

1 Samenvatting

De Pilot voor Zuiderzeeland vergelijkt sturing op basis van drie verschillende doelfuncties. Hiervoor is de Noordoostpolder gemodelleerd. Er zijn meerdere overleggen geweest om gegevens op te vragen en afspraken te maken over modelkeuzes. Voor de Noordoostpolder is alleen het gemaal Buma dat verbonden is met het IJsselmeer gemodelleerd. De neerslag is meegenomen door het opstellen en koppelen van een neerslagafvoermodel voor 8 (deel)gebieden.

In de pilot voor Zuiderzeeland worden drie strategieën vergeleken met elk een eigen sturingsmechanisme, te weten:

- Minimalisatie kosten
- Minimalisatie energieverbruik
- Lokaal beschikbare duurzame energie

Voor de laatste strategie is gewerkt met de aanname dat de duurzame energie wordt opgewekt door een lokaal geplaatste windturbine. Winddata van het KNMI wordt gebruikt om de hoeveelheid opgewekte energie te bepalen.

In alle strategieën blijft de waterhoogte binnen de gestelde bandbreedte. De verschillen in energieverbruik zijn klein. Het grootste verschil tussen de scenario's is 150 MWh op een totaal van orde 4000 MWh. De kosten zijn wel ongeveer 50% minder bij sturing op duurzame energie. Dit heeft te maken met de aanname dat de windmolen de elektriciteit gratis levert.

2 Inleiding

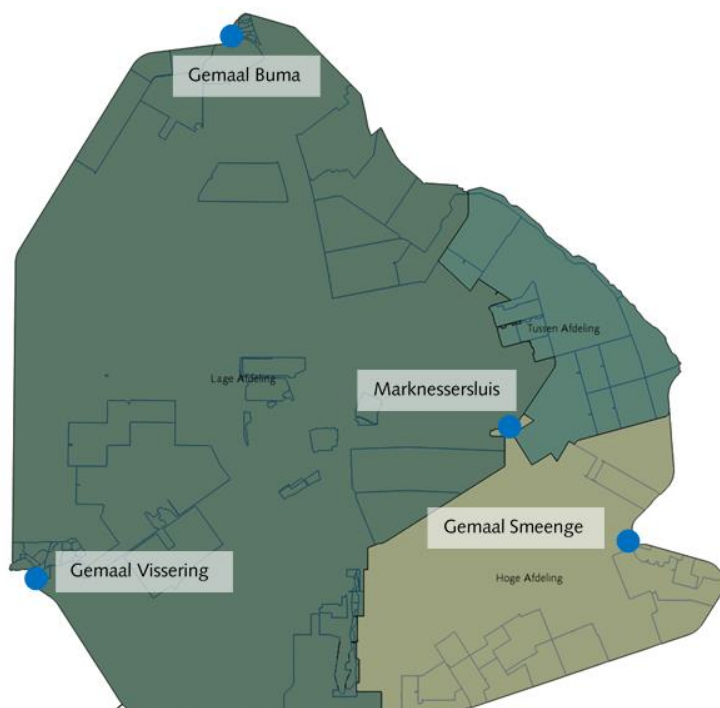
Waterschap Zuiderzeeland heeft de ambitie het waterbeheer te verduurzamen. Een groot deel van het energieverbruik van het Waterschap wordt gebruikt voor het droogmalen van de polders. Het Waterschap wil inzetten op maximale besparing, maximaal zelf opwekken en dat deel wat dan nog ingekocht moet worden volledig verduurzamen.

Voorafgaand aan deze pilot is een aantal haalbaarheidsstudies uitgevoerd waarin onder andere het rendement van sturen op energieprijzen theoretisch is bepaald. Hierin kon echter niet direct bepaald worden in hoeverre het theoretisch rendement ook in de praktijk te realiseren is. Deze pilot binnen het JIP project richt zich daarom op het toetsen van de praktische haalbaarheid van een sturing op energie.

2.1 Gebiedsbeschrijving

Binnen deze pilot is de Noordoostpolder gemodelleerd. Deze polder is op te delen in drie afdelingen; een lage afdeling (35020 ha) een tussenafdeling (3676 ha) en een hoge afdeling (9342 ha). De Lage Afdeling laat water af via gemaal Buma en gemaal Vissering (zie figuur 1). In de huidige situatie wordt in de avonduren water vanuit de Hoge Afdeling via de Marknessersluis richting de Lage Afdeling afgelaten. Hiermee wordt voorkomen dat brak water via gemaal Smeenge de waterkwaliteit van het Vollenhoverkanaal/ Kadoelermeer nadelig beïnvloedt. Gemaal Smeenge wordt enkel ingezet als het aflaten van water naar de Lage Afdeling niet voldoet en het waterpeil in de Hoge Afdeling te hoog oploopt.

Gemaal Buma en gemaal Vissering lozen beide op het IJsselmeer. Gemaal Vissering heeft gasmotoren terwijl de pompen van gemaal Buma werken op elektriciteit. In deze studie wordt alleen de inzet van gemaal Buma geoptimaliseerd, aangezien gemaal Vissering niet kan inspelen op energieprijzen of aanwezigheid van duurzame energiebronnen. Gemaal Smeenge wordt ook niet meegenomen aangezien deze slechts in uitzonderingsgevallen wordt ingezet.



Figuur 1: Afdelingen en kunstwerken binnen de Noordoostpolder

2.2 Doel

In de haalbaarheidsstudies is het rendement van sturen op energie binnen Zuiderzeeland theoretisch bepaald. Doel van deze pilotstudie is nu het toetsen van de praktische haalbaarheid van verschillende optimalisatiestrategieën voor het gemaal Buma binnen Zuiderzeeland. Er wordt niet daadwerkelijk gestuurd, maar de haalbaarheid en theoretische opbrengsten van verschillende optimalisaties worden bepaald voor de Noordoostpolder met historische operationele data als input. Hierin worden drie verschillende strategieën tegen elkaar getoetst. De strategieën die getoetst worden sturen, apart van elkaar, op basis van een optimalisatie van:

1. Kosten (op basis van APX)
2. Energieverbruik
3. Aanwezigheid van duurzame energie

Het resultaat van de pilot is dat het waterschap inzicht heeft in de mogelijkheid die het watersysteem biedt ten aanzien van maximaal efficiënt bemalen. Daarnaast dat duidelijker is wat de meerwaarde en impact is van het gebruiken van optimalisaties met het binnen JIP ontwikkelde RTC-tools gericht op de duurzame strategieën. Dit wordt zowel onderling als met de huidige wijze van aansturing vergeleken.

3 Methode

In deze studie worden drie verschillende sturingsmechanismes voor gemaal Buma onderzocht. Dit hoofdstuk beschrijft de uitgangspunten en modellering van de Noordoostpolder.

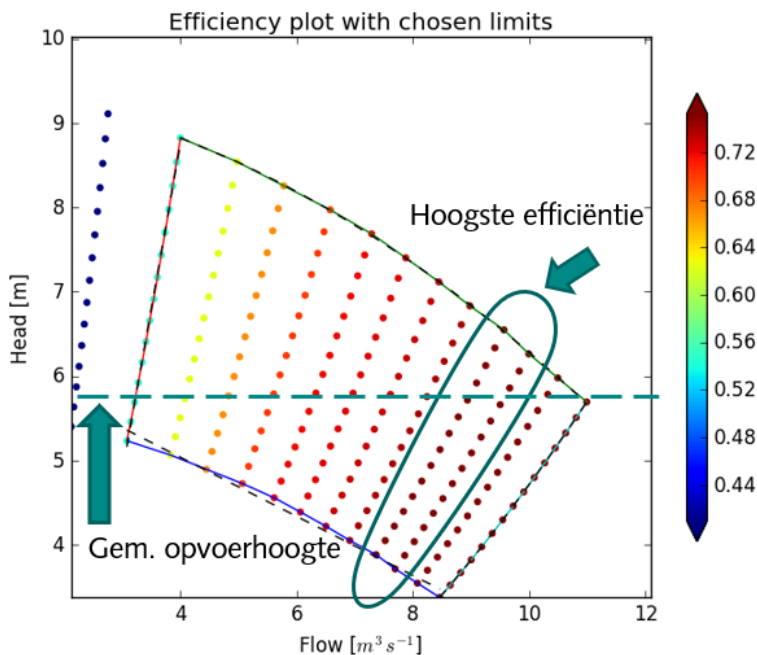
3.1 Uitgangspunten

In deze studie wordt enkel gemaal Buma meegenomen. Om gemaal Vissering correct uit de optimalisatie weg te laten, wordt in RTC-Tools alleen het natte oppervlak van het peilvlak dat direct aansluit op gemaal Buma beschouwd als ruimte voor waterberging. Dit gebied heeft een totaal oppervlak van 432.6 ha.

Randvoorwaarde binnen alle optimalisaties is dat het peilbesluit gehandhaafd wordt. Het waterpeil moet hierin binnen de grenzen van -5.50 tot -5.90 m NAP gehouden worden. Verdere uitgangspunten zijn:

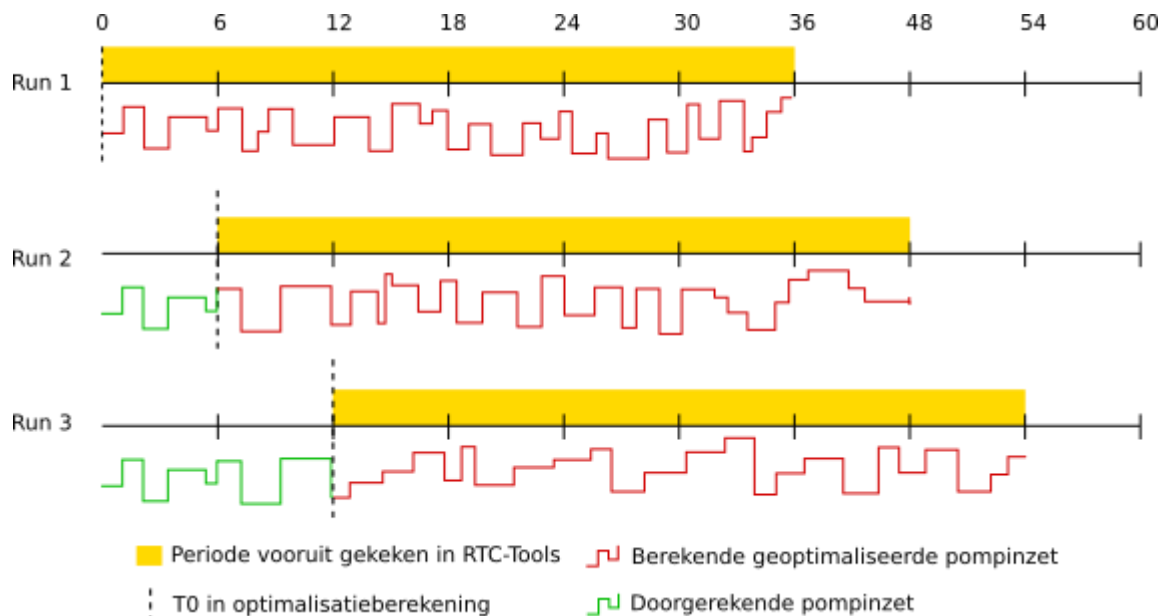
- Gemaal Buma wordt gemodelleerd door drie pompen met elk een debiet van maximaal 600 m³/minuut, afhankelijk van toerental en opvoerhoogte
- Het gehele waterbezwaar in de Noordoostpolder wordt uitgemalen door gemaal Buma
- Per schakeling wordt minimaal een uur bemalen
- Trapsgewijs in- en uitschakelen van pompen wordt niet meegenomen
- Als niet wordt gestuurd op basis van APX worden kosten bepaald met het dag/nachtstarief per MWh in 2015: € 52,91/ € 36,20

Aangezien getracht wordt om gemaal Buma zo efficiënt mogelijk in te zetten, is de rendementscurve van de pompen in het model opgenomen. De pompen kennen een variabel toerental en afhankelijk van het toerental en de opvoerhoogte wordt een bepaald debiet verpompt en dus een bepaald rendement gerealiseerd. De rendementscurve van een van de drie pompen binnen het gemaal wordt getoond in Figuur 2.



Figuur 2: Rendementscurve van gemaal Buma

De optimalisatiestrategieën worden apart van elkaar ingezet binnen een simulatie over het jaar 2015, in de periode van 1 januari tot 6 oktober. Deze periode is bepaald op basis van de beschikbaarheid van historische data voor dit jaar. Gedurende deze tijdspanne wordt steeds om de zes uur een optimale pompinzet bepaald door RTC-Tools 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 afwikkeling van de neerslag wordt gebruik gemaakt van een SOBEK RR-module. De schematisatie van de Noordoostpolder in dit model is aangeleverd door het waterschap. Om de neerslag te bepalen die op dit model valt wordt gebruik gemaakt van de Ultimate radarbeelden van de Nationale Regenradar. In totaal viel er in 2015 ongeveer 980 mm aan neerslag in de Noordoostpolder. Naast neerslag komt er jaarlijks ook 300 mm aan kwel en 200 mm aan ingelaten water de Noordoostpolder binnen, deze zijn ook meegenomen in de modellering. Verdamping wordt variabel in de tijd meegenomen op basis van een verdampingsreeks van het KNMI.

- Maart: 1.0 mm/dag
- April: 1.5 mm/dag
- Mei: 2.0 mm/dag
- Juni: 2.5 mm/dag
- Juli: 3.0 mm/dag
- Augustus: 2.5 mm/dag
- September: 2.0 mm/dag

Deze verdamping wordt opgedrukt in SOBEK en meegenomen in de voorspelling van de dagelijkse hoeveelheid neerslag-afvoer.

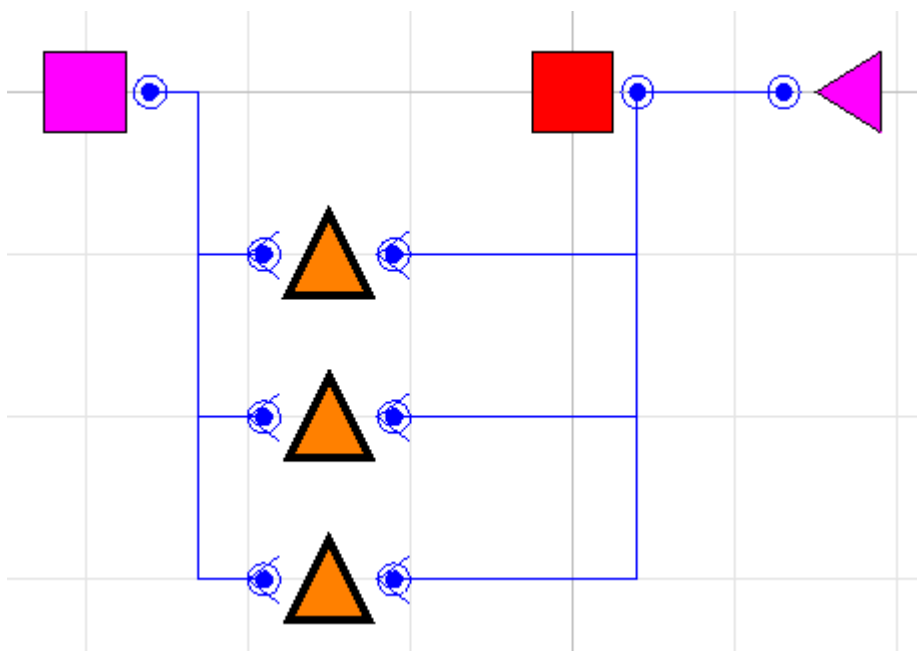
In de strategie waarbij gestuurd wordt op basis van de energiekosten geldt ook de gerealiseerde energieprijns op basis van de APX als modelinput. In de strategie waarbij geoptimaliseerd wordt op duurzame energie wordt ook de in 2015 gemeten windsnelheid door KNMI gebruikt voor de bepaling van de energieopbrengst van de windmolen.

3.3 Modelbeschrijving

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 Noordoostpolder tot afstroom komt richting gemaal Buma. Voor de aansturing en koppeling van het neerslagafvoermodel in SOBEK en de optimalisatie in RTC-tools wordt gebruik gemaakt van FEWS.

De schematisatie van de Noordoostpolder binnen RTC Tools wordt getoond in Figuur 4, met hierin de volgende elementen:

- Roze Driehoek: instroom die bepaald wordt door het neerslagafvoermodel
- Rood vierkant: bergingsknoop voor de wateropslag in de polder
- Oranje driehoeken: de drie pompen van gemaal Buma
- Roze vierkant: waterpeil van het IJsselmeer



Figuur 4: Schematisatie van de situatie in de Noordoostpolder binnen RTC Tools

3.4 Optimalisatiestrategieën

In deze studie worden zoals genoemd optimalisaties op basis van drie verschillende doelfuncties onderzocht. Om de verschillende optimalisatiestrategieën te vergelijken wordt gekeken naar het waterstandsverloop, het cumulatief energieverbruik en de cumulatieve kosten over het jaar 2015. Daarnaast wordt ook gekeken naar of de verschillende pompen binnen Buma vaak tegelijk op juist apart worden ingezet en naar het aantal pompinschakelingen. De onderzochte optimalisatiestrategieën worden kort beschreven.

3.4.1 Strategie 1 - Optimalisatie op kosten

Bij deze strategie wordt in de optimalisatie gekeken naar een doelfunctie waarbij de benodigde pompenergie wordt vermenigvuldigd met de variabele energieprijis op basis van de APX. Dit beschrijft dus de kosten van het draaien van het gemaal. Deze doelfunctie wordt in de optimalisatie geminimaliseerd, wat in de praktijk betekent dat er bemaald wordt op het moment dat de energieprijis laag is.

3.4.2 Strategie 2 - Sturing op verbruik

In deze strategie wordt enkel de benodigde energie om het gemaal te draaien als doelfunctie gekozen. De benodigde energie wordt bepaald aan de hand van de rendementscurve zoals getoond in Figuur 2. Door energie als doelfunctie te minimaliseren wordt het gemaal puur geoptimaliseerd op verbruik. In de praktijk zorgt dit ervoor dat er bemaald wordt als de opvoerhoogte laag is.

Hoewel de energieprijis dus niet wordt gebruikt in de gemaalsturing, wordt in de analyse van de resultaten wel gebruik gemaakt van de APX energieprijis om de kosten van deze strategie te vergelijken met de andere strategieën

3.4.3 Strategie 3 – Sturing op duurzame energie

Bij deze strategie wordt uitgegaan van een windmolen ter plekke van het gemaal. De windsnelheid wordt omgezet naar een energieopbrengst. Hierbij gaan we uit van een moderne windturbine met een vermogen van 3 MW voor het opwekken van de energie, waarbij de hoeveelheid opgewekte energie afhangt van de windsnelheid. Er is een minimale windsnelheid van 3 m/s (windkracht 2) nodig om energie op te kunnen wekken, vanaf deze snelheid tot 12 m/s (windkracht 6) neemt de hoeveelheid opgewekte energie lineair toe met de windsnelheid. Vanaf 12 m/s is de opbrengst maximaal. Vanaf 25 m/s (windkracht 10) wordt de windturbine stilgezet om schade te voorkomen (bron: RVO).

De doelfunctie van strategie 3 is hetzelfde als bij strategie 1, alleen wordt hier in de vermenigvuldiging een aangepaste reeks als energieprijis gebruikt. De fractie van het energieverbruik van het gemaal die geleverd kan worden door de windmolen (tussen 0 en 1) wordt gebruikt om een aangepaste reeks, gebaseerd op de energieprijis, te bepalen die meedoet in de optimalisatie. Als de windmolen bijvoorbeeld op een moment 70% van de maximale energiebehoefte van het gemaal levert, dan wordt de oorspronkelijke APX prijs op dat moment met een factor 0.3 vermenigvuldigd. Door dit voor de hele periode te doen, ontstaat er een nieuwe aangepaste reeks waarbij een lage waarde aantrekkelijk wordt pompen in te zetten. Minimalisatie van de doelfunctie zal dus resulteren in een focus op pompen wanneer het hard waait.

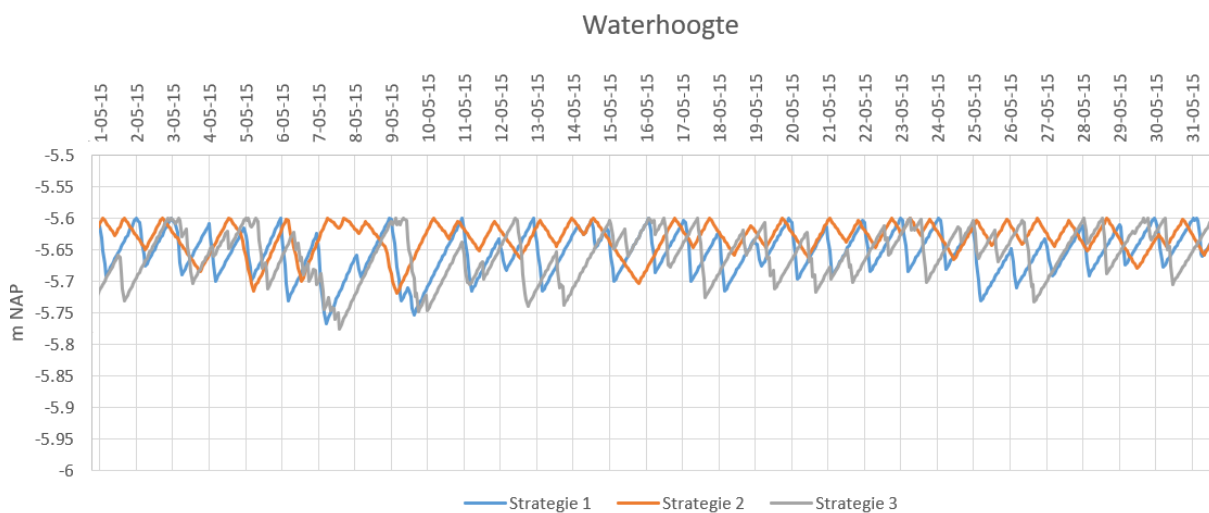
4 Resultaten

De drie verschillende optimalisatiestrategieën zijn apart van elkaar getest over de periode van 1 januari tot 6 oktober. Deze scenario's worden onderling vergeleken en waar mogelijk ook met de gemeten waarden over deze periode.

4.1 Waterstandsverloop

In Figuur 5 wordt het waterstandsverloop over een typische maand getoond. Het valt op dat in alle drie de scenario's de waterstand steeds tegen de bovengrens van het peilbesluit van -5.6 m NAP aanzit. Een enkele keer wordt deze grens overschreden door hevige neerslag. In elk van de drie scenario's komt dit drie keer voor over de gekozen periode.

In scenario drie wordt de waterstand over het algemeen sterker verlaagd dan in de overige scenario's. Dit valt vaak samen met periodes van veel wind. Om betaalde, niet-duurzame energie te besparen wordt dus sterker bemalen tijdens deze periodes.

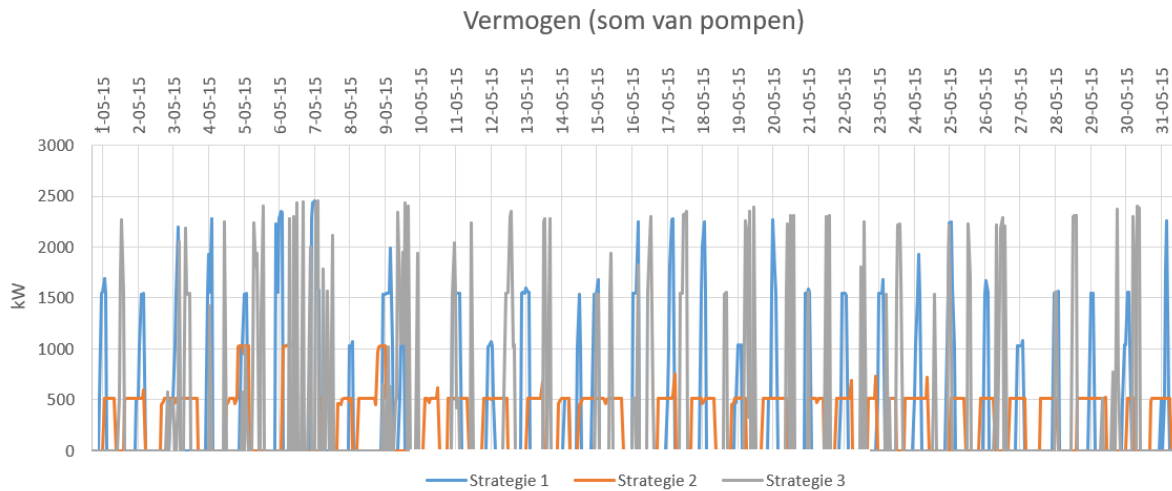


Figuur 5: Verloop van waterstand over de maand mei

4.2 Inzet pompen

In Figuur 6 wordt het geleverde vermogen door de drie pompen gesommeerd getoond. Hieruit kan de inzet van de verschillende pompen van gemaal Buma afgeleid worden. Het valt op dat scenario 2 een vrij constant energieverbruik vertoont. Vaak staat 1 van de 3 pompen te malen. Soms schakelt er een pomp bij of soms staan ze helemaal uit. Dit heeft te maken met de opstartkosten van de pomp.

De andere scenario's vertonen meer pieken in het verbruik. Deze pieken komen overeen met periodes van een lage energieprijis (scenario 1) of van veel wind (scenario 3). In deze periodes worden de pompen vaak maximaal ingezet om geld te besparen, maar dit leidt wel tot meer schakelingen in het pompgebruik.



Figuur 6: Inzet van pompen in de verschillende scenario's over de maand mei

4.3 Verbruik en kosten

In Tabel 1 worden het verbruik en de kosten van de verschillende scenario's uitgezet tegen elkaar en de meting.

Tabel 1: Vergelijking optimalisaties en gemeten waarden

| | Meting | Strategie 1 | Strategie 2 | Strategie 3 |
|---|--------|-------------|-------------|-------------|
| Verpompt volume (Mm³) | 44.8 | 51.9 | 51.9 | 51.9 |
| Verbruik (MWh) | 4315 | 3891 | 3800 | 3944 |
| Kosten (€) | 159678 | 133564 | 155858 | 77861 |
| Schakelingen (-) | 606 | 913 | 225 | 1336 |

Wat allereerst opvalt is dat het verpompte volume tussen de meting en de scenario's ongelijk is. Het grootste deel van dit verschil valt toe te dichten aan het uitgangspunt in deze studie dat gemaal Buma het hele waterbezwaar van de Noordoostpolder verpompt. In werkelijkheid verpompt gemaal Vissering ook een aandeel van het waterbezwaar. Daarnaast is het verpompt volume over de periode bepaald aan de hand van een Qh-relatie waar ook onzekerheid over bestaat. Om toch een eerlijke vergelijking te maken worden de waarden geschaald naar het verpompt volume getoond in Tabel 2.

Tabel 2: Vergelijking optimalisaties en gemeten waarden geschaald naar verpompt volume

| | Meting | Strategie 1 | Strategie 2 | Strategie 3 |
|--|--------|-------------|-------------|-------------|
| Verbruik (MWh/Mm³) | 96.32 | 74.93 | 73.18 | 75.95 |
| Kosten (€/Mm³) | 3564 | 2572 | 3002 | 1499 |
| Schakelingen (per Mm³) | 13.53 | 17.58 | 4.33 | 25.73 |

Het naar volume geschaalde verbruik valt in de optimalisaties significant lager uit dan in de meting, maar is tussen de verschillende strategieën opvallend gelijk. Het verschil tussen meting en optimalisatie wordt deels verklaard door energieverbruik van randapparatuur binnen het gemaal, wat in de optimalisatie niet is opgenomen.

De specifieke optimalisatie op verbruik in scenario 2 is iets energiezuiniger maar wijkt hierin niet sterk af van de andere twee optimalisaties. Wel zijn er aanzienlijk minder schakelingen van pompen in deze strategie, terwijl de andere strategieën juist vaker pompen in- en uitschakelen dan in de gemeten situatie.

Qua kosten valt de optimalisatie op duurzame energie verreweg het goedkoopste uit, maar een belangrijke kanttekening hierbij is dat ervan uitgegaan wordt dat een deel van de energie gratis wordt geleverd door de windmolen. Hierin is er ongeveer 50% prijsreductie door gebruik van windenergie, terwijl het aandeel windenergie over de volledige periode 25% is. Er is duidelijk meer gemalen wanneer het hard waait.

Ook de andere strategieën hebben beduidend lagere kosten per Mm^3 dan de gemeten situatie. Zoals verwacht valt de optimalisatie op kosten hierin lager uit dan de optimalisatie op verbruik.

5 Leerpunten uit de workshop

Op 8 januari 2019 is een workshop gehouden bij waterschap Zuiderzeeland om de resultaten van de JIP Pilot te presenteren en te bediscussiëren. In deze discussie lag vooral de focus op wat er nog nodig is om gemaal Buma daadwerkelijk aan te gaan sturen met een MPC regeling.



Figuur 7: Workshop bij waterschap Zuiderzeeland

In het gehele JIP is de rol van de energiesector vrij beperkt geweest. Zowel energieleveranciers als energietransporteurs hebben wel aan tafel gezeten gedurende het traject, maar uiteindelijk zijn zij niet betrokken geweest bij het resultaat. In veel gevallen is de bestaande elektra infrastructuur niet toereikend om een gemaal flexibel aan te sturen, of zorgen bestaande energiecontracten dat hier geen winst mee te behalen is. Wet- en regelgeving omtrent netbeheer is ook een bemoeilijkende factor in flexibele sturing. Voor sturing in de praktijk zal de energiesector daarom een actieve rol in het proces moeten hebben. In het algemeen is het wenselijk dat er meer draagvlak wordt gecreëerd voor dit onderwerp. Bestuur van zowel netbeheerders als waterschappen is vaak terughoudend en/of het onderwerp is niet goed belegd binnen de organisatie.

Er is discussie wat het hoofddoel van sturing moet zijn, CO₂-reductie of kostenoptimalisatie. In de toekomst, als er daadwerkelijk gestuurd gaat worden, moet hier een afweging in gemaakt worden. Verdere uitwerking van het klimaatakkoord zal naar verwachting voor expliciete energiedoelen voor waterschappen zorgen, waardoor deze doelen sterker met elkaar zullen gaan samenhangen. Daarnaast biedt RTC-Tools de mogelijkheid om verschillende doelen naast elkaar mee te nemen in de sturing.

Op het moment dat er op kosten gestuurd wordt bestaan er meerdere signalen waarop gestuurd kan worden. In deze studie is gebruik gemaakt van de APX welke momenteel vrij hoog staat. De ENDEX kan een andere bron zijn welke momenteel vaak goedkoper is. De APX is wel de markt die het meest variabel is op basis van vraag en aanbod van energie. Op het moment dat het aandeel duurzame energie hoger wordt, zal de APX naar verwachting dynamischer en goedkoper worden, terwijl de prognose is dat de ENDEX naar verloop van tijd in prijs zal stijgen. Daarnaast lopen de gesprekken om administratief de energie van eigen windmolens of zonnepanelen te kunnen inzetten.

In de optimalisaties zit het waterpeil vaak bovenin de marge van het peilbesluit, wat te verklaren is door het feit dat gemalen dan een lagere opvoerhoogte hebben waardoor er minder energie nodig is om water af te kunnen voeren. Op zichzelf is richting de bovengrens van het peilbesluit zitten geen probleem, maar dit kan wel andere risico's veroorzaken. Zo zullen sloten minder goed afvoeren en zou de grondwaterstand hierdoor beïnvloed kunnen worden. De onnauwkeurigheid van de weermodellen kan deze risico's vergroten, de voorspelhorizon is hierin ook een belangrijke factor. RTC-Tools biedt de mogelijkheid om parameters die deze risico's beschrijven op te nemen in de doelfunctie. Hierdoor kunnen deze risico's afgevangen worden.

Samengevat waren de belangrijkste discussiepunten:

- Rol van de energiesector in flexibele gemaalaansturing
- Creëren van draagvlak binnen verschillende organisaties
- Aansturing op basis van kosten of CO₂-reductie
- Verschillende signalen voor aansturing
- Risico's in het watersysteem die ontstaan bij een aansturing

De consensus is dat we klaar zijn om klimaatbeleid te voeren aan de hand van gemaalaansturing. De verschillende belangen moeten daarin wel passend tegen elkaar worden afgewogen. Daarnaast is er nog een hoop verbetering mogelijk in het energiesysteem en de telemetrie, om deze beter klaar te maken voor flexibele sturing.

6 Conclusies en aanbevelingen

In de pilot Slim Malen voor Zuiderzeeland zijn drie verschillende strategieën bekeken. Zowel het cumulatieve energieverbruik als de cumulatieve kosten vallen in alle drie de optimalisatiestrategieën lager uit dan in de gemeten situatie over dezelfde periode. Zeker wanneer gecorrigeerd wordt voor het volumeverschil in metingen en optimalisatie zijn de verschillen significant. Dit wijst er op dat een MPC sturing van gemaal Buma kan leiden tot een reductie in energieverbruik en kosten.

Wel dienen hier een aantal kanttekeningen bij geplaatst te worden:

- De optimalisatie neemt energieverbruik van randapparatuur binnen het gemaal niet mee in het totale verbruik, terwijl deze in de meting wel is opgenomen.
- De optimalisatie maakt gebruik van gerealiseerde waarden. Bij een operationele sturing zou gebruik gemaakt moeten worden van voorspellingen wat zorgt voor een extra gradatie aan onzekerheid in de sturing.

Een aanbeveling voordat op operationele aansturing overgegaan wordt is om een onderzoek uit te voeren waarin voorspellingen gebruikt worden voor de optimalisatie en eventueel randapparatuur ook wordt meegenomen. Hiermee kan een realistischer beeld gevormd worden van de potentie van MPC sturing van gemaal Buma.

In de optimalisatie wordt de berging steeds gevuld tot aan de bovengrens gesteld door het peilbesluit. Afhankelijk van de optimalisatiestrategie wordt soms extra bergingsruimte gecreëerd als de energieprijzen laag is of er harde wind staat.

In een vergelijking tussen de optimalisatiestrategieën is er niet één strategie die duidelijk naar voren komt als optimaal, noch een strategie die duidelijk minder presteert. De vergeleken strategieën optimaliseren op basis van een verschillende parameter en presteren daarom ook optimaal op dat aspect. Dit bemoeilijkt een onderlinge vergelijking tussen de strategieën. Aanbeveling hierin is om een optimalisatiestrategie te kiezen op basis van beleidsdoelstellingen van het waterschap.

Als onderdeel van Slim Malen is het RTC-tools product door Deltares uitgebreid met onder andere optimalisatie door opvoerhoogte. In de pilot is duidelijk aangetoond dat deze uitbreiding werkt en geschikt is om toe te passen in de praktijk.