap Zuiderzeeland);
- Stuw: 0,06 – 5,8 MWh/j;
- Sluis: 0 – 20,3 MWh/j (uitzonderingen: 44,7 in Waterschap Rijn en IJssel en 100 MWh/j in Waterschap Brabantse Delta).

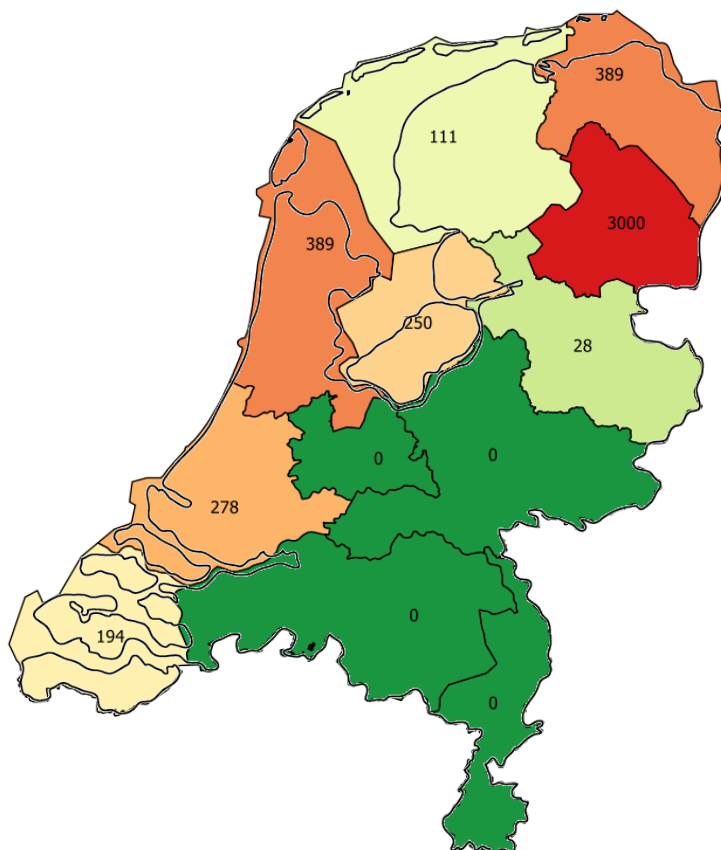
Opvallendste hierbij is dat het energieverbruik per gemaal van Waterschap Zuiderzeeland veel hoger is dan van de gemalen van de overige waterschappen. Dit komt doordat de 7 hoofdgemalen relatief zeer grote gemalen zijn in vergelijking tot die van de andere waterschappen (Grontmij, 2009).

2.2.3 Provincies

De provincies beheren slechts een klein deel van het Nederlandse watersysteem en verbruiken in vergelijking met Rijkswaterstaat en de waterschappen dan ook het minste energie. Alle provincies verbruiken samen circa 4,7 GWh/jaar. Deze energie wendde de provincies voornamelijk aan voor het bedienen van enkele sluisen.

In Figuur 9 is het totale energieverbruik per provincie weergegeven. Hieruit blijkt dat de provincie Drenthe met 3000 MWh/j relatief veel energie verbruikt in vergelijking tot de andere provincies (tussen 0 en 389 MWh/j). Drenthe heeft meer sluisen in beheer dan de andere

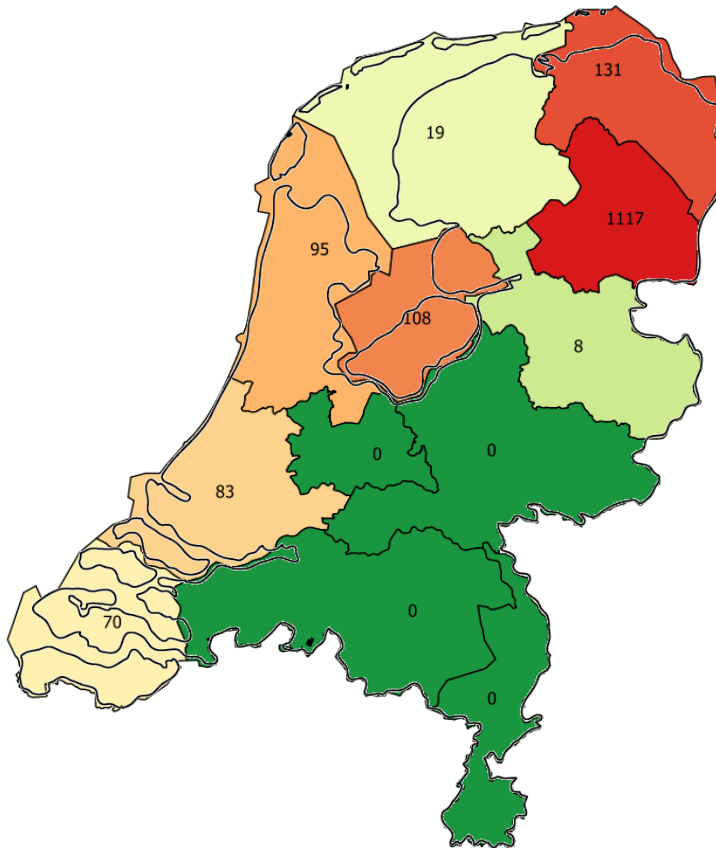
provincies en deze sluizen verbruiken per stuk relatief veel energie. Er zijn provincies die geen objecten in beheer hebben; dit beheer ligt in die provincies volledig bij de waterschappen en/of Rijkswaterstaat (Deltares, 2009, Grontmij, 2009).



Figuur 9. Totaal energieverbruik per provincie in MWh/j.

De getallen variëren sterk per provincie en er is geen gemene deler te ontdekken. Dit kan te verklaren zijn doordat de waterbeheerstaken van elke provincie anders zijn geregeld en klein zijn in relatie tot de waterschappen en Rijkswaterstaat. In Figuur 10 is het totale energieverbruik van de provincies afgezet tegen de oppervlakte van het beheergebied. Hier is te zien dat de meeste getallen die gerelateerd zijn aan oppervlakten in dezelfde orde grootte liggen wanneer de Provincie Drenthe buiten beschouwing wordt gelaten. Hiermee wordt bedoeld dat tussen het energieverbruik tussen de provincies een factor 2 tot 5 verschilt. Naast Drenthe dat een relatief hoog verbruik heeft, hebben de provincies Fryslân en Overijssel een relatief laag verbruik wanneer dit wordt afgezet tegen de gebruikte parameters (Deltares, 2009, Grontmij, 2009).





Figuur 10. Energieverbruik per provincie naar grootte van beheergebied in kWh/km²/j.

In bijlage 1 is een kaart te vinden met de namen van de verschillende provincies (Imergis Organisatiebloei, 2015).

Energieverbruik per object:

- Sluis: 26,1 – 101,9 MWh/j (uitzonderingen: 3,1 MWh/j in Provincie Overijssel, 4,2 MWh/j in Provincie Fryslân en 213,9 MWh/j in Provincie Drenthe) (Deltares, 2009, Grontmij, 2009).

2.2.4 Rijkswaterstaat

In totaal beheert Rijkswaterstaat 103 complexen waar 20 gemalen, 122 schutsluizen, 88 spuisluizen en 10 stuwen het watersysteem beheren. Het totale energieverbruik van deze Rijkswaterstaat complexen bedraagt 31,5 GWh/jaar. Dit is 18% van het totale energieverbruik om het Nederlandse watersysteem te beheren.

Sluizen zijn de grootste verbruikers met ongeveer 60% van het totale verbruik. Daarop volgen de gemalen met ongeveer 36% van het totaal en de stuwen met ongeveer 4%. De objecten met het hoogste energieverbruik zijn te vinden in Tabel 4 (Deltares, 2009, Grontmij, 2009).

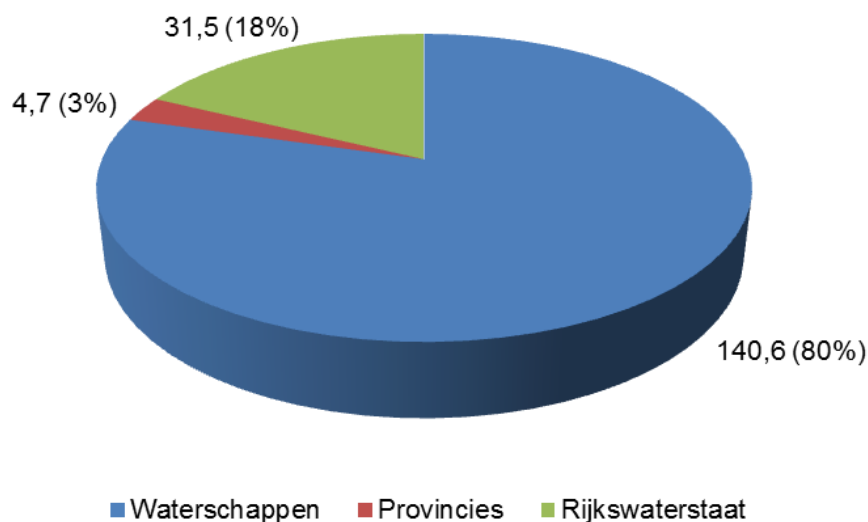
Tabel 4. Objecten van Rijkswaterstaat met het hoogste energieverbruik.

Object	Energieverbruik (MWh/j)
Gemaal IJmuiden	5.938
Sluizen en stuwen St. Philipsland	4.352
Pompen en gemalen Rilland	3.661
Sluizen en stuwen Terneuzen	1.716
Sluizen en stuwen Delden/Wiene	1.509
Volkeraksluizen	1.274
Sluizen en stuwen Rilland	1.118

2.2.5 Totaal energieverbruik

Rijkswaterstaat, de provincies en de waterschappen verbruiken jaarlijks samen circa 167,2 GWh om het Nederlandse watersysteem te beheren. Vergelijken met het totale energieverbruik van Nederland van 115 TWh per jaar komt dit neer op 0,15% (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2015a). Ongeveer 18% (circa 31,5 GWh) hiervan betreft het beheer van het hoofdwatersysteem. De beheerders van de regionale watersystemen, de provincie en de waterschappen, verbruiken samen 145,3 GWh/jaar.

In Figuur 11 is het energieverbruik ingedeeld naar type waterbeheerder. De figuur laat zien dat de waterschappen samen het grootste gedeelte (81%) van de energiebehoefte voor hun rekening nemen, gevolgd door Rijkswaterstaat (16%) en de provincies (3%).



Figuur 11. Totaal energieverbruik in GWh/j en het aandeel op het totale verbruik in %.

Wanneer gekeken wordt naar het aantal objecten dat door een type organisatie wordt beheerd, blijkt dat de waterschappen het grootste deel van de objecten (97,8%) in hun beheer hebben. De provincies en Rijkswaterstaat hebben in vergelijking met de waterschappen slechts een klein aantal objecten in beheer (respectievelijk 1,1 en 1,1%) (Deltares, 2009, Grontmij, 2009).



In de periode 2002-2014 bedraagt het totale energieverbruik van agrariërs ten behoeve van beregening gemiddeld 106,8 GWh, met 19 GWh als minimum en 237 GWh als maximum. Tabel 5 toont het totale energieverbruik van waterbeheerders en agrariërs ten behoeve van beregening.

Tabel 5. Totaal energieverbruik per jaar van de verschillende waterbeheerders en agrariërs (*gemiddelde tussen 2002 en 2014)

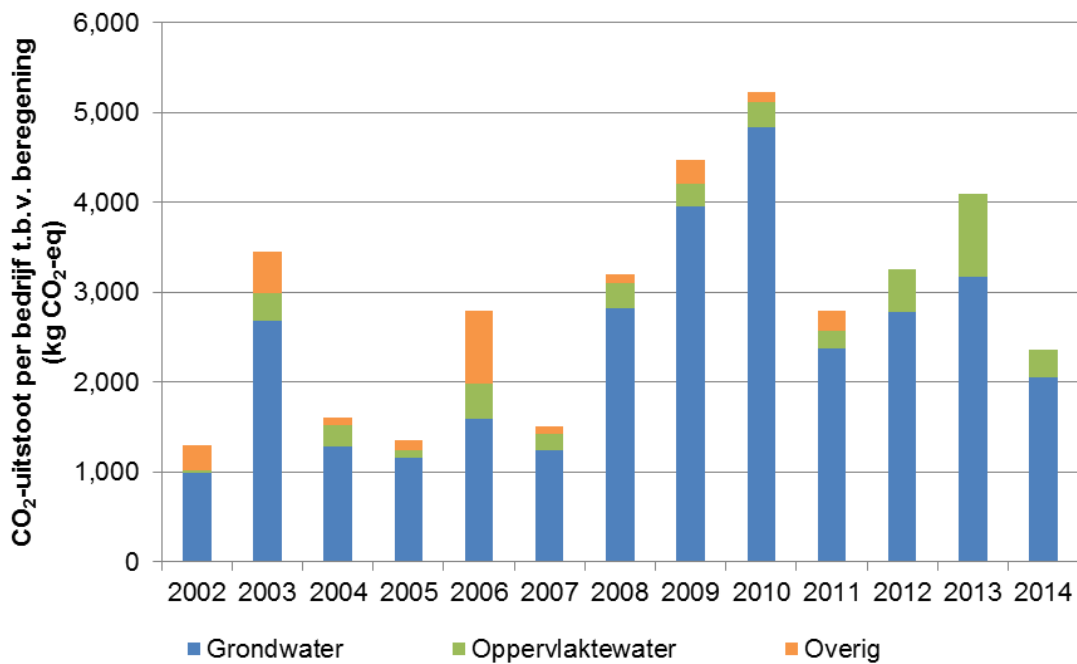
Waterbeheerder	Energieverbruik (GWh/j)
Waterschappen	140,6
Provincies	4,7
Rijkswaterstaat	31,5
Agrariërs	106,8*
Totaal	274,0

2.3 CO₂-emissie en kosten

2.3.1 Agrariërs

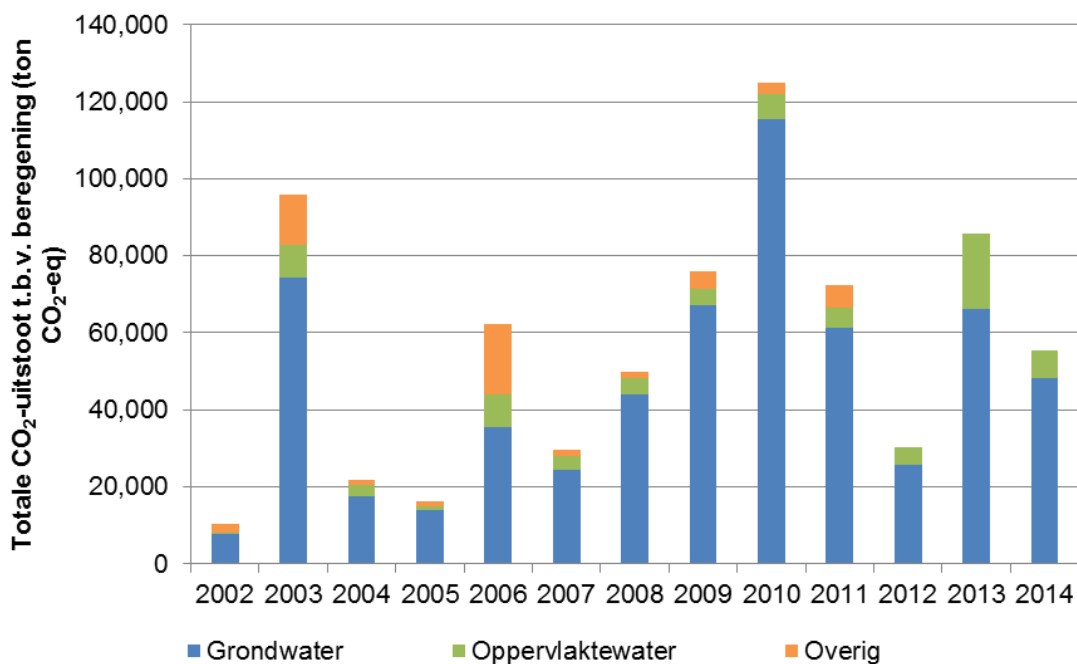
Met behulp van het energieverbruik is de equivalente CO₂-emissie door agrariërs ten behoeve van beregening berekend. Het gaat hierbij om CO₂-equivalenten en zijn dus ook andere broeikasgassen meegenomen. Om tot de volledige ketenemissies van elektriciteitsopwekking te komen is ook rekening gehouden met emissies die vrijkomen bij het aanleveren, produceren en winnen van de brandstoffen en met de netverliezen die optreden bij het elektriciteitstransport naar de afnemer. Deze netverliezen bedragen gemiddeld 5%. Dit wil zeggen dat er 105 MJ elektriciteit opgewekt moet worden om 100 MJ bij de klant te krijgen. Als gemiddelde totale ketenemissie is in dit onderzoek gebruik gemaakt van 526 gram CO₂-eq/kWh (CE Delft, 2015).

In Figuur 12 is de CO₂-uitstoot per bedrijf ten behoeve van beregening weergegeven, onderverdeeld naar herkomst. Deze uitstoot is berekend door het energieverbruik (Figuur 5) te verenigvuldigen met de gemiddelde totale ketenemissie zoals hierboven beschreven. De gemiddelde CO₂-uitstoot is ruim 2800 kilogram per jaar. Deze uitstoot geldt alleen voor bedrijven die beregening toepassen.



Figuur 12. Equivalent in CO₂-uitstoot in kg per bedrijf door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland (2002-2014).

De totale CO₂-uitstoot in Nederland als gevolg van beregening, onderverdeeld naar herkomst, is weergegeven in Figuur 13. In de periode 2002-2014 bedraagt de totale uitstoot gemiddeld 18.400 ton, met 7.900 ton als minimum en 27.700 ton als maximum.

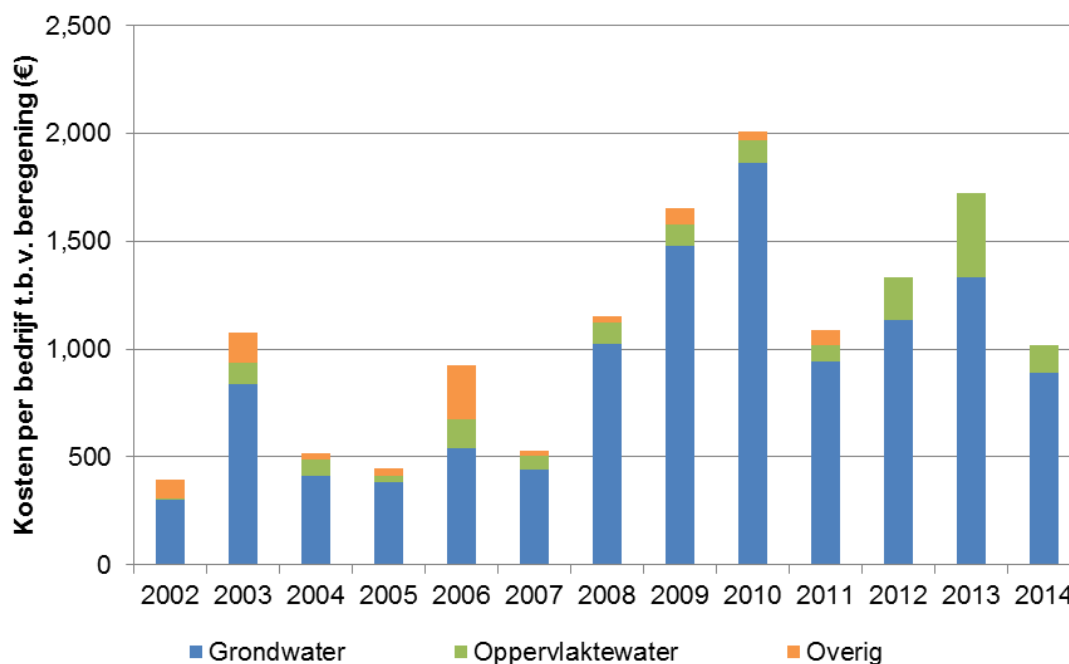


Figuur 13. Totaal equivalent in CO₂-uitstoot in ton door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland (2002-2014).

In Figuur 14 is zijn de energiekosten per bedrijf ten behoeve van beregening weergegeven, onderverdeeld naar herkomst. Deze kosten zijn berekend door het energieverbruik (Figuur 5) te vermenigvuldigen met de gemiddelde elektriciteitsprijs. Hiervoor is uitgegaan van een prijs van

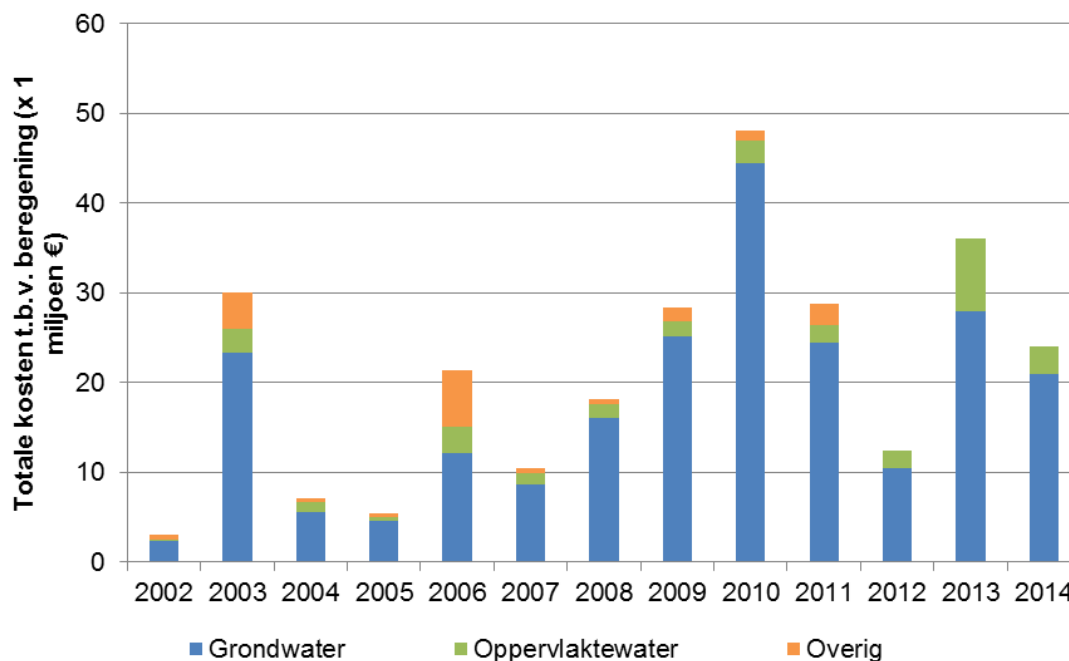


0,16 euro in 2002, met een inflatie van 3% per jaar (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2007). Gemiddeld bedragen de kosten 1.067 euro per jaar, met 395 euro als minimum en 2.008 euro als maximum. Deze kosten gelden alleen voor bedrijven die beregening toepassen.



Figuur 14. Kosten in euro per bedrijf door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland (2002-2014).

De totale energiekosten in Nederland, onderverdeeld naar herkomst, zijn weergegeven in Figuur 15. In de periode 2002-2014 bedragen de totale kosten gemiddeld 21 miljoen euro, met 3,1 miljoen euro als minimum en 48,1 miljoen euro als maximum.



Figuur 15. Totale kosten in miljoen euro door beregening uit grondwater, oppervlaktewater en overig water in Nederland (2002-2014).



2.3.2 Waterbeheerders

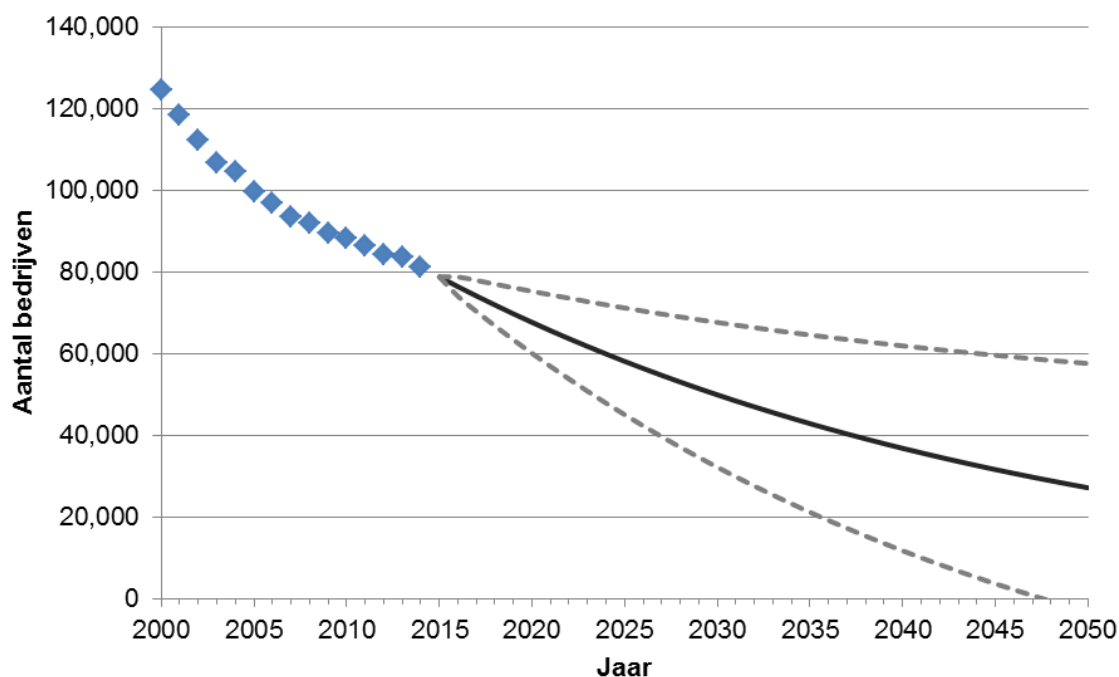
Volgens de Klimaatmonitor Waterschappen 2014 wordt 90% van het energieverbruik van waterschap uit elektriciteit, 5% uit aardgas en 5% uit overige brandstoffen gehaald. Uit een inventarisatie uit 2014 blijkt dat 100% van de elektriciteit duurzaam is opgewekt (Arcadis, 2014).

De trend om naar duurzame energie over te stappen is snel verlopen. In 2009 waren van acht waterschappen gegevens over energieverbruik bekend. Gemiddeld kochten deze waterschappen 43% van hun energie in duurzame vorm (3x 100%; 3x 0%, 2x rond de 20%). Op basis van expert judgement (contacten met waterschappen) werd geschat dat in 2009 ongeveer de helft van de waterschappen gebruik maakte van groene stroom. In 2010 werd duurzaam inkopen voor overheden verplicht. Van de provincies zijn geen gegevens bekend over het aandeel groene stroom. Rijkswaterstaat koopt voor 100% groene stroom in (Grontmij, 2009).

2.4 Potentiële afnemers

In Figuur 16 is het aantal bedrijven met akkerbouw, tuinbouw open grond, grasland en graanvoedergewassen in Nederland weergegeven. De waarden tot en met 2014 zijn op basis van daadwerkelijke tellingen door het Centraal Bureau voor de Statistiek (2015b). Vanaf 2015 is in het kader van deze studie een voorspelling gemaakt van het aantal bedrijven. Dit is gedaan door de gemiddelde relatieve afname per jaar te berekenen en te extrapoleren tot het jaar 2050. Deze afname bedraagt 3,0% per jaar.

De grijze lijnen laten het 95%-betrouwbaarheidsinterval zien welke is benaderd door twee keer de standaarddeviatie op en af te trekken van het gemiddelde. De berekeningen laten zien dat, indien de huidige trend zich voortzet, het aantal bedrijven in 2050 rond de 27.000 zal zijn.

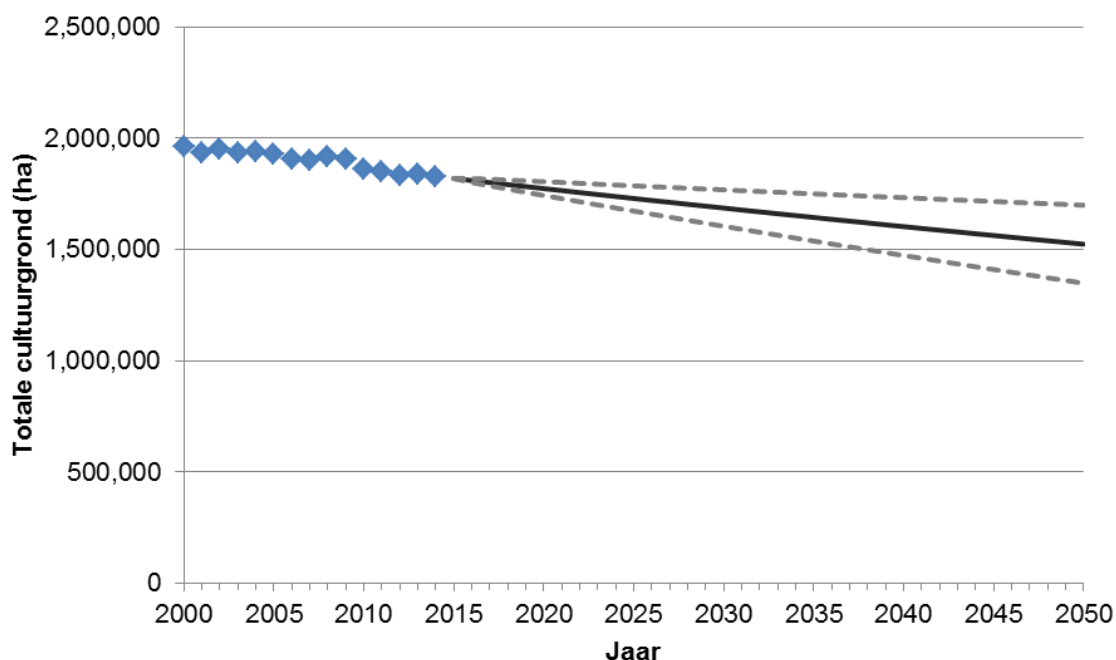


Figuur 16. Totaal aantal bedrijven met akkerbouw, tuinbouw open grond, grasland en groenvoedergewassen in Nederland in het verleden en zoals voorspeld tot 2050.



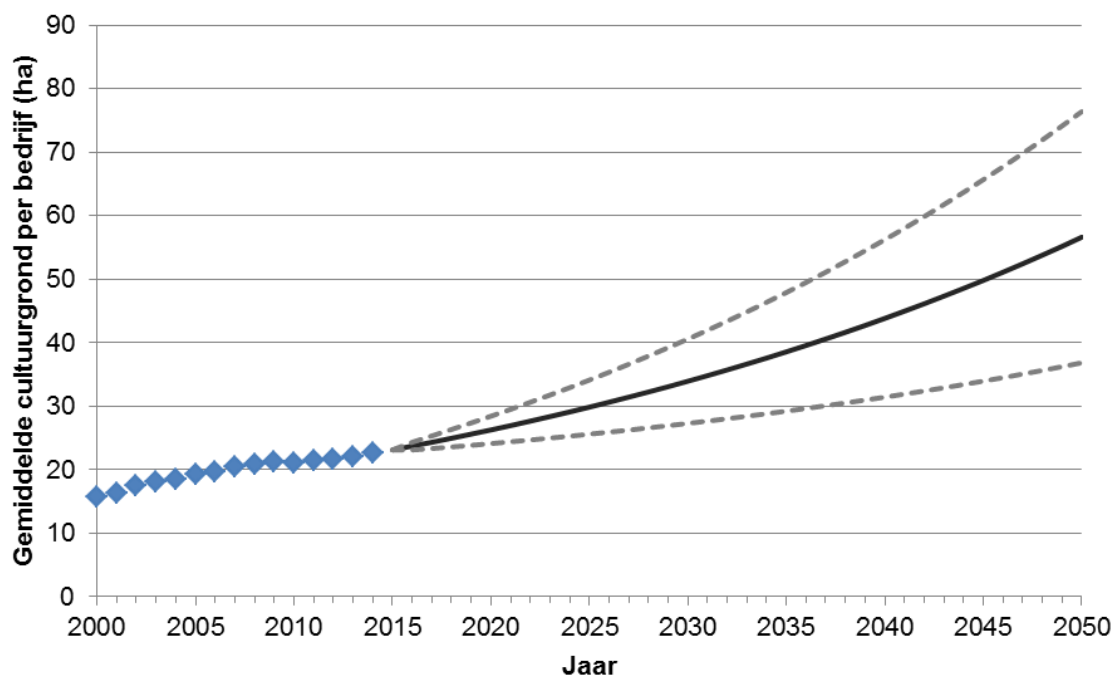
In Figuur 17 is de totale cultuurgrond van bedrijven met akkerbouw, tuinbouw open grond, grasland en graanvoedergewassen in Nederland weergegeven. Cultuurgrond is grond die, blijvend dan wel tijdelijk, deel uitmaakt van het bedrijf, en in hoofdzaak bestemd is voor het voortbrengen van landbouwproducten (akkerbouw, tuinbouw, veehouderij), met inbegrip van (tijdelijk) braakland en grasland. In de zin van de landbouwtelling worden niet meegerekend bos, tuin voor eigen gebruik, erf en dergelijke. Ook snelgroeiend hout wordt niet tot de cultuurgrond gerekend.

De waarden tot en met 2014 zijn op basis van daadwerkelijke tellingen door het Centraal Bureau voor de Statistiek (2015b). Vanaf 2015 is in het kader van deze studie een voorspelling gemaakt van de totale cultuurgrond. Dit is gedaan door de gemiddelde relatieve afname per jaar te berekenen en te extrapoleren tot het jaar 2050. De gemiddelde relatieve afname bedraagt 0,5% per jaar. De grijze lijnen laten het 95%-betrouwbaarheidsinterval zien welke is benaderd door twee keer de standaarddeviatie op en af te trekken van het gemiddelde. De berekeningen laten zien dat, indien de huidige trend zich voortzet, de totale cultuurgrond in 2050 rond de 1,5 miljoen hectare zal zijn.



Figuur 17. Totale cultuurgrond in ha in Nederland in het verleden en zoals voorspeld tot 2050.

In Figuur 18 is de cultuurgrond per bedrijf in Nederland weergegeven. De waarden tot en met 2014 zijn berekend op basis van daadwerkelijke getallen van Centraal Bureau voor de Statistiek (2015b). Vanaf 2015 is in het kader van deze studie een voorspelling gemaakt van de cultuurgrond per bedrijf. Dit is gedaan door de gemiddelde relatieve toename per jaar te berekenen en te extrapoleren tot het jaar 2050. De gemiddelde relatieve toename bedraagt 2,6% per jaar. De grijze lijnen laten het 95%-betrouwbaarheidsinterval zien welke is benaderd door twee keer de standaarddeviatie op en af te trekken van het gemiddelde. De berekeningen laten zien dat, indien de huidige trend zich voortzet, de cultuurgrond per bedrijf in 2050 rond de 57 hectare zal zijn.



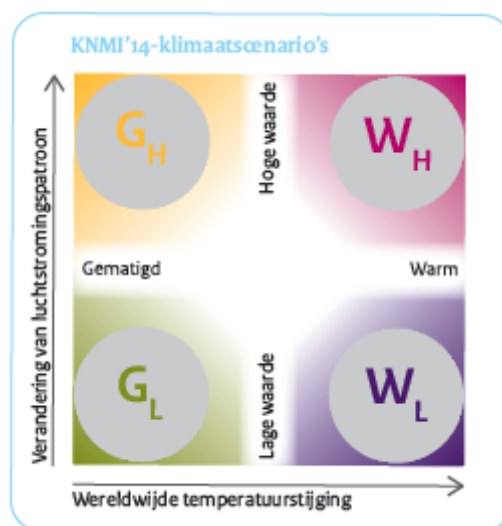
Figuur 18. Cultuurgrond per bedrijf in ha in Nederland in het verleden en zoals voorspeld tot 2050.

2.5 Invloed van klimaatverandering

2.5.1 Klimaatscenario's

In 2014 zijn door het KNMI klimaatscenario's voor Nederland opgesteld ter vervanging van de oude klimaatscenario's van 2006 (KNMI, 2014). Het gaat hierbij om vier nieuwe scenario's voor toekomstige klimaatverandering in Nederland. Ieder scenario geeft een samenhangend beeld van veranderingen in twaalf klimaatvariabelen, waaronder temperatuur, neerslag, zeespiegel en wind. Het gaat niet alleen om veranderingen in het gemiddelde klimaat, maar ook in de extremen, zoals de koudste winterdag en de maximum urenneerslag per jaar. De veranderingen gelden voor het klimaat rond 2050 en 2085 ten opzichte van het klimaat in de referentieperiode 1981-2010.

De KNMI'14-scenario's zijn de vier combinaties van twee uiteenlopende waarden voor de wereldwijde temperatuurstijging, 'Gematigd' en 'Warm', en twee mogelijke veranderingen van het luchtstromingspatroon, 'Lage waarde' en 'Hoge waarde'. Samen beschrijven ze de hoekpunten waarbinnen de klimaatverandering in Nederland zich, volgens de nieuwste inzichten, waarschijnlijk zal voltrekken. Met deze KNMI'14-scenario's biedt het KNMI een leidraad voor berekeningen van de gevolgen van klimaatverandering en voor het ontwikkelen van mogelijkheden en strategieën



Figuur 19. De vier KNMI'14-klimaatscenario's (KNMI, 2014).



voor adaptatie. Ze stellen gebruikers in staat om klimaatverandering te betrekken bij het nemen van besluiten voor een veilig en duurzaam Nederland in de toekomst.

2.5.2 Effect op berekening

Volgens de KNMI'14-klimaatscenario's worden de zomers rond 2050 1 tot 2,3 °C warmer. In de winter neemt de gemiddelde neerslag tussen de 3 en 17 procent toe terwijl de zeespiegel rond 2050 tussen de 15 tot 40 cm is gestegen. In Tabel 6 zijn de effecten van de verschillende scenario's op de neerslag, vochtigheid, verdamping en droogte zien.

In alle scenario's neemt de neerslag in alle seizoenen toe, met uitzondering van de zomer. Dit komt vooral doordat bij een opwarmend klimaat de hoeveelheid waterdamp in de lucht toeneemt. Modelberekeningen zijn niet eenduidig of de gemiddelde neerslag in de zomer toe- of afneemt, en dit is zichtbaar in de scenario's. Twee scenario's (GL en WL) berekenen een kleine toename van de gemiddelde neerslag in de zomer, en de twee andere (GH en WH) een aanzienlijke afname. De procentuele afname is het grootst in zomers die al droog zijn (KNMI, 2014).

Tabel 6. Klimaatverandering in Nederland rond 2050 ten opzichte van het basisjaar 1990 volgens de vier KNMI'14 scenario's (KNMI, 2014).

Seizoen	Indicator	G _L	G _H	W _L	W _H
Winter	Gemiddelde hoeveelheid	3%	8%	8%	17%
	Jaar-op-jaar variaties	+4,5%	9%	10%	17%
	10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	6%	10%	12%	17%
	Aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	-0,3%	+1,4%	-0,4%	+2,4%
	Aantal dagen ≥ 10 mm	+9,5%	19%	20%	35%
Zomer	Gemiddelde hoeveelheid	+1,2%	-8%	+1,4%	-13%
	Jaar-op-jaar variaties	+2,1 tot +5%	-2,5 tot +1,0%	+1,4 tot +7%	-4 tot +2,2%
	Dagelijkse hoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+1,7 tot +10%	+2,0 tot +13%	+3 tot +21%	+2,5 tot +22%
	Maximum uurneerslag per jaar	+5,5 tot +11%	+7 tot +14%	+12 tot +23%	+13 tot +25%
	Aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	+0,5%	-5,5%	+0,7%	-10%
	Aantal dagen ≥ 20 mm	+4,5 tot +18%	-4,5 tot +10%	+6 tot +30%	-8,5 tot +14%
	Relatieve vochtigheid	-0,6%	-2,0%	+0,1%	-2,5%
	Potentiele verdamping (Makkink)	4%	7%	4%	11%
	Gemiddeld hoogste neerslagtekort gedurende het groeiseizoen	+4,5%	20%	+0,7%	30%
	Hoogste neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden	5%	17%	+4,5%	25%

Sinds 1951 komt droogte iets vaker voor in Nederland. Deze trend zet in de toekomst waarschijnlijk door. Indicatoren voor droogte, zoals het neerslagtekort gedurende het groeiseizoen (van 1 april tot en met 30 september), nemen in de GH- en WH-scenario's meer toe dan in de GL- en WL-scenario's. Dit stemt overeen met de veranderingen in neerslag en verdamping die ten grondslag liggen aan de droogteberekeningen (KNMI, 2014).

Volgens de vier klimaatscenario's zal het gemiddelde neerslagtekort gedurende het groeiseizoen met 13,8% toenemen in 2050, ten opzichte van de huidige situatie. Dit betekent dat er substantieel meer beregend zal moeten worden. Een grove inschatting hiervan kan gemaakt worden door de relatie tussen potentieel neerslagtekort en berekening te bepalen.

2.6 Kosten-baten analyse

Als agrariërs 10% minder berekening hoeven toe te passen dankzij informatie van flying sensors wordt tot wel 23 miljoen m³/jaar (gemiddeld 13,1 miljoen m³/jaar) aan water bespaart.

Een vermindering van 10% van de energiebehoefte van waterbeheerders bespaart 16,7 GWh/jaar. Een zelfde besparing in waterbehoefte van agrariërs bespaart tot wel 23,7 GWh/jaar, wat in totaal neerkomt op een besparing van 40,4 GWh/jaar (gemiddeld 27,3 GWh/jaar).

Aangezien 100% van de elektriciteit die gebruikt wordt door de overheid duurzaam is, zal een eventuele besparing op water, en dus energie, geen effect hebben op CO₂ emissie door waterbeheerders. De CO₂-uitstoot van agrariërs wordt wél met 10% teruggedrongen, wat neerkomt op een besparing van tot wel 2770 ton CO₂-eq/jaar (gemiddeld 1840 ton CO₂-eq/jaar).

Met een tarief van 25 cent per kWh kunnen waterbeheerders € 4,2 miljoen per jaar besparen. Voor alle agrariërs samen komt dit neer op € 5,9 miljoen per jaar. Al met al kan er dus ruim € 10 miljoen per jaar (gemiddeld ruim € 6,8 miljoen euro per jaar) bespaard worden.

Uitgaande van een maandelijks repeterende cyclus, waarbij een flying sensor operator elke dag 200 ha in kaart brengt, zijn er op het totale oppervlak van ca. 1,75 miljoen ha circa 400 operators en flying sensors nodig. Uitgaande van een salaris van € 20.000 per operator per jaar en € 700 per flying sensor per jaar (aanschafprijs van € 2100, met een afschrijving in 3 jaar tijd) komt dit neer op € 8,2 miljoen aan kosten.

Netto kan er dus € 1,8 miljoen worden bespaard door de inzet van flying sensors bij bedrijven met akkerbouw, tuinbouw open grond, grasland en graanvoedergewassen in Nederland.

2.7 Wereldwijde potentie

Agriculture is an important contributor of greenhouse gas emissions. So far, the focus has been mainly on GHG emissions from crop, livestock, deforestation, and degraded lands (FAO, 2014). However, irrigated agriculture is also a major energy consumer by pumping and transporting water (Zhu et al.). Surplus irrigation and low efficiencies are therefore not only wasting water, but also huge amount of energy are unnecessary used. By providing farmers improved information on appropriate irrigation applications, reduced energy consumption can be achieved.



2.7.1 Mitigation

Irrigation is an important source of GHG emissions given the enormous amount of energy it takes to pump and transport water. Frequent blackouts during the irrigation seasons in India and Pakistan are showcases for this. By reducing the amount of water used for irrigation substantial savings in energy consumption can be reached in the order of 30-40% (for calculations see below).

2.7.2 Adaptation

Climate change will alter the hydrological balance and especially more extremes and prolonged droughts can be expected. Irrigators depend on the one hand of rainfall falling on their lands on the other on additional supplies. These additional supplies originate from reservoir, groundwater and streams. Better management of these scarce water resources leave more water for times when rainfall is low.

By the observations services provided by Flying Sensors irrigators know exactly where, when and how much to irrigate. This information is therefore an important adaptation to climate changes and especially on the projected increase in extremes.

2.7.3 Theoretical GHG reduction

Energy consumption for irrigation can be up to 200 GJ per ha per year (~ 55 MWh) (Fluck, 1992). The overall irrigation efficiency is about 60-70% so 30-40% of energy consumption is lost. The amount of energy that can be saved is therefore 35% * 55 MWh. Recalculating comes to savings of about 10,000 kg of CO₂ eq. per hectare per year (EPA, 2015)

The total irrigated land of the world is $3.2 * 10^8$ hectares (CIA, 2012). The theoretical GHG reduction for the entire country is therefore about 3,100 mega tonnes of CO₂ eq. per year. Note that these numbers are the upper limit that can be reached. Below the number are shown in a table.

Tabel 7. GHG sources and reductions by pumping and transportation of water.

Scale	Area (ha)	Energy consumption (MWh / y)	Potential saving (MWh / y)	Potential saving	Unit
One hectare	1	55	19	9,625	kg CO₂ eq / y
One farm	20	1,100	385	192,500	kg CO₂ eq / y
Netherlands	486,000	26,730,000	9,355,500	4,678	kt CO₂ eq / y
World	320,000,000	17,600,000,000	6,160,000,000	3,100	Mt CO₂ eq / y

2.8 Marktpotentieel

Een overzicht van het in dit rapport berekende waterverbruik, energieverbruik, CO₂-uitstoot en kosten:

- Het gemiddelde waterverbruik per bedrijf bedraagt 6.679 m³ per jaar. Het totale waterverbruik bedraagt gemiddeld 131 miljoen m³ per jaar. Gemiddeld is 73 miljoen m³



(56%) afkomstig van grondwater, 40 miljoen m³ (31%) van oppervlaktewater en 17 miljoen m³ (13%) van overige bron. Er is een sterke correlatie tussen waterverbruik en neerslagtekort.

- Rijkswaterstaat, de provincies en de waterschappen verbruiken jaarlijks samen circa 167,2 GWh om het Nederlandse watersysteem te beheren (0,15% van het totale energieverbruik van Nederland). Uit een inventarisatie uit 2014 blijkt dat 100% de hiervoor benodigde elektriciteit duurzaam is opgewekt. Er is hier dus geen sprake van directe CO₂-uitstoot.
- Het gemiddelde energieverbruik is ruim 5.400 kWh per agrarisch bedrijf per jaar. Het totale energieverbruik bedraagt gemiddeld 106,8 GWh (0,1% van het totale energieverbruik van Nederland) Gemiddeld is 88 GWh (82%) te wijten aan beregening uit grondwater, 11,1 GWh (10%) uit oppervlaktewater en 7,7 GWh (7%) uit overige bron.
- De gemiddelde CO₂-uitstoot is ruim 2.800 kilogram per bedrijf per jaar. De totale CO₂-uitstoot bedraagt gemiddeld 18.400 ton per jaar.
- Gemiddeld bedragen de energiekosten 1.067 euro per bedrijf per jaar. De totale kosten bedragen gemiddeld 21 miljoen euro per jaar.
- Het aantal bedrijven met akkerbouw, tuinbouw open grond, grasland en graanvoedergewassen in Nederland bedraagt nu circa 80.000 en loopt in 2050 terug naar ca. 27.000. De gemiddelde beregende oppervlakte is 338 duizend hectare (ca. 20% van het totaal).

Volgens de vier klimaatscenario's zal het gemiddelde neerslagtekort gedurende het groeiseizoen met 13,8% toenemen in 2050, ten opzichte van de huidige situatie. Dit betekent dat er substantieel meer beregend zal moeten worden. Vochttekorten zijn zeer goed waarneembaar vanuit de lucht met behulp van sensoren bevestigd aan een flying sensor. De gebruikte vegetatie index Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) kan hier een goede indicatie geven.

Als agrariërs 10% minder beregening hoeven toe te passen dankzij informatie van flying sensors kan potentieel 23 miljoen m³ water (gemiddeld 13,1 miljoen m³), 40,4 GWh energie (gemiddeld 27,3 GWh), 2770 ton CO₂-eq (gemiddeld 1840 ton CO₂-eq) en ruim € 10 miljoen euro (gemiddeld ruim € 6,8 miljoen euro) per jaar worden bespaard. De kosten voor een landelijke flying sensor service komen neer op circa € 8,2 miljoen per jaar, waardoor netto dus € 1,8 miljoen kan worden bespaard door de inzet van flying sensors in Nederland. Wereldwijd zou tot wel 3100 Mton aan CO₂-eq kunnen worden bespaard door efficiënter beregenen.



3 Technische haalbaarheid

3.1 Water-energy nexus

De Nederlander gebruikt gemiddeld 2300 m³ water per jaar (Van Oel et al., 2009). Bij agrarische producten komt zelfs 97% van het water uit het buitenland. Het betreft onder meer import uit landen met veel meer waterschaarste dan in Nederland, zoals Sudan en Spanje (Van Oel et al., 2008). Slechts 2% van het totale waterverbruik van de Nederlander is water voor huishoudelijk gebruik. 98% is indirect watergebruik, water voor het maken van onze goederen. 67% van het totale waterverbruik van de Nederlandse consument is gerelateerd aan de productie van agrarische goederen en 31% aan industriële goederen (Wereld Natuur Fonds, 2010).

Zoetwatervoorziening is belangrijk en zal met de toenemende vraag en de gevolgen van klimaatverandering nog belangrijker worden in de toekomst. Een tot nu toe onderbelicht aspect is de energieconsumptie die nodig is om aan de zoetwatervoorziening te voldoen. Gemalen en pompen gebruiken een substantiële hoeveelheid energie om dit water naar de eindgebruiker te krijgen. Met name de landbouw, de grootste gebruiker van zoetwater, gebruikt hierdoor grote hoeveelheden energie.

Elke druppel water die moet worden gepompt, verplaatst of gezuiverd om aan de behoefte van huishoudens en industrie te voldoen vereist energie. De kosten hiervan hangen af van de electriciteitsprijs. Gezien de verwachting dat deze kosten in de toekomst alleen maar hoger worden, zal het leveren van water alsmaar duurder worden (Droogers, 2013).

Efficiënter omgaan met water leidt daarom automatisch tot energiebesparing. Echter, de informatie om efficiënter om te gaan met water, en dus energie, ontbreekt in de water en landbouwsector. Tegelijkertijd zijn de ontwikkelingen in de drone technologie (hierna genoemd Flying Sensors) de laatste jaren enorm hard gegaan. De uitdaging met Flying Sensors is daarom ook niet meer de techniek zelf, maar het inzetten van de verkregen informatie.

3.2 Precisielandbouw

Precisielandbouw is een vorm van landbouw, waarbij planten en dieren heel nauwkeurig die behandeling krijgen die ze nodig hebben. Het grote verschil met de klassieke landbouw is dat de klassieke landbouw per veld bepaalt wat er gebeurt terwijl bij precisielandbouw ongeveer per vierkante meter de behoefte bepaald kan worden.

Precisielandbouw is een geavanceerde vorm van landbouwmechanisatie en maakt gebruik van GPS, sensoren (op de grond, in drones en vanuit satellieten) en computers op de trekker.



3.3 Flying sensors

Door de inzet van betaalbare flying sensors (ook wel UAV's of drones genoemd) kan essentiële informatie worden verkregen: (i) bij een ultra-hoge ruimtelijke resolutie, (ii) met een ongekeerde flexibiliteit in locatie en tijd, (iii) bij een spectrum buiten wat zichtbaar is voor het menselijk oog, en (iv) met een in-het-veld georiënteerde bedrijfsaanpak.

Dankzij deze informatie hoeven agrariërs niet langer op gevoel te werken, maar kunnen ze daadwerkelijk gebruikmaken van feiten. Zo kunnen flying sensors helpen om te bepalen wanneer water en nutriënten aan de gewassen moeten worden toegevoegd, om deze gewassen optimaal te kunnen laten groeien, maar om ook te kunnen inschatten wat de opbrengst zal worden aan het eind van het groeiseizoen. Daarnaast wordt er water bespaard door deze gerichter in te zetten, daar waar nodig (Figuur 20).



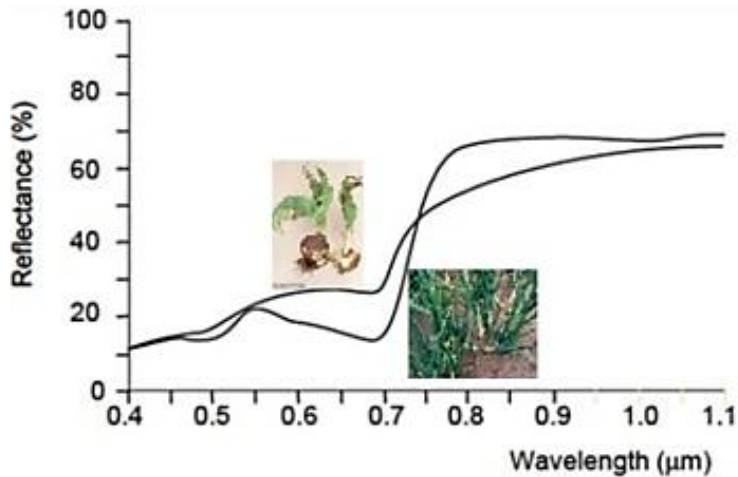
Figuur 20. De Flying Sensor 'Pelican', die gebruikt werd voor de studie, bevat een nabij-infrarood sensor (HiView, 2015).

Een concrete mogelijkheid is om een boer eens per maand van real time informatie te voorzien over de toestand van zijn gewassen. Deze informatie wordt geleverd met een resolutie van 2 bij 2 cm in het infrarood spectrum. Infrarood is niet zichtbaar voor het menselijk oog, maar kan de toestand van de gewassen twee weken eerder zien dan wat gezien kan worden in het rood-groen-blauw spectrum wat wel zichtbaar is voor de mens.

3.4 Sensortechnieken

Gewasreflectiesensoren meten delen van het zichtbare spectrum (in ieder geval altijd rood) en delen van het nabij infrarood spectrum. Wanneer licht op een blad valt en terugkaatst, treedt reflectie op. Kenmerkend voor groen plantmateriaal is de verhoogde reflectie in het groene spectrum ($0,54 \mu\text{m}$). Daarom zien mensen planten als groen. Gezond plantmateriaal laat een zwaar 'reflectiedal' zien in het rode spectrum ($0,7 \mu\text{m}$). In het nabij-infrarode spectrum ($0,8 \mu\text{m}$) neemt de reflectie enorm toe tot 80% van het ingevallen licht. Dit wordt veroorzaakt door transitie (overgang) van lucht tussen de celkernen. Dit is kenmerkend voor gezond plantmateriaal (Figuur 21). Aangetast plantmateriaal laat een vlakker verloop van de bovenstaande lijn zien. Daarnaast is de reflectie in de rode spectrum vele malen hoger dan bij gezond plantmateriaal. Met dit specifieke verloop van reflectieverhoudingen is dus aangetast plantmateriaal te onderscheiden van gezond plantmateriaal (Schans et al., 2011).





Figuur 21. Reflectie van golflengtes bij een gezond en aangetast gewas (Schans et al., 2011).

Om de gewasreflectie op een standaard manier te kunnen vergelijken worden met de gemeten informatie vegetatie indices berekend (Tabel 8). Met bepaalde formules wordt hier de reflectie in specifieke banden met elkaar gecombineerd. Een aantal vegetatie indices zijn opgesteld om een beeld te krijgen van de hoeveelheid biomassa van een gewas (NDVI, WdVI), andere indices zeggen meer iets over het chlorofyl of stikstof in het blad. Dus voor het monitoren van verschillende gewasparameters zijn ook verschillende vegetatie indices nodig.

Niet alle vegetatie indices zijn te berekenen met de in dit project gebruikte sensoren. Voor dit pilotproject is gekozen om de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) te gebruiken. De NDVI is een belangrijke ratio gewasindex en zegt iets over de fotosyntheseactiviteit van de plant. Daarnaast is de NDVI een indicator voor de hoeveelheid bladmassa en daarmee weer voor de biomassa.

De toestand van het gewas op het perceel is weergegeven als NDVI. Vegetatie geeft een sterke reflectie in het gebied van 0,7-0,9 µm (nabij-infrarood) terwijl het zwak weerkaatst in het gebied van 0,6-0,7 µm (rood) vanwege de absorptie door chlorofyl. Het genormaliseerde verschil in nabij-infrarood en rood is de NDVI.

De NDVI waarden kunnen in theorie tussen de -1 en de +1 liggen. In de praktijk zijn waarden voor kale grond rond de 0,2 en voor zeer goed groeiende vegetatie rond de 0,8.

NDVI waarden geven een indicatie van de gewasstress. Deze kan worden veroorzaakt door de vochthuishouding: water tekort, of bijvoorbeeld een tekort aan nutriënten (N).

Tabel 8. Overzicht van spectrale vegetatie indices relevant voor schatting van biomassa en stikstof in vegetatie (Kooistra, 2011).

Index	Naam	Formule	Ontwikkeld door
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(R_{NIR}-R_{red})/(R_{NIR}+R_{red})$	Rouse et al. (1974)
RVI	Ratio Vegetation Index	R_{NIR}/R_{red}	Jordan (1969)
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index	$R_{NIR}-C \cdot R_{red}$ C = 2 (soil factor)	Clevers (1989)
REP-LI	Red edge position: linear interpolation method	$700+40(R_{re}-R_{700})/(R_{740}-R_{700})$ Rre: $(R_{670}+R_{780})/2$	Guyot et al. (1988)
MTCI	MERIS Terrestrial Chlorophyll Index	$(R_{754}-R_{708})/(R_{708}-R_{680})$	Dash and Curran (2008)
TCARI	Transformed chlorophyll absorption in reflectance index	$3((R_{700}-R_{670})-0.2(R_{700}-R_{550}))(R_{700}/R_{670})$	Haboudane et al. (2002)
TCARI/OSAVI	Combined Index: TCARI with Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index	TCARI/OSAVI OSAVI: $1.16 \times (R_{800}-R_{670})/(R_{800}+R_{670}+0.16)$	Haboudane et al. (2002)
MCARI	Modified Chlorophyll Absorption index	$[(R_{700}-R_{670})-0.2 \times (R_{700}-R_{550}) \times (R_{700}/R_{670})]$	Daughtry et al. (2000)
DCNI	Double-peak canopy nitrogen index	$(R_{720}-R_{700})/(R_{700}-R_{670})/(R_{720}-R_{670}+0.03)$	Chen et al. (2010)
NDRE	Normalized Difference Red Edge Index	$(R_{780}-R_{720})/(R_{780}+R_{720})$	Eitel et al. (2010)



4 Experimentele ontwikkeling

4.1 Werkwijze

Voor de experimentele ontwikkeling is het volgende stappenplan gehanteerd:

1. Voorbereiding meetcampagne:
 - Het vliegen met UAV's (drones) vereist een gedegen voorbereiding en is niet zomaar toegestaan. De volgende werkzaamheden zijn o.a. uitgevoerd: aanvraag vliegt toestemming, testen meetapparatuur (UAV, sensors, GPS);
2. Metingen op pilotlocaties:
 - Inmeten locaties (GPS of met geometrisch correcte digitale luchtfoto's en AHN2);
 - Plaatsen panelen, ter vergroting van onderscheidend vermogen;
 - Per vluchtdag zijn twee vluchten uitgevoerd:
 - één vlucht met de zichtbaar licht sensor (Rood, Groen, Blauw: R-G-B)
 - één vlucht met de nabij-infrarood sensor (Nabij-infrarood, Rood, Groen: NIR-R-G);
3. Nabewerking:
 - Geometrische correctie van de ruwe beelden;
 - Mosaiëking van de ruwe beelden, met als resultaat een orthofoto gebied;
 - Inventarisatie en selectie van vegetatie indices;
 - Bereken van vegetatie index: NDVI;
4. Analyse:
 - Visuele interpretatie van beelden;
 - Analyse gewasindex NDVI, trend, verklaring;
 - Vertaling van gegevens en beeldinformatie naar begrijpbare informatie voor agrariër.

4.2 Pilot Flying Sensors informatie

4.2.1 Van den Borne aardappelen

Van den Borne aardappelen is een bedrijf wat zich heeft gespecialiseerd in de teelt van aardappelen. Het bedrijf is gevestigd in het Brabantse Reusel, een dorpje wat gelegen is op de grens met België. Al sinds 1970 worden er op het bedrijf aardappelen geteeld. Op dit moment varieert het areaal aardappelen tussen de 450 en 500 hectare per jaar. Er wordt hierbij gewerkt met een teeltrotatie van 1 op 4, waarbij bieten voor de aardappelen en mais twee maal na de aardappelen wordt geteeld.



Figuur 22. Locatie van Van den Borne aardappelen.

Vanwege de grote verscheidenheid in grond en de steeds wisselende percelen is het bedrijf in 2007 begonnen met het toepassen van precisielandbouw. Met behulp van precisielandbouw is er in de laatste jaren over het gehele bedrijf een gemiddelde opbrengststijging van 1% per jaar gerealiseerd. Figuur 23 toont het steeds terugkerende patroon waarin gewerkt moet worden volgens van den Borne.



Figuur 23. De cyclus van precisielandbouw bij van den Borne aardappelen (Van den Borne Aardappelen, 2015).

Beregenen wordt gedaan met behulp van bodemsensingkaarten die in het voorjaar gemaakt zijn. Omdat de vochtverhouding in kaart is gebracht weet men precies waar meer en waar minder vocht in de grond zit. Door hier met de beregeningshaspel op in te spelen kan er tijd worden bespaard en precies daar waar nodig beregend worden. Nieuw is het beregenen met een sproeiboom, waarmee er in secties beregend kan worden. Hierdoor wordt het brandstofverbruik verlaagd, de watergift verhoogd en de beregening plaats specifiek uitgevoerd. Omdat er zoveel water gegeven kan worden met een sproeiboom kan er sneller beregend worden, waardoor de capaciteit aanzienlijk wordt verhoogd (Groen Kennisnet, 2014).

Tijdens het groeiseizoen wordt de toestand van de gewassen onder andere gemeten met behulp van flying sensors. De data wordt gebruikt om een aantal variabele kaarten te maken om kunstmest en beregening toe te passen. De kunstmest wordt gestrooid op de plaatsen waar het nodig is. Het kunstmest wordt op de plaatsen gestrooid op de plaatsen met de hoogste opbrengst potentie (Van den Borne Aardappelen, 2015).

HiView heeft, in samenwerking met FutureWater, met behulp van Flying Sensors beeldopnamen gemaakt in bij Van den Borne aardappelen in Reusel. Dit is gedaan op 5 augustus 2015. Er is gevlogen binnen een straal van 500 meter rond coördinaten 51°19'20.81"N 5°10'20.71"O. In Figuur 24 is het orthomozaïek weergegeven, welke bestaat uit 296 foto's met een resolutie van 5 cm per pixel.





Figuur 24. Het orthomozaïek: geometrisch gecorrigeerde en samengevoegde nabij-infrarood beelden met georeferentie en een resolutie van 5 cm per pixel (5 aug 2015).

In Figuur 25 is de vegetatietoestand weergegeven. Deze is bepaald door middel van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Groen wijst op gezonde vegetatie, rood op ongezonde of schaarse vegetatie.



Figuur 25. Vegetatietoestand bepaald door middel van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Groen wijst op gezonde vegetatie, rood op ongezonde of schaarse vegetatie (5 aug 2015).

4.2.2 Harry's Farm

Harry's Farm is een bedrijf met een oppervlakte van ca 49 ha in Swifterbant, Oostelijk Flevoland (Figuur 26). Het bedrijf heeft een bouwplan van 1 op 5. Dat wil zeggen dat de gewassen eens in de vijf jaar op eenzelfde hoofdperceel komen. Het bedrijf is opgedeeld in 5 hoofdpercelen van tussen de 9 á 10 ha: 1 hoofdperceel aardappelen, 1 hoofdperceel wintertarwe, 1 hoofdperceel suikerbieten, 1 hoofdperceel uien en 1 hoofdperceel wintertarwe. Foto's vanuit het veld, met de verschillende gewassen zijn weergegeven in Figuur 27.

HiView heeft, in samenwerking met FutureWater, met behulp van Flying Sensors beeldopnamen gemaakt bij Harry's Farm in Swifterbant. Dit is gedaan op 5 augustus 2015. Er is gevlogen binnen een straal van 500 meter rond coördinaten 52°32'14.63"N 5°35'33.51"O. In Figuur 28 is het orthomosaïek weergegeven, welke bestaat uit 273 foto's met een resolutie van 5 cm per pixel.



Figuur 26. Locatie van Harry's Farm.





Figuur 27. Gewassen bij Harry's Farm: wintertarwe (linksboven), uien (rechtsboven), suikerbieten (linksonder) en aardappelen (rechtsonder).



Figuur 28. Het orthomozaïek: geometrisch gecorrigeerde en samengevoegde nabij-infrarood beelden met georeferentie en een resolutie van 5 cm per pixel (5 aug 2015).

In Figuur 29 is de vegetatietoestand weergegeven. Deze is bepaald door middel van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Groen wijst op gezonde vegetatie, rood op ongezonde of schaarse vegetatie.



Figuur 29. Vegetatietoestand bepaald door middel van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Groen wijst op gezonde vegetatie, rood op ongezonde of schaarse vegetatie (5 aug 2015).

4.2.3 Asbreuk Agri BV

HiView heeft, in samenwerking met FutureWater, met behulp van Flying Sensors beeldopnamen gemaakt bij Asbreuk Agri BV in Haaksbergen. Dit is gedaan op 5 augustus 2015. Er is gevlogen binnen een straal van 500m rond coördinaten $52^{\circ}10'43.61''N$ $6^{\circ}42'43.45''O$. In Figuur 31 is het orthomozaïek weergegeven, welke bestaat uit 226 foto's met een resolutie van 5 cm per pixel.



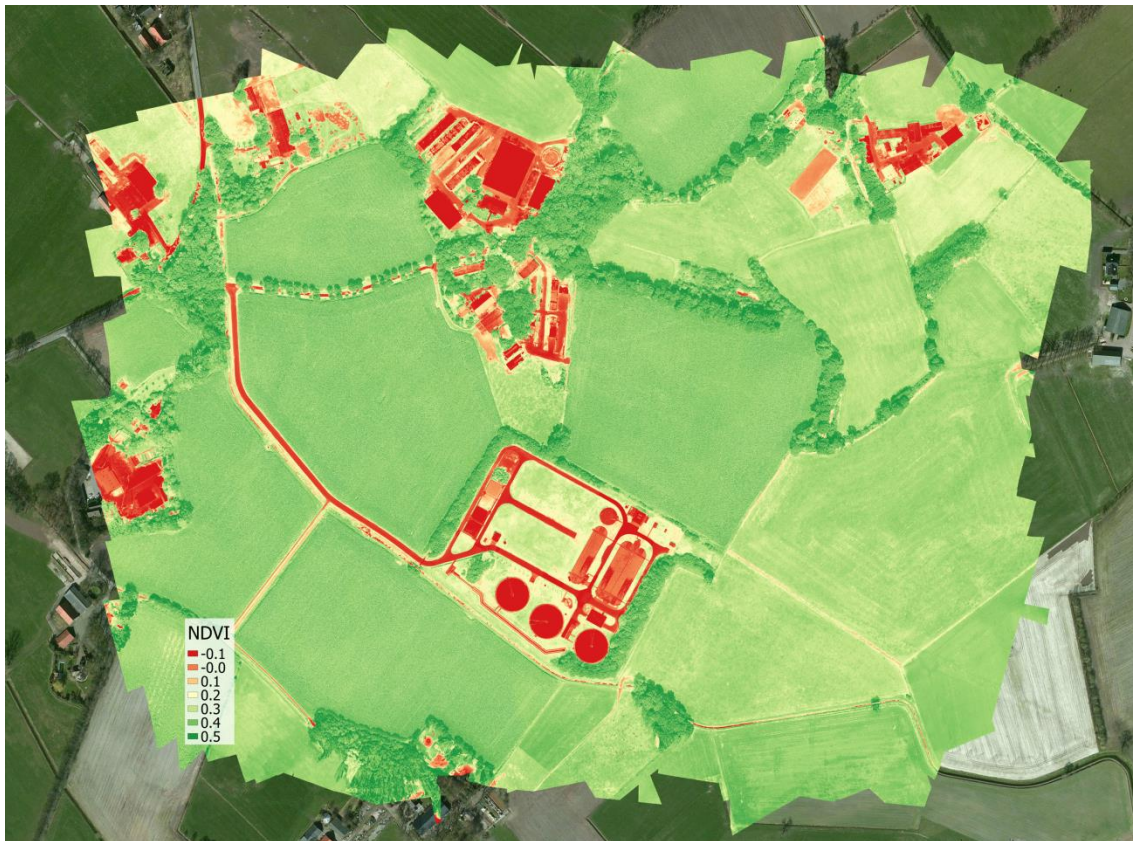
Figuur 30. Locatie van Asbreuk Agri BV.





Figuur 31. Het orthomozaïek: geometrisch gecorrigeerde en samengevoegde nabij-infrarood beelden met georeferentie en een resolutie van 5 cm per pixel (5 aug 2015).

In Figuur 32 is de vegetatietoestand weergegeven. Deze is bepaald door middel van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Groen wijst op gezonde vegetatie, rood op ongezonde of schaarse vegetatie.



Figuur 32. Vegetatietoestand bepaald door middel van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Groen wijst op gezonde vegetatie, rood op ongezonde of schaarse vegetatie (5 aug 2015).

4.3 Resultaten

De beelden die dit groeiseizoen zijn gemaakt en de uitgevoerde analyses worden goed herkend door de agrariërs. Vochttekorten zijn zeer goed waarneembaar vanuit de lucht met behulp van sensoren bevestigd aan een flying sensor. De gebruikte vegetatie index Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) kan hier een goede indicatie geven.

Bij een eerder uitgevoerde pilotstudie in Swifterbant bleek al dat de zeer goede vochtthuishouding van de Flevolandse klei niet de ideale plek is om gewasstress door vochttekort waar te nemen (Droogers et al., 2014). Toch zijn op de analysebeelden wel verschillen te zien, die met het blote oog op het maaiveld niet zijn op te merken. Zo is bijvoorbeeld duidelijk te zien dat het middelste perceel aan de oostkant een lagere NDVI-waarde heeft. In samenspraak met de agrariër zijn veelal verklaringen gevonden voor de gemeten verschillen.

Gewasstress door vochttekort komt vaker voor op heterogene percelen op de armere zandgronden. Gewasstress door vochttekort is hier goed waarneembaar, zoals bleek uit de beelden van Haaksbergen en Reusel.

5 Conclusies en aanbevelingen

Het doel van dit haalbaarheidsonderzoek was gedefinieerd als:

“Onderzoeken van de kansen die een innovatieproject heeft voor de ontwikkeling van Flying Sensor informatievoorziening om zoetwater en energie te besparen”

Hiertoe zijn drie componenten van “haalbaarheid” onderscheiden, elk met hun eigen resultaat. Hieronder volgt de samenvatting en conclusies van elk van deze componenten, met een doorkijk naar de mogelijkheid om een **ontwikkelingsproject** te starten.

- **Economische haalbaarheid**
 - Marktpotentieel detaillering
 - *Resultaat:* Dit rapport geeft een duidelijk beeld dat de hoeveelheid water die gebruikt wordt voor beregening erg groot is en daardoor wordt dus ook veel energie gebruikt. Als percentage van alle gebruikte energie in Nederland is het echter relatief laag. Daarnaast zijn alle waterschappen overgestapt op CO₂ neutrale energie, dus het argument om klimaatneutraal te gaan werken door Flying Sensors te gebruiken is niet relevant voor deze doelgroep. Wel echter de hoge kosten van energiegebruik. Voor agrariërs is CO₂ reductie wel een argument om Flying Sensors in te gaan zetten.
 - *Ontwikkelingsproject:* (i) Analyseren of het marktpotentieel buiten Nederland in drogere gebieden met meer beregening (bv. Spanje) groter is. (ii) Detaillering van de vergroting van het marktpotentieel als gevolg van klimaatverandering met de verwachte stijging van droge zomers.
 - Marktonderzoek potentiële afnemers
 - *Resultaat:* Er zijn vier potentiële afnemers voor de Flying Sensor services geïdentificeerd: waterschappen, provincies, Rijkswaterstaat en agrariërs. De analyse laat zien dat provincies en Rijkswaterstaat relatief kleine potentiële afnemers zijn.
 - *Ontwikkelingsproject:* (i) Overleggen met waterschappen en agrariërs of zij gezamenlijk de Flying Sensor services willen afnemen.
 - Kosten-baten analyse
 - *Resultaat:* De kosten-baten analyse laat zien dat de inzet van de Flying Sensors net aan rendabel is. Kleine marktverschuivingen (kosten van arbeid, kosten van energie, kosten van Flying Sensors, etc), kunnen echter een relatief grote invloed hebben op de rendabiliteit.
 - *Ontwikkelingsproject:* (i) Gevoeligheidsanalyse van de kosten-baten analyse, (ii) Onderzoeken van additieve voordelen van Flying Sensor services (e.g. minder kunstmest, hogere landbouwopbrengst).
- **Technische haalbaarheid**
 - Water-energy nexus
 - *Resultaat:* Een uitgebreide analyse van de water-food-energy nexus is beschreven in dit rapport. FutureWater kan dit gebruiken om haar kennis te demonstreren bij eventuele marktintroductie van de Flying Sensor service.
 - *Ontwikkelingsproject:* Geen acties nodig.



- Sensor technieken verfijning
 - *Resultaat:* Een overzicht van de verschillende sensortechnieken is onderzocht en beschreven in dit rapport. Het belangrijkste is om informatie te verzamelen die spectraal specifiek is en dan vooral in Red en Near-InfraRed (NIR). Belangrijk is wel dat deze twee banden tegelijk worden opgenomen en duidelijk onderscheidend zijn.
 - *Ontwikkelingsproject:* Geen acties noodzakelijk. Gewenst zou zijn om de nieuwe trend van thermische camera's te analyseren.
- Platform voor adviesverstrekking
 - *Resultaat:* In deze haalbaarheidsstudie is hier door tijdgebrek amper aandacht aan besteed. Er zijn al wel enkele bestaande platforms die mogelijk gebruikt kunnen worden.
 - *Ontwikkelingsproject:* Analyseren of een eigen platform gewenst is om te ontwikkelen of dat met andere partijen moet worden samengewerkt.
- **Experimentele ontwikkeling**
 - Pilot Flying Sensors informatie
 - *Resultaat:* Er is uitgebreid getest met het werkelijk uitvoeren van een zestal Flying Sensor vluchten bij agrariërs. Het is duidelijk dat de verzamelde informatie goed kan worden gebruikt om nauwkeuriger (juiste moment en locatie specifiek) te beregenen. Hierdoor kan minder worden beregend en wordt dus water en energie uitgespaard. Agrariërs zijn enthousiast en hebben potentiële interesse om het product te gebruiken.
 - *Ontwikkelingsproject:* (i) Gebruik maken van enkele vluchten waarbij Red en NIR tegelijk worden verzameld. (ii) Meerdere vluchten in de tijd (maandelijks of 2-wekelijks) van hetzelfde gebied.
 - Demonstratie potentieel eindproduct
 - *Resultaat:* Het eindproduct (prototype) is in de vorm van kaarten en posters aan de agrariërs opgeleverd. Van deze verschillende prototypen vond men vooral de relatieve verschillen binnen één perceel het meest informatief. Dit product konden zij gebruiken en zou potentieel gebruikt kunnen worden om hun beregening locatie- en tijd-specifiek uit te voeren.
 - *Ontwikkelingsproject:* (i) Het versnellen van het traject van opname tot eindproduct. (ii) Aanlevering aan de agrariër (email, webservice, etc.)

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat het haalbaar is om zoetwater en energie te besparen met behulp van een Flying Sensor informatievoorziening service. Er zal nu naar financiering worden gezocht om een ontwikkelingstraject te starten.



6 Referenties

- ARCADIS 2014. Klimaatmonitor 2014. *Unie van Waterschappen*. Den Haag.
- CE DELFT 2015. Emissiekentallen elektriciteit - Kentallen voor grijze en 'niet-geomerkte stroom' inclusief upstream-emissies. Delft.
- CENTRAAL BUREAU VOOR DE STATISTIEK. 2007. *Nederlandse gas- en elektriciteitsprijzen behoren tot hoogste in Europa* [Online]. Available: <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/industrie-energie/publicaties/artikelen/archief/2007/2007-2187-wm.htm> [Accessed 7 december 2015].
- CENTRAAL BUREAU VOOR DE STATISTIEK 2015a. Elektriciteit in Nederland.
- CENTRAAL BUREAU VOOR DE STATISTIEK. 2015b. *Statline* [Online]. Available: <http://statline.cbs.nl/> [Accessed 10 december 2015].
- CIA. 2012. *The World Factbook - Irrigated Land* [Online]. Available: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2146.html> [Accessed December 30 2015].
- COMPENDIUM VOOR DE LEEFOMGEVING. 2014. *Watergebruik in de land- en tuinbouw, 2001-2012* [Online]. Available: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0014-Watergebruik-landbouw.html?i=11-98> [Accessed December 16 2015].
- DELTARES 2009. Energieverbruik nationaal en regionaal waterbeheer. *WINN Energie uit Water* Delft.
- DROOGERS, P. 2013. Water-Food-Energy Nexus: Towards a widening of the water agenda. *FutureWater Report 128*.
- DROOGERS, P., IMMERZEEL, W., KRAAIJENBRINK, P. & LOEVE, R. 2014. Flying Sensor Rapport, locatie Swifterbant. *FutureWater Rapport*.
- EPA. 2015. *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator* [Online]. Available: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator> [Accessed December 30 2015].
- FAO. 2014. *Agriculture's greenhouse gas emissions on the rise* [Online]. Available: <http://www.fao.org/news/story/en/item/216137/icode/> [Accessed December 29 2015].
- FLUCK, R. C. 1992. *Energy in Farm Production*
- GROEN KENNISNET. 2014. *van den Borne* [Online]. Available: <https://precisielandbouw.groenkennisnet.nl/display/OT/van+den+Borne> [Accessed 29 december 2015].
- GRONTMIJ 2009. Inventarisatie energieverbruik waterwerken. *WINN Energie uit Water*.
- HIVIEW. 2015. *HiView* [Online]. Available: <http://www.hiview.nl/> [Accessed November 30 2015].
- IMERGIS ORGANISATIEBLOEI. 2015. *Grenzen Waterschappen (2015)* [Online]. Available: <http://www.imergis.nl/asp/47.asp> [Accessed 21 december 2015].
- KNMI 2014. Klimaatscenario's voor Nederland (Herziene uitgave 2015).
- KNMI. 2015. *Historisch verloop neerslagtekort* [Online]. Available: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/historisch-neerslagtekort> [Accessed 11 december 2015].
- KOOISTRA, L. 2011. Verificatie remote versus near sensing voor toepassingen in precisie landbouw. *Eindrapport PPL project 023*.
- LEI WAGENINGEN UR. 2015. *Agrimatie* [Online]. Available: <http://www.agrimatie.nl/> [Accessed 14 december 2015].
- MILIEU CENTRAAL. 2015. *Gemiddeld energieverbruik* [Online]. Available: <http://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/grip-op-je-energierekening/gemiddeld-energieverbruik/> [Accessed 30 december 2015].
- SCHANS, D., BLOK, P., BLOK, D. & OS, G. 2011. WURKS lesmodules precisie landbouw voor MBO en HBO. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. PPO nr. 447*.
- VAN DEN BORNE AARDAPPELEN. 2015. *Precisie Landbouw cyclus bij Van Den Borne aardappelen* [Online]. Available: <http://www.vandenborneaardappelen.com/nl/150/precisie-landbouw-bij-van-den-borne-aardappelen> [Accessed 28 december 2015].
- VAN OEL, P. R., MEKONNEN, M. M. & HOEKSTRA, A. Y. 2008. The external water footprint of the Netherlands: Quantification and impact assessment. *Value of Water Research Report Series No. 33*. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE.



- VAN OEL, P. R., MEKONNEN, M. M. & HOEKSTRA, A. Y. 2009. The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment. *Ecological Economics*, 69, 82-92.
- WERELD NATUUR FONDS 2010. Water - Een kostbaar goed: De Nederlandse watervoetafdruk nader bekeken.
- ZHU, T., RINGLER, C. & CAI, X. Energy Price and Groundwater Extraction for Agriculture: Exploring the Energy-Water-Food Nexus at the Global and Basin Levels.



Bijlage 1: Waterschappen van Nederland

Actueel per 1 december 2015 (Imergis Organisatiebloei, 2015).



Waterschappen

- | | |
|--|--------------------|
| Aa en Maas | Hunze en Aa's |
| Brabantse Delta | Noorderzijlvest |
| De Dommel | Peel en Maasvallei |
| Groot Salland | Reest en Wieden |
| Hollandse Delta | Rijn en IJssel |
| Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht | Rivierenland |
| Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden | Roer en Overmaas |
| Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier | Scheldestromen |
| Hoogheemraadschap van Delfland | Vallei en Veluwe |
| Hoogheemraadschap van Rijnland | Vechtstromen |
| Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard | Wetterskip Fryslân |
| | Zuiderzeeland |

Bijlage 2: Provincies van Nederland

Bijgewerkt op 25 februari 2015 (Imergis Organisatiebloei, 2015).



Provincies

 Drenthe	 Noord-Brabant
 Flevoland	 Noord-Holland
 Friesland	 Overijssel
 Gelderland	 Utrecht
 Groningen	 Zeeland
 Limburg	 Zuid-Holland




Bijlage 3: Posters vliegwerk


Dit zijn de posters van het vliegwerk in Reusel, Swifterbant en Haaksbergen op 5 augustus 2015 ten behoeve van dit project. Deze posters zijn ook overhandigd aan de agrariërs.

Een duurzamere water en energie economie met behulp van Flying Sensors

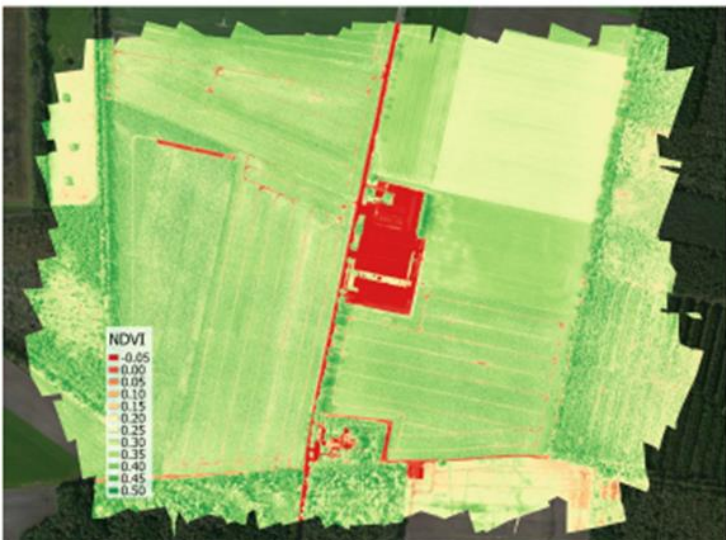
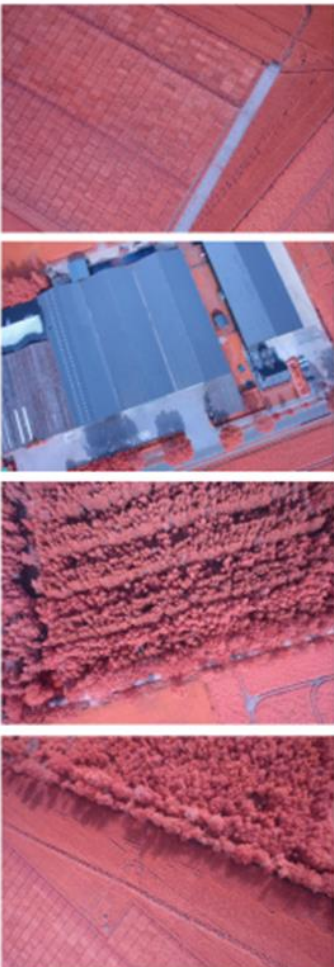
Reusel, 5 augustus 2015




HiView heeft, in samenwerking met FutureWater, met behulp van Flying Sensors beeldopnamen gemaakt in Reusel. Doel hiervan was om te onderzoeken wat de ontwikkeling van Flying Sensor informatievoorziening voor kansen biedt om zoetwater en energie te besparen. De resultaten van dit haalbaarheidsproject kunnen via een ontwikkelingsproject leiden tot een innovatieve dienst waarbij waterbeheerders en agrariërs (twee-)wekelijks gedetailleerde kaarten van hun percelen krijgen waarop te zien is of beregning noodzakelijk is, en zo ja de gewenste hoeveelheid.



Het orthomosaïek: geometrisch gecorrigeerde en samengevoegde nabij-infrarood beelden met georeferentie en een resolutie van 5 cm per pixel. In totaal zijn hiervoor 296 foto's gebruikt.



Vegetatiestoestand bepaald door middel van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Groen wijst op gezonde vegetatie, rood op ongezonde of schaarse vegetatie.



De Flying Sensor 'Pelican', die gebruikt werd voor de studie, bevat een nabij-infrarood sensor.

HiView in samenwerking met FutureWater

Costerweg 1V | 6702 AA Wageningen | 0317 460 050 | info@hiview.nl | www.hiview.nl | www.futurewater.nl

Figuur 33. Poster vliegwerk Reusel.

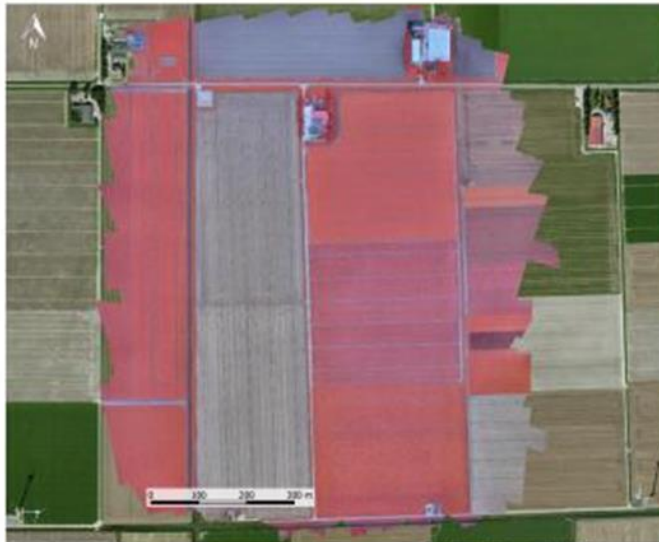


Een duurzamere water en energie economie met behulp van Flying Sensors



Swifterbant, 5 augustus 2015

HiView heeft, in samenwerking met FutureWater, met behulp van Flying Sensors beeldopnamen gemaakt in Swifterbant. Doel hiervan was om te onderzoeken wat de ontwikkeling van Flying Sensor informatievoorziening voor kansen biedt om zoetwater en energie te besparen. De resultaten van dit haalbaarheidsproject kunnen via een ontwikkelingsproject leiden tot een innovatieve dienst waarbij waterbeheerders en agrariërs (twee-)wekelijks gedetailleerde kaarten van hun percelen krijgen waarop te zien is of beregning noodzakelijk is, en zo ja de gewenste hoeveelheid.



Het orthomosaïek: geometrisch gecorrigeerde en samengevoegde nabij-infrarood beelden met georeferentie en een resolutie van 5 cm per pixel. In totaal zijn hiervoor 273 foto's gebruikt.



Vegetatietoestand bepaald door middel van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Groen wijst op gezonde vegetatie, rood op ongezonde of schaarse vegetatie.



De Flying Sensor 'Pelican', die gebruikt werd voor de studie, bevat een nabij-infrarood sensor.

HiView in samenwerking met FutureWater

Costerweg 1V | 6702 AA Wageningen | 0317 460 050 | info@hiview.nl | www.hiview.nl | www.futurewater.nl

Figuur 34. Poster vliegwerk Swifterbant.

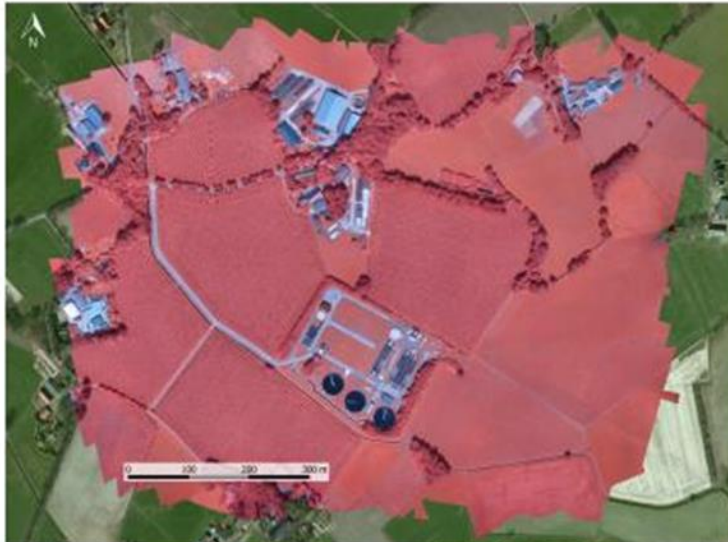


Een duurzamere water en energie economie met behulp van Flying Sensors



Haaksbergen, 5 augustus 2015

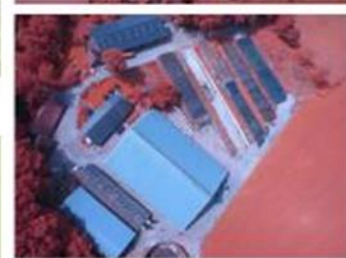
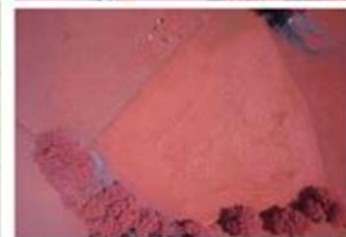
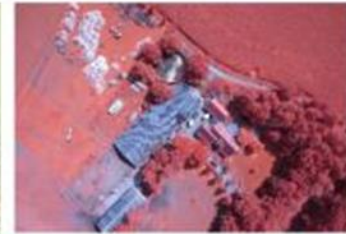
HiView heeft, in samenwerking met FutureWater, met behulp van Flying Sensors beeldopnamen gemaakt in Haaksbergen. Doel hiervan was om te onderzoeken wat de ontwikkeling van Flying Sensor informatievoorziening voor kansen biedt om zoetwater en energie te besparen. De resultaten van dit haalbaarheidsproject kunnen via een ontwikkelingsproject leiden tot een innovatieve dienst waarbij waterbeheerders en agrariërs (twee-)wekelijks gedetailleerde kaarten van hun percelen krijgen waarop te zien is of beregning noodzakelijk is, en zo ja de gewenste hoeveelheid.



Het orthomosaïek: geometrisch gecorrigeerde en samengevoegde nabij-infrarood beelden met georeferentie en een resolutie van 5 cm per pixel. In totaal zijn hiervoor 226 foto's gebruikt.



Vegetatietoestand bepaald door middel van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Groen wijst op gezonde vegetatie, rood op ongezonde of schaarse vegetatie.



De Flying Sensor 'Pelican', die gebruikt werd voor de studie, bevat een nabij-infrarood sensor.

HiView in samenwerking met FutureWater

Costerweg 1V | 6702 AA Wageningen | 0317 460 050 | info@hiview.nl | www.hiview.nl | www.futurewater.nl

Figuur 35. Poster vliegwerk Haaksbergen.

