

## 1 Samenvatting

In deze pilot voor Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier is onderzocht of gemalen in de Wieringermeerpolder gestuurd kunnen worden met een strategie waar kosten geminimaliseerd worden en het pompendement maximaal is. Bij de pilot is eerst een overleg gehouden om de randvoorwaarden voor de modellering helder te krijgen. Daarna is gestart met een simpel RTC-tools model dat in de loop van de tijd steeds verder is uitgebreid. Het uiteindelijke model beschrijft de situatie van de Wieringermeer met 4 afdelingen, buitenwater (Waddenzee en IJsselmeer), twee opvoergemalen en de pompen Leemans en Lely. Hierbij is het SOBEM neerslagafvoermodel gebruikt om voor 2015 de neerslag op te drukken en zijn de pompen als fixed speed-pompen gemodelleerd. Een belangrijke randvoorwaarde is om binnen de bandbreedte te blijven om vervolgens te optimaliseren op prijs en duurzaamheid. Tussentijdse berekeningen hebben tot verdere optimalisatie en verbeteringen in het model geleid.

Uit de vergelijking tussen metingen (waarin gemaal Lely niet actief meedraait) en optimalisatie (waarin alle gemalen vrij gekozen kunnen worden) blijkt dat de kosten in de optimalisatie 29% lager uitvallen. Deze winst volgt voornamelijk uit een reductie in het verbruik (16%) en het sturen op de dynamische energieprijzen APX.

Het rendement van de pompen van Leemans is zichtbaar toegenomen doordat de QH-relatie is meegenomen in de regeling. Deze vergelijking konden we niet maken voor gemaal Lely omdat daar geen zuivere debietmetingen voor zijn.

## 2 Inleiding

In deze pilot wordt onderzocht wat de potentie is om de pompen die de Wieringermeerpolder bemalen te sturen op energie. Hierbij wordt voor de aanwezige gemalen in de polder een optimale regeling bepaald aan de hand van energieprijns, getijde en rendement van de pompen.

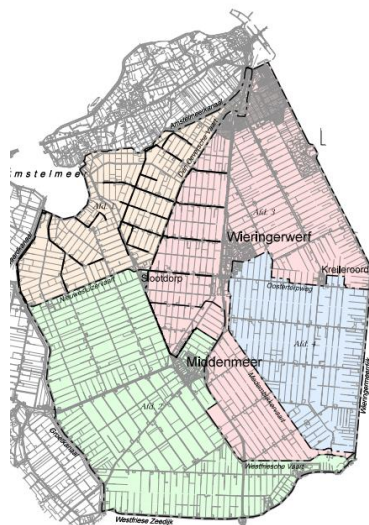
### 2.1 Gebiedsomschrijving

De Wieringermeer is een droogmakerij uit het begin van de vorige eeuw (1930). De polder is 19.810 ha en wordt bemalen door twee gemalen, Lely en Leemans. Gemaal Lely slaat uit op het IJsselmeer en heeft dus een nagenoeg vaste opvoerhoogte. Gemaal Leemans slaat echter uit op de Waddenzee en heeft dus te maken met een variabele opvoerhoogte.

In de bestaande regeling staat gemaal Leemans op voorhand om de polder te bemalen. Lely springt bij wanneer dat nodig is, bijvoorbeeld bij periodes met zeer zware neerslag. Aangezien het IJsselmeer ook gebruikt wordt voor winning van drinkwater, wordt er vanuit de Wieringermeer zoveel mogelijk op de Waddenzee geloosd, waarbij dus gemaal Leemans gebruikt wordt.

De Wieringermeer bestaat uit vier afdelingen, welke zijn getoond in Figuur 1. Naast de gemalen Leemans en Lely zijn er in deze polder twee opvoergemalen. Gemaal Slootvaart zorgt voor het watertransport tussen afdeling 2 en 1. Hoekvaartsluis voor het transport tussen afdeling 4 en 3. Gemaal Lely is in staat afdeling 2, 3 en 4 te bemalen en gemaal Leemans bemaalt afdeling 1 en 2.

In De Wieringermeer komt veel kwel voor, met name in de randgebieden. Het effect van kwel op de waterstanden wordt meegenomen in het neerslagafvoermodel.



Figuur 1: De Wieringermeer en haar afdelingen

## 2.2 Doel

De Wieringermeer is een diepe polder. Het water moet meer dan 5 meter worden opgepompt. De polder maalt uit op de Waddenzee waardoor de opvoerhoogte afhankelijk is van het getijde. Het vermoeden bestaat dat een optimale rendementsregeling gebaseerd op opvoerhoogte en toerental veel energie kan besparen.

In deze studie wordt onderzocht wat de potentie is om meerdere gemalen binnen de Wieringermeer gelijktijdig aan te sturen op basis van energie. Hiervoor wordt een optimalisatiestrategie ontwikkeld op basis van RTC-tools waarmee de vier gemalen kunnen worden aangestuurd. RTC-tools is in het kader van het Slim Malen project verder uitgebreid en doorontwikkeld voor deze toepassing.

In de optimalisatiestrategie wordt allereerst het peilbesluit gehandhaafd. Het doel van deze pilot is het ontwikkelen van een gebiedsregeling die binnen deze grenzen een optimale pompinzet bepaalt op basis van energieprijzen, getijde en rendement van de pompen.

Deze regeling wordt getoetst tegen de bestaande pompregeling van de Wieringermeerpolder. Hiermee wordt de theoretische opbrengst van een sturing op basis van energie onderzocht.

### 3 Methode

In deze studie wordt een pompregeling ontworpen waarbij gemalen zo efficiënt mogelijk worden ingezet. Dit hoofdstuk ligt toe hoe deze regeling ontworpen wordt en welke toetsing op de regeling wordt toegepast.

#### 3.1 Uitgangspunten

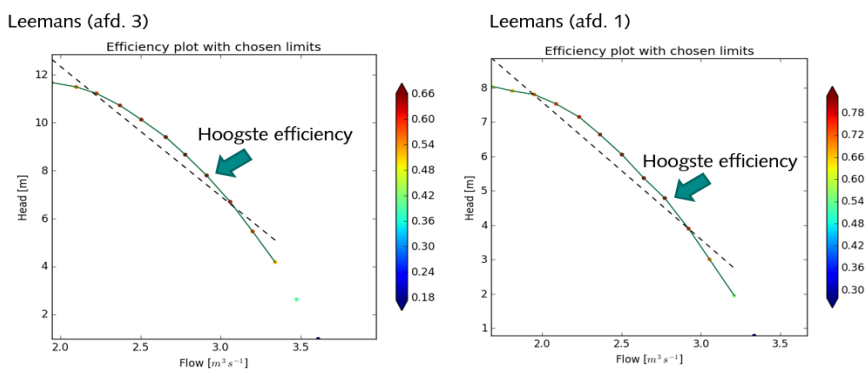
Deze studie beschouwt zowel de gemalen Leemans en Lely als de twee opvoergemalen Hoekvaart en Sloopvaart. Hierin worden de opvoergemalen echter niet geoptimaliseerd, maar maken zij gebruik van hun bestaande aan- en afslagpeil. De inzet van gemalen Lely en Leemans wordt geoptimaliseerd, waarbij beide vrij inzetbaar zijn. De huidige regeling waarbij spuien op de Waddenzee de voorkeur heeft, wordt dus in de optimalisatie losgelaten.

Randvoorwaarde voor de inzet van deze gemalen is voldoen aan het peilbesluit. Deze waarden voor de verschillende afdeling zijn getoond in [Tabel 1](#). Daarnaast toont deze tabel ook enkele andere gegevens van de afdelingen die worden meegenomen in het neerslagafvoermodel.

Tabel 1: Gegevens afdelingen Wieringermeerpolder

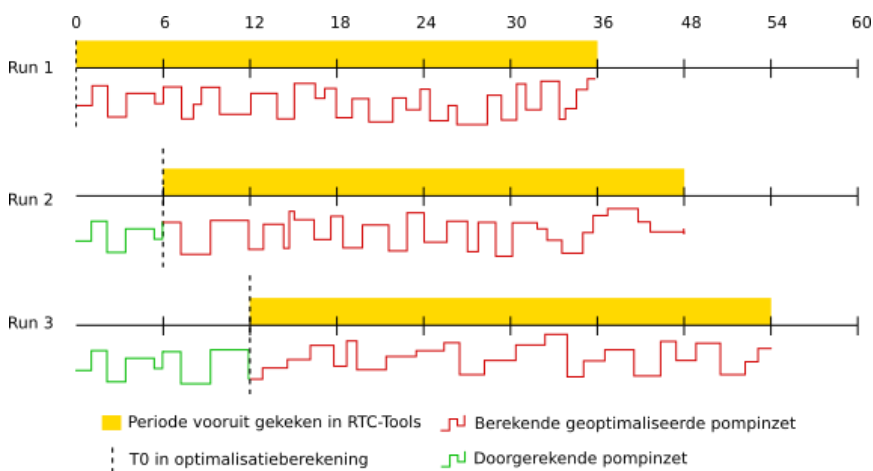
Wieringermeer	Streefpeil	Min/max	Kwel	Opp (ha.)	Nat opp. (ha) bron: GBKN
<b>Afdeling 1</b>	-4.60	-4.70/-4.50	Zomer: 0.1 – 1 mm/dag Winter: 0 – 0.1 mm/dag	3154	54
<b>Afdeling 2</b>	-5.40	-5.50/-5.30	Zomer: 0.1 – 1 mm/dag Winter: 0 – 0.25 mm/dag	6502	149
<b>Afdeling 3</b>	-6.10	-6.20/-6.00	Zomer: 0.25 – 1 mm/dag Winter: 0.1 – 0.25 mm/dag	6908	102
<b>Afdeling 4</b>	-6.60	-6.70/-6.50	Zomer: 0.25 – 1 mm/dag Winter: 0 – 0.5 mm/dag	3279	56

In dit onderzoek wordt gekeken naar wanneer de pompen binnen de gemalen Leemans en Lely optimaal benut worden. Voor deze pilot worden alle pompen gemodelleerd als *fixed speed* pompen, welke dus een vast toerental hebben. Voor deze pompen worden een rendementscurve opgesteld, waarbij per pomp het rendement bepaald wordt op basis van het verpompt volume en de opvoerhoogte. Een voorbeeld hiervan wordt getoond in Figuur 2.



Figuur 2: Rendementscurves van de twee pompen van gemaal Leemans

Voor de modelering van de situatie in de Wieringermeerpolder waarin de gemalen worden ingezet, wordt gebruik gemaakt van historische data van het jaar 2015. Vanwege de databeschikbaarheid is deze periode ingekort naar 2 januari tot 5 december 2015. Inzet van de gemalen wordt gesimuleerd over deze periode. Gedurende deze tijdsspanne wordt steeds om de zes uur een optimale pompinzet bepaald in het RTC-Tools model op basis van data 36 uur vooruit, met een tijdstap van 1 uur. Van deze geoptimaliseerde pompinzet wordt de eerste 6 uur doorgerekend binnen het neerslagafvoermodel, waarna 6 uur later een nieuwe optimalisatie wordt bepaald op basis van de volgende 36 uur. [Figuur 3](#) toont een weergave van de periodeselectie in deze studie.



Figuur 3: Diagram periodeselectie RTC-tools voor drie opeenvolgende modelruns

### 3.2 Modelinput

Voor de bepaling van de afwijking van de neerslag wordt gebruik gemaakt van een SOBEK RR-module. De schematisatie van de Wieringermeerpolder in dit model wordt aangeleverd door het waterschap. De input voor zowel het optimalisatie- als het neerslagafvoermodel is de volgende:

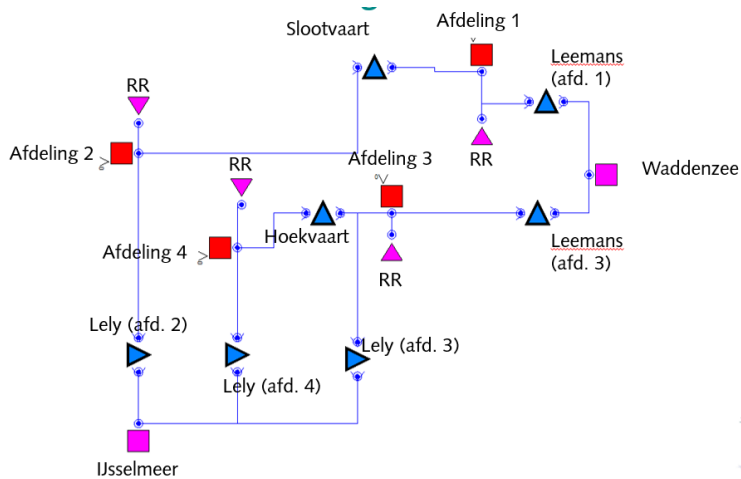
- Neerslag op basis van het Ultimate radarproduct van Nationale Regenradar
- Instroom op basis van kwel in de verschillende afdelingen zoals getoond in [Tabel 1](#)
- Waterstand van de Waddenzee voor bepaling opvoerhoogte gemaal Leemans
- Gerealiseerde energieprijzen op basis van APX voor sturing op energiekosten
- Rendementscurve van de pompen in de twee gemalen, een voorbeeld wordt getoond in [Figuur 2](#).

### 3.3 Model

Om de optimale inzet van gemalen te bepalen wordt gebruik gemaakt van het RTC-Tools model. Dit wordt gecombineerd met het SOBEK neerslagafvoermodel waarin bepaald wordt hoe de neerslag op de Wieringermeerpolder tot afstroom richting de gemalen komt. Voor de aansturing en koppeling van het neerslagafvoermodel in SOBEK en de optimalisatie in RTC-tools wordt gebruik gemaakt van FEWS.

Met deze modelstructuur worden de pompen van Leemans en Lely aangestuurd op basis van de verwachte binnen- en buitenwaterstanden, APX-prijzen en het rendement.

Binnen RTC-Tools worden de vier afdelingen van de polder beschreven als een bergingsknoop waarin de waterstand binnen de grenzen van het peilbesluit gehouden dienen te worden. Gemalen Lely en Leemans wateren af op respectievelijk het IJsselmeer en de Waddenzee. De opvoergemalen kunnen opvoeren van de lager gelegen naar de hogere afdelingen. De schematisatie van het watersysteem binnen RTC-Tools wordt getoond in [Figuur 4](#).



Figuur 45: Schematisatie van de Wieringermeerpolder in RTC-Tools

### 3.4 Optimalisatiestrategie

In deze studie wordt een optimalisatiestrategie vergeleken met de bestaande regeling van de pompen in de Wieringermeerpolder. Binnen de ontwikkelde strategie zijn drie doelfuncties opgesteld, op volgorde van prioriteit zijn deze:

1. Handhaving van het peilbesluitpeil en de vastgelegde marges in de vier afdelingen;
2. Pompen op tijden wanneer energie goedkoop is, op basis van de APX-dagmarkt;
3. Pompen wanneer de rendementscurve (Q-H-kWh) optimaal is.

De gesimuleerde inzet van de pompen op basis van deze strategie over het jaar 2015 wordt vergeleken met de werkelijke inzet van de pompen over dit jaar. Deze worden vergeleken op basis van het verpompt volume, het totaal aantal draaiuren, het verbruik in MWh en de financiële kosten van het pompen op basis van APX prijs. Ten slotte zal ook gekeken worden naar het rendement van gemaal Leemans.

## 4 Resultaten

Een overzicht van de verschillen tussen de gemeten situatie ten opzichte van de waarden verkregen uit de gesimuleerde situatie met optimale pompinzet is te zien in [Tabel 2](#).

Tabel 2: Vergelijking gemeten waarden met waarden uit optimalisatie

	Meting	Optimalisatie
<b>Som draaiuren Leemans, Lely, Slootvaart en Hoekvaart (uur)</b>	28042	7805
<b>Som verbruik Leemans, Lely, Slootvaart en Hoekvaart (MWh)</b>	4166	2990
<b>Som kosten Leemans, Lely, Slootvaart en Hoekvaart (€)</b>	168205	102043
<b>Draaiuren Leemans (uur)</b>	13753	3233
<b>Verpompt volume Leemans (Mm<sup>3</sup>)</b>	140.92	33.95
<b>Verpompt Volume Lely (Mm<sup>3</sup>)</b>	30.64	112.54
<b>Verbruik Leemans (MWh)</b>	3794	853
<b>Verbruik Lely (MWh)</b>	149	2126

### 4.1 Bemaling en inzet gemalen

Wat direct opvalt is de toename van de inzet van gemaal Lely. Door dit gemaal vrij inzetbaar te maken resulteert de optimalisatie in een zeer andere balans in de inzet van Leemans en Lely. In de bestaande regeling werd over het jaar 2015 82% van het totale volume verpompt door Leemans, en dus geloosd op de Waddenzee. In de geoptimaliseerde regeling is dit slechts 23%.

Door deze veranderde verhouding in pompinzet wordt het totaal aantal draaiuren in de Wieringermeer flink gereduceerd. Dit komt door de grotere capaciteit van gemaal Lely waardoor er meer water in een kleinere tijdseenheid verpompt kan worden.

Naast het verschil in de inzet van de beide gemalen, valt het ook op dat het totale bemalen volume door Lely en Leemans in de optimalisatieregeling 15% lager uitvalt. Dit komt voornamelijk door verschillen in de input en het neerslagafvoermodel voor de optimalisatie ten opzichte van de daadwerkelijke instroom die in 2015 in de Wieringermeer plaatsvond. Om toch een eerlijke vergelijking tussen de meting en de optimalisatie uit te kunnen voeren, worden de sommaties geschaald naar bemaald volume, zoals te zien in [Tabel 3](#).

Tabel 3: Verschillen meting en optimalisatie geschaald naar verpompt volume

	Meting	Optimalisatie	Afname
<b>Som draaiuren Leemans, Lely, Slootvaart en Hoekvaart (uur/Mm<sup>3</sup>)</b>	163.45	53.28	67%
<b>Som verbruik Leemans, Lely, Slootvaart en Hoekvaart (MWh/Mm<sup>3</sup>)</b>	24.28	20.41	16%
<b>Som kosten Leemans, Lely, Slootvaart en Hoekvaart (€/Mm<sup>3</sup>)</b>	980.43	696.60	29%

### 4.2 Verbruik en kosten

Zowel het aantal draaiuren, het verbruik en de kosten vertonen een afname in de optimalisatie, ook als geschaald wordt naar het verpompte volume. Het aantal draaiuren vertoont verreweg de sterkste afname maar dit is voor een groot deel toe te delen aan het eerder genoemde verschil in capaciteit tussen gemalen Leemans en Lely.

In de optimalisatie vertonen de kosten een sterkere afname ten opzichte van de meting dan het verbruik. Dit komt overeen met de volgorde van de doelfuncties in de strategie. Er wordt primair op de APX gestuurd en pas daarna wordt gekeken naar de opvoerhoogte en het werkpunt. Een belangrijke kanttekening hierbij is wel dat in de optimalisatie alleen het verbruik van de daadwerkelijke pompen is opgenomen, terwijl in de meting het verbruik van het hele gemaal is gemeten. Het is onduidelijk hoe groot het aandeel in verbruik is van de randapparatuur binnen een gemaal.

### 4.3 Rendement gemaal Leemans

Het gemaal Leemans heeft door de optimalisatie een stuk minder gepompt en verpompt. Het aantal draaiuren is flink afgenomen, wat voornamelijk wordt veroorzaakt door de inzet van gemaal Lely voor de bemaling van afdeling 3. Daarnaast zorgt de regeling dat er minimaal gepompt wordt binnen de marges van het peilbesluit, wat ook tot een flinke reductie van het aantal pompuren leidt.

Het rendement van de pomp is de verhouding van het afgegeven vermogen ten opzichte van het opgenomen vermogen. Het rendement van de pompen is berekend met de volgende formule:

$$\eta = \frac{Q * H}{367 * P (kW)}$$

De QH-relatie is meegenomen in de optimalisatieregeling als laatste doelfunctie. De effecten van de optimalisatie op het rendement van de vier pompen van gemaal Leemans zijn te zien in [Tabel 4](#)~~Tabel 4~~. Voor Lely missen er debietmetingen waardoor een rendementsvergelijking niet te maken is.

Tabel 4: Verschil in rendement van gemaal Leemans tussen meting en optimalisatie

	Meting	Optimalisatie	Toename
<b>Rendement pomp 1</b>	0.41	0.47	15%
<b>Rendement pomp 2</b>	0.42	0.47	14%
<b>Rendement pomp 3</b>	0.47	0.62	31%
<b>Rendement pomp 4</b>	0.44	0.62	41%

Uit deze tabel is op te maken dat ook de laatste doelfunctie nog actief wordt meegenomen in de optimalisatie, aangezien voor alle pompen van gemaal Leemans een hoger rendement wordt behaald over 2015.



## 5 Leerpunten uit de workshop

5 Bij HHNK heeft er nog geen workshop plaatsgevonden en draait RTC tools nog niet operationeel. Bij HHNK lopen er nog parallelle projecten die aan het Slim Malen project raken, waardoor delen overkoepelend worden opgepakt. Er is overleg met HHNK geweest over hoe de workshop het beste ingericht kan worden en hoe RTC tools operationeel ingezet kan worden. Binnen de parallelle projecten zal dit verder aan de orde komen.

Formatted: Normal

Formatted: Dutch (Netherlands)

## 6 Conclusies en aanbevelingen

In de optimalisatie nemen het totaal aantal draaiuren, het cumulatief verbruik en de cumulatieve kosten allemaal af ten opzichte van de meting. Daarnaast neemt ook het rendement van gemaal Leemans toe in de geoptimaliseerde situatie. Dit wijst erop dat een optimalisatie van de gemalen in de Wieringermeerpolder kan zorgen voor een besparing in zowel kosten als CO<sub>2</sub> uitstoot.

Een belangrijk verschil tussen de situatie zoals in de meting en de optimalisatie is echter dat in de optimalisatie zowel Lely als Leemans vrij inzetbaar zijn. In werkelijkheid schakelt Lely alleen bij in pieksituaties. Aangezien Lely loost op het IJsselmeer wat wordt gebruikt voor de winning van drinkwater is het merendeel lozen via Lely niet wenselijk. In de optimalisatie wordt echter 77% van het totaal bemalen volume via Lely afgevoerd.

Een aanbeveling is dus om een afweging te maken tussen de realiseerbare winst wanneer beide gemalen vrij inzetbaar zijn en de effecten van lozen via Lely op de drinkwaterwinning vanuit het IJsselmeer.

In de huidige optimalisatie wordt gebruik gemaakt van gerealiseerde historische waarden als modelinput, bijvoorbeeld historische APX prijs en het Ultimate gekalibreerde product van de Nationale Regenradar. Voor operationele inzet van de sturing zullen deze historische waarden vervangen moeten worden door voorspellingen, welke een extra gradatie van onzekerheid toe zullen voegen aan het model.

Een aanbeveling is om een onderzoek te doen waarbij voorspelde waarden gebruikt worden als input om de gemalen aan te sturen, aangezien hiermee een beter beeld gevormd kan worden over de daadwerkelijke winst die er behaald kan worden met een operationele sturing.