

Slim malen is duurzaam malen

Thomas Berends (Nelen & Schuurmans), Tys Leenders (HVC), René van der Zwan en Jan Willem van Kempen (Hoogheemraadschap van Rijnland)

De afgelopen jaren zijn veel onderzoeken uitgevoerd naar het besparen van energie of kosten in de aansturing van oppervlaktewatergemalen. In dit onderzoek is voor het eerst gestuurd op basis van het aanbod duurzame energieproductie met als doel de CO₂-emissie te reduceren. Hiervoor is per energiebron een relatie gelegd tussen de productie van elektriciteit en de CO₂-intensiteit. Deze relatie is gebruikt in het afleiden van een verwachting in het aanbod duurzame energie. Gedurende twee maanden zijn vijf gemalen in het watersysteem aangestuurd op het aanbod van duurzame elektriciteitsproductie. In deze pilot is reductie in CO₂-emissie gerealiseerd van 2.1%.

De laatste jaren is als onderdeel van de energietransitie een toename te zien van klein- en grootschalige productie van wind- en zonne-energie. De toename van duurzaam geproduceerde energie brengt ook uitdagingen met zich mee:

- Het aanbod overstijgt de vraag: In het voorjaar van 2020 is de elektriciteitsprijs voor het eerst op meerdere dagen negatief geweest [1]. Deze situatie ontstaat doordat het totale aanbod aan elektriciteit op dat moment veruit de energievraag overstijgt. Een betere afstemming van vraag op aanbod is wenselijk zodat duurzame productieparken blijven leveren (en niet uitgezet te worden, omdat energie leveren geld kost).
- Netcongestie: Het Nederlandse elektriciteitsnet komt langzaam onder druk te staan doordat duurzame energiebronnen gelijktijdig en lokaal energie leveren [2].

Hoogheemraadschap van Rijnland en energieleverancier HVC willen beiden anticiperen op de veranderingen op de energiemarkt en zo bijdragen aan een duurzame toekomst. Natuurlijk zijn ze niet de enige in Nederland. De afgelopen jaren zijn veel onderzoeken uitgevoerd naar het besparen van elektriciteitsverbruik of elektriciteitskosten bij oppervlaktewatergemalen, vaak onder de noemer 'slim malen' [3]. Concreet worden in deze onderzoeken de gemalen aangestuurd op energie-efficiënte of op draaien op voor de energieprijs gunstige momenten. Bij deze doelstellingen wordt niet direct rekening gehouden met de vraag of de energie duurzaam geproduceerd is. Rijnland wil haar polder- en boezemgemalen aansturen op het aanbod duurzame energie en dit kwantificeren in een percentage CO₂-reductie.

Onderzoeksvraag

Rijnland en HVC willen onderzoeken hoeveel ze kunnen bijdragen in de energietransitie en de uitdagingen die daarbij optreden. De concrete onderzoeksvraag is als volgt geformuleerd:

Kan Rijnland een CO₂-emissiereductie realiseren door het sturen van gemalen in het watersysteem op de uren met het grootste aanbod van duurzame energie? En zo ja, hoeveel bedraagt de reductie in CO₂-emissie?

Om deze vraag te beantwoorden hebben Rijnland en HVC het wateradviesbureau Nelen & Schuurmans benaderd. Deze drie partijen hebben in 2019 een pilot uitgevoerd.

Methodiek

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden is een pilot uitgevoerd en zijn vijf gemalen in het watersysteem aangestuurd op een 'energieregeling'. Voor deze pilot heeft Nelen & Schuurmans een geautomatiseerd systeem ingericht voor de optimalisatie tussen de verwachte duurzame elektriciteitsproductie (informatie bepaald en geleverd door HVC) en de hydrologische condities (informatie bepaald en geleverd door Rijnland) voor de eerstvolgende 48 uur. De pilot heeft twee maanden gedraaid en na de pilotperiode is een analyse uitgevoerd en de reductie in CO₂-emissie berekend.

De pilot is geïmplementeerd in het real-time controlsysteem voor het operationeel waterbeheer van Rijnland en doorloopt dagelijks de volgende stappen:

- HVC berekent het verwachte aanbod duurzaam opgewekte elektriciteit voor de komende dagen en levert deze informatie aan als een duurzaamheidssignaal. Hieronder valt ook de energie geproduceerd door het zonnepark op de RWZI van Katwijk en het aansturen op deze productie voorkomt netcongestie.
- Het systeem berekent het verwachte elektriciteitsverbruik van de gemalen met een (hydrologisch) simulatiemodel voor de komende twee dagen.
- Het verwachte elektriciteitsverbruik en het verwachte aanbod duurzame elektriciteit worden door het systeem geoptimaliseerd binnen de toegestane peilgrenzen van het waterbeheer.
- Het systeem stuurt automatisch de oppervlaktewatergemalen aan op de optimale momenten van de dag en zoveel mogelijk op duurzaam (lokaal) opgewekte energie.



Afbeelding 1. Zonnepark van Rijnland op het terrein van RWZI Katwijk

Duurzaamheidssignaal

Het aanbod van elektriciteit op het energienet komt uit meerdere energiebronnen. Behalve zonneparken of windmolens (geen CO₂-emissie), voorzien kolen- en gascentrales in de totale energiebehoefte. De bijdrage van elk van deze bronnen aan het totale energieaanbod varieert door de dag en is onder meer afhankelijk van de hoeveelheid zon en wind. Hiermee varieert ook de CO₂-emissie per opgewekte kiloWattuur (kWh) aan elektriciteit. Sturen op duurzame energieproductie betekent dat een gebruiker energie afneemt wanneer de CO₂-emissie per kWh het laagst is.

HVC heeft een duurzaamheidssignaal ontwikkeld op basis van zowel de zonverwachting en de daaraan gerelateerde productie, als voor de windverwachting en gerelateerde productie voor de volgende drie dagen. Hierbij is de aanname dat andere duurzame elektriciteitsproductie (zoals bijv. uit biomassa) een constante hoeveelheid elektriciteit levert en dus geen impact heeft op het relatieve aandeel duurzame elektriciteit. Voor een verwachting van de uren met het grootste aanbod van duurzame energie, maakt HVC gebruik van haar eigen verwachting van duurzame productie uit zon en wind van de assets van HVC. Deze verwachting is vervolgens geëxtrapoleerd naar de opgestelde capaciteit in Nederland, zoals gepubliceerd door het CBS [4].

Integrale Regelaar

De Integrale Regelaar (IR) is het real-time controlsysteem van Rijnland voor de sturing van het operationele peilbeheer. De IR importeert data uit verschillende bronnen:

- Telemetrische waarnemingen van onder andere waterstanden en neerslag uit het eigen beheergebied
- Meteorologisch metingen en verwachtingen van het KNMI
- Waterstanden en afvoeren van Rijkswaterstaat

Op basis van deze metingen en verwachtingen berekent het systeem de huidige toestand van het watersysteem en geeft de verwachting voor de komende dagen.

De verwachte wateraanvoer wordt berekend met behulp van een hydrologisch SOBEK -model. Dit model berekent de watertoevoer op basis van onder meer de gevallen en verwachte neerslag. Het model is per definitie een representatie van de werkelijkheid en geeft geen perfecte uitkomsten onder alle hydrologische condities. Om te corrigeren voor de afwijkingen wordt de statistische methodiek ARMA (AutoRegressive Moving Average) toegepast. Deze methodiek berekent een correctiefactor tussen historische simulaties en metingen en past een correctiefactor toe op de verwachting.

De verwachte wateraanvoer wordt samen met het duurzaamheidssignaal ingevoerd in een optimalisatiemodel dat is ontwikkeld in het softwarepakket RTC-Tools 2. Het optimalisatiemodel bevat de kenmerken van het gebied, waaronder de minimale en maximale toegestane waterstand, het streefpeil en de gemaalcapaciteit. Het optimalisatiemodel berekent de aansturing van de gemalen op een minimale CO₂-uitstoot. Daarbij dient het verwachte waterpeil binnen de toegestane marges van het waterbeheer te blijven.

Berekening CO₂-reductie

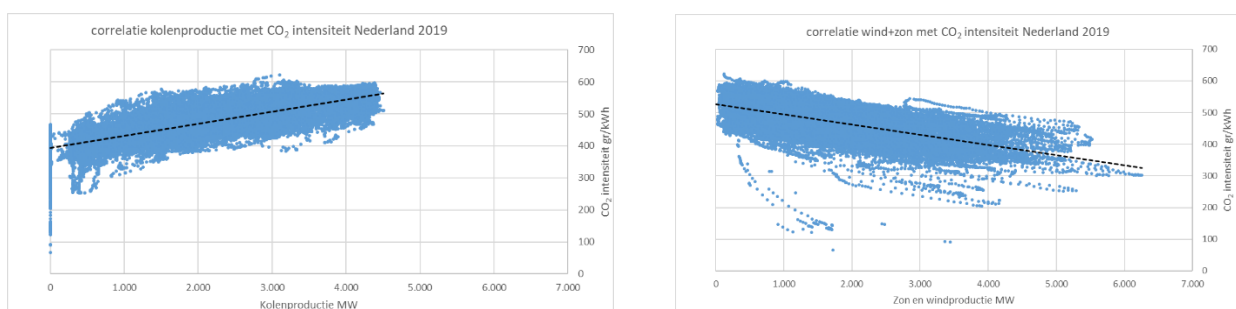
Om de emissiereductie te kwantificeren kijkt HVC naar de binnen Nederland gerealiseerde energieproductie en de import van elektriciteit. Daarin maakt HVC onderscheid in het type energieproductie, zoals kolen, gas, nucleair, overig, zon en wind, en de daaraan gerelateerde CO₂-emissie. Voor deze berekening van de CO₂-uitstoot maakt HVC gebruik van de emissie per brandstof, zoals gepubliceerd door de Autoriteit Consument en Markt (ACM) voor het jaar 2018.

Resultaat

In de resultaten wordt eerst stilgestaan bij de relatie tussen de energieproductie en de hoeveelheid CO₂ die daarbij vrijkomt. Op basis van deze relatie is de CO₂-emissie berekend gedurende de pilotperiode. Als laatste wordt gekeken naar de effecten van deze pilot op het gevoerde peilbeheer.

Relatie tussen elektriciteit en CO₂-emissie

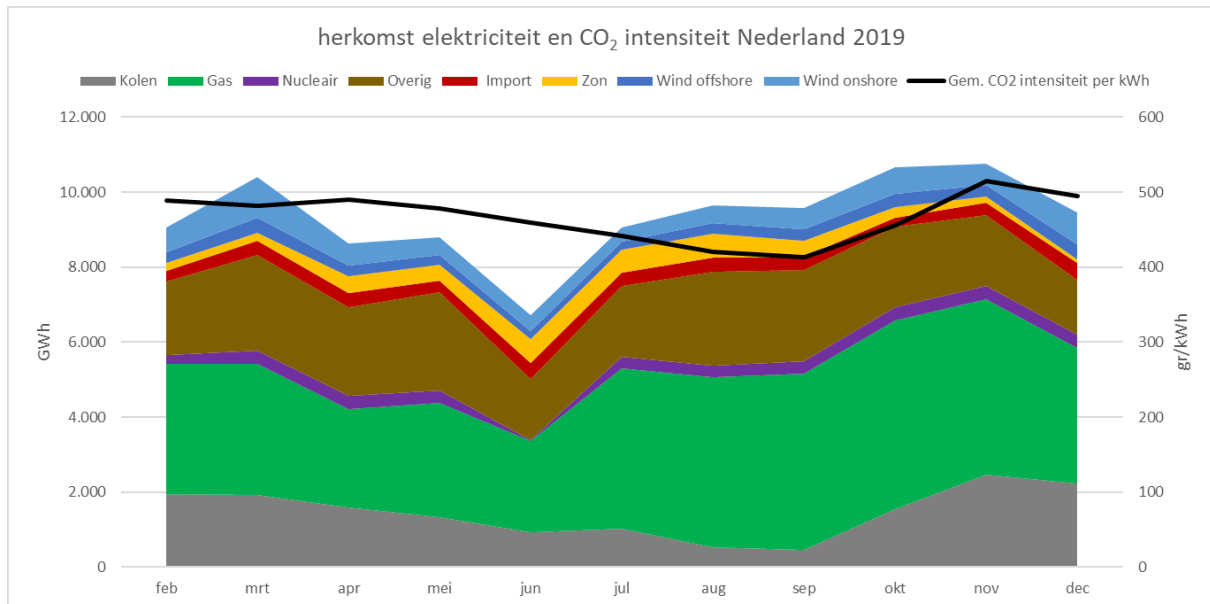
De hypothese was dat een groot aanbod aan duurzame elektriciteit leidt tot een lagere CO₂-intensiteit (CO₂-uitstoot per geproduceerde kWh). Dit is getoetst van de verschillende typen energiebronnen de bijbehorende CO₂-intensiteiten af te leiden. Over het gehele jaar 2019 is de relatie bepaald door CO₂-intensiteit uit te zetten tegen de energieproductie. Er is een sterke samenhang tussen de energieproductie uit kolencentrales en CO₂-intensiteit (correlatie van 0,76 in 2019). Tegelijkertijd is er een negatieve samenhang tussen energieproductie uit zon en wind en de CO₂-intensiteit. Deze correlatie van -0,61 is minder sterk dan de relatie met kolenproductie.



Afbeelding 2. Grafieken van de CO₂-intensiteiten van de productie van energie door kolencentrales (links) en uit zon- en windparken (rechts)

Op basis van de relaties is de CO₂-intensiteit op basis van de herkomst van de elektriciteit te berekenen over het jaar 2019. In de volgende grafiek staat een overzicht van de herkomst van de elektriciteit met de bijbehorende emissie-intensiteit, berekend op basis van de ACM-emissiewaarden voor het stroometiket. Over de maand januari 2019 waren geen data van kolenproductie beschikbaar. Daarom is deze maand buiten beschouwing gelaten.

Daaruit valt op dat de energieproductie uit kolencentrales in Nederland het laagst is geweest over de maand september en deze daarmee resulteert in de laagste CO₂-intensiteit per geproduceerde kWh aan elektriciteit.



Afbeelding 3. De elektriciteitsproductie per bron en bijbehorende CO₂-intensiteit per maand voor 2019

CO₂-reductie in pilotperiode

In de pilotperiode zijn vijf gemalen in het watersysteem gestuurd op de verwachte duurzame elektriciteitsproductie van zonne- en windparken. In tabel 1 staan de emissieresultaten bij het exact opvolgen van het duurzaamheidssignaal van HVC (1) en de werkelijke uitstoot van het verbruik, rekening houdend met het waterbeheer (2). Verder is het werkelijke verbruik van de objecten in de pilot ook vergeleken met de overige elektriciteitsaansluitingen van Rijnland (3). Als laatste wordt de gemiddelde CO₂-emissie over de gehele periode weergegeven (4).

Tabel 1. Overzicht van het elektriciteitsverbruik, de CO₂-emissie en besparing gedurende de pilotperiode

	energieverbruik (kWh)	emissie CO ₂ (gram per kWh)	besparing t.o.v. gemiddelde pilotperiode
1. duurzaamheidsverwachting		501	1,7%
2. verbruik pilotobjecten	166.362	499	2,1%
3. verbruik overige elektriciteitsaansluitingen van Rijnland	1.065.883	505	1,0%
4. gemiddelde emissie tijdens de pilotperiode		510	

Uit tabel 1 volgt dat de gerealiseerde indirecte CO₂-besparing in de pilotperiode 11 gram CO₂ per kWh bedraagt ten opzichte van de gemiddelde emissie gedurende de pilotperiode. Dit betekent een besparing van 2.1% op jaarbasis. Opvallend is dat het gemiddelde verbruik van de energieaansluiting van Rijnland ook 1% minder CO₂-emissie is dan de gemiddelde emissie. Hiervoor is geen gefundeerde verklaring te geven.

De pilotperiode is uitgevoerd in het najaar over de maanden november en december. Gedurende deze maanden is het aandeel duurzame productie gering t.o.v. het dominante aandeel van de kolencentrales in de totale energiemix (afbeelding 3). De variatie in CO₂-intensiteit is dan ook minder groot in deze periode dan bijvoorbeeld de periode april tot en met september. Naar verwachting levert het sturen op het aanbod duurzaam energieproductie in de lente en zomerperiode een grotere besparing in CO₂-emissie op.

Effect op het water

Gedurende de pilotperiode is ook gekeken naar de effecten op het operationele peilbeheer door het aangepast sturen op duurzame energie. Als eerste is belangrijk te melden dat in alle situaties de waterpeilen binnen de gestelde bandbreedte bleven en veiligheid gegarandeerd was. Een aandachtspunt is dat het aantal schakelmomenten in pilotperioden sterk toegenomen is en soms zelfs verdubbeld. De toename van het aantal schakelingen kan op termijn effect hebben op de pompinstallatie. Aan de andere kant heeft het frequenter schakelen wel geleid tot mindere schommelende en meer constante waterstanden in vergelijking tot de periode maart t/m sept 2019 (nulscenario). Dit is te herleiden uit de standaarddeviatie uit tabel 2. De aangepaste sturing heeft al met al weinig effect gehad voor de peilbeheerders.

Tabel 2. Overzicht van de effecten op het peilbeheer.

waterstand [m NAP]	Nulscenario: maart t/m sept 2019			Pilotperiode: nov – dec 2019		
	gemiddeld e	mediaa n	standaard -deviatie	<u>gemiddeld</u> <u>e</u>	<u>mediaan</u>	<u>standaard</u> <u>-deviatie</u>
gemaal Alpherhoorn	-2.570	-2.564	0.029	-2.580	-2.589	0.023
gemaal Oosteinderpoelpolder	-5.030	-5.015	0.045	-5.080	-5.112	0.431
gemaal Palenstein	-6.380	-6.352	0.090	-6.560	-6.554	0.032
gemaal Nieuwkoop	-6.000	-6.000	0.021	-5.960	-5.984	0.019
gemaal Vierambacht	-5.560	-5.527	0.067	-5.700	-5.697	0.032



Afbeelding 4. Gemaal Palenstein (bij Zoetermeer), een van de gemalen in de pilotstudie

Conclusie

In de pilotperiode heeft het sturen van gemalen op het aanbod duurzame elektriciteitsproductie geleid tot een reductie van 2.1 procent ten opzichte van de gemiddelde CO₂-emissie in deze periode. Deze CO₂-reductie is berekend door een relatie af te leiden tussen de CO₂-intensiteit en elektriciteitsproductie per energiebron. De besparing is gerealiseerd door vijf oppervlaktegemalen aan te sturen op een duurzaamheidssignaal en was 1,1 procent in vergelijking met de overige elektriciteitsaansluitingen van Rijnland. De verwachting is dat in de lente en zomer een grotere besparing in CO₂-emissie te realiseren is. In deze periode is het aandeel duurzame energie ten opzichte van fossiele bronnen substantieel groter, waardoor sturing op duurzame productie uren tot een grotere reductie zal leiden.

Vervolg

HVC en Rijnland vinden het belangrijk om bij te dragen aan de CO₂-emissie reductie en willen na dit positieve resultaat een vervolg geven aan deze pilot en nadere kennis opdoen over vermindering van CO₂-uitstoot. Daarbij willen de partijen onderstaande verbeteringen en aanbevelingen uit de pilot doorvoeren:

1. Om de potentiële reductie in kosten- en CO₂-emissie te realiseren, is een verbetering van de verwachte waterafvoer wenselijk, zodat Rijnland het verwachte elektriciteitsverbruik beter kan berekenen.
2. De sturing op duurzame energieproductie is uitgevoerd in de maanden november en december. De CO₂-emissiereductie is waarschijnlijk groter gedurende de zomermaanden wanneer de bijdrage van duurzame energie in de energiemix groter is. Daarom is het interessant om de studie over een heel jaar uit te voeren.
3. Om in absolute zin een grotere reductie in CO₂-emissie te realiseren willen HVC en Rijnland opschalen in het aantal gemalen.

Referenties

1. European Network of Transmission System Operators for Electricity (2020). *Actual Generation per Production*. <https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/actualGenerationPerProductionType/>
2. Topsector Energie (2020). *Netcongestie blokkeert de energietransitie*. <https://www.topsectorenergie.nl/spotlight/netcongestie-blokkeert-de-energietransitie>
3. Pothof, I. (2019). *Slim Malen - Energie besparen?!*. STOWA 2019-27
4. Centraal Bureau voor de Statistiek (2019). *Hernieuwbare elektriciteit; productie en vermogen*. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82610ned/table?fromstatweb>