

VSL

## Statistiek voor het waterstofnet

*Willen we in de toekomst de duurzame energiedrager waterstof door het aardgas mengen, dan moeten we voortdurend de kwaliteit van de gasmix meten. Daar blijkt pittige statistiek achter te zitten. Zes SWI-wiskundigen buigen zich over het vraagstuk.*

Nederland, aardgasland. Volgens het Centraal Bureau voor de Statistiek is nog maar 8,1 % van de huizen volledig aardgasvrij; de rest gebruikt aardgas om te koken of de woning te verwarmen. Daar moet verandering in komen, want aardgas verbranden—methaan, voor de chemici—produceert veel CO<sub>2</sub> en draagt bij aan klimaatopwarming. Tegelijkertijd hebben we decennialang geïnvesteerd in het aardgasnet.

Zijn er manieren om het aardgasnet te verduurzamen, bijvoorbeeld door duurzaam geproduceerd waterstofgas door het methaan te mengen? Die schone energiedrager stoot geen CO<sub>2</sub> uit bij het verbranden. Ook de productie kan schoon, door water te splitsen (elektrolyse) met schone stroom uit wind en zon. Bestaande installaties kunnen al omgaan met een klein percentage waterstof in de aardgasmix. Toekomstige installaties kunnen zelfs volledig op waterstof draaien.



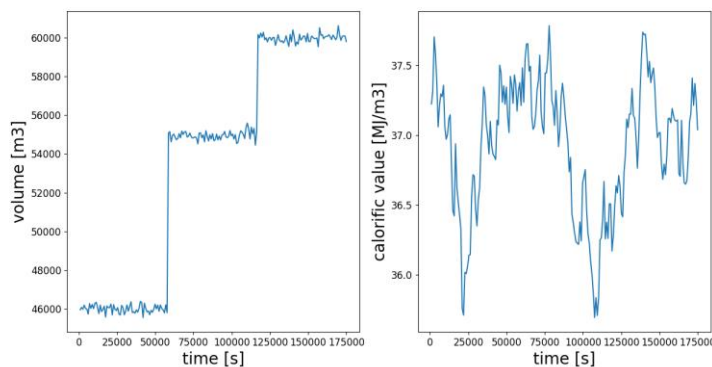
Aardgasnetwerk. Bron: Gasunie

Een mooi vooruitzicht, maar er zijn nog genoeg hordes te nemen voor we waterstof door het aardgas mengen. Hoe meet en bewaak je bijvoorbeeld de kwaliteit van de gasmix? Dat is de achtergrond van de SWI-casus van het nationaal metrologisch instituut VSL, de Nederlandse experts in meetstandaarden en nauwkeurige meettechnieken. Zij onderzoeken de lastige statistiek van zorgvuldig meten van energietransport door het toekomstige gasnet.

### Meetpunten

Fysisch chemicus Adriaan van der Veen van Data Science & Modelling bij VSL vertelt over de haken en ogen van metingen aan een uitgebreide gasinfrastructuur. Vanuit VSL coördineert hij het Europese onderzoeksproject [MET4H2](#) (*Metrology for the hydrogen supply chain*) over waterstof bijmengen in het gasnet en waterstofgasnetten.

De gasmix door het hele netwerk kennen is lastiger dan aan de bron bijhouden hoeveel methaan en waterstof je erin pompt, legt Van der Veen uit. En belangrijk. Klanten willen bijvoorbeeld de juiste verhouding van gassen krijgen voor hun apparatuur en willen weten hoeveel energie ze geleverd krijgen. Ook voor leveranciers is het belangrijk om te weten welke mix er aankomt bij de klant, en of er geen ontmenging plaatsvindt in delen van het netwerk.

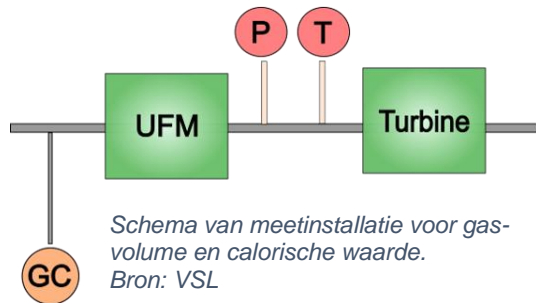


Meting van passerend gasvolume en de calorische waarde.  
Bron: VSL

houding van gassen krijgen voor hun apparatuur en willen weten hoeveel energie ze geleverd krijgen. Ook voor leveranciers is het belangrijk om te weten welke mix er aankomt bij de klant, en of er geen ontmenging plaatsvindt in delen van het netwerk.

Leveranciers hebben dan ook meetpunten door hun hele netwerk. Bij de bron, bij verdeelstations en bij eindstations in steden meten stromings-, druk- en tem-

peratuursensoren en analyseapparatuur hoeveel gas er met welke kwaliteit langs stroomt. In de toekomst moeten die meetstations ook het waterstofgehalte bepalen: hoeveel waterstof zit er door het methaan gemengd? Die verhouding bepaalt de hoeveelheid energie per kuub gas. Vermenigvuldigd die *energiedichtheid* met het debiet (het langs gestroomde volume) en je weet hoeveel energie er per tijds-eenheid is getransporteerd.



### Onzekerheidsmarge

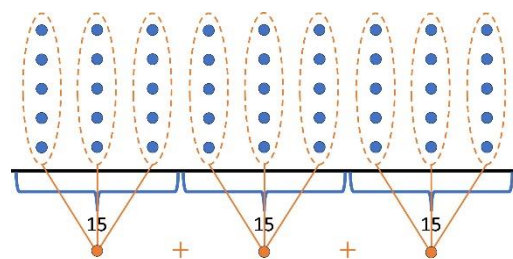
Bij het meten van debiet en samenstelling van het gasmengsel worstelen Van der Veen en zijn collega's nog met het bepalen van de bijbehorende onzekerheidsmarge. Die geeft aan hoe goed je de uitkomst van de metingen kunt vertrouwen; cruciaal om te weten of er de juiste hoeveelheid gas of energie wordt geleverd.

"Voor het debiet en de energiedichtheid kun je aparte onzekerheden bepalen", legt de VSL-onderzoeker uit.

Die hangen samen met de gebruikte sensoren en zijn voor elke sensor te bepalen. "De vraag is wat er gebeurt als je de datapunten met elkaar vermenigvuldigt om de totale energie te berekenen."

In de handboeken statistiek staan allerlei methodes om de onzekerheidsmarge van zulke berekeningen te bepalen. Tenminste: als de gebruikte datareeksen geen interne samenhang hebben in de tijd. In werkelijkheid is die er natuurlijk wel, omdat de meetwaarden van nu sterk gerelateerd zijn aan die uit het verleden.

Van der Veen: "De handboeken en normen waarschuwen dat de standaardmethodes te kleine onzekerheidsmarges voorspellen als de meetreeksen een interne samenhang hebben, maar de methode om die onzekerheid in dat geval wél goed te berekenen is er nog niet. Hoe ga je daarmee om? Dat wilden we weten van SWI."



Tijdreeksen combineren en middelen.  
Bron: SWI-team VSL

### Volgorde

Tijdens de workshop buigen zes wiskundigen zich over de statistiek van VSL. Onder hen is postdoctoraal onderzoeker Erwin Luesink van de Universiteit Twente. Zijn vakgebied: stochastische geometrische mechanica, ofwel hoe je omgaat met natuurlijke variaties en onzekerheden in meetdata. Bijvoorbeeld als je satellietmetingen van de oceaantemperatuur wil koppelen aan klimaatmodellen.

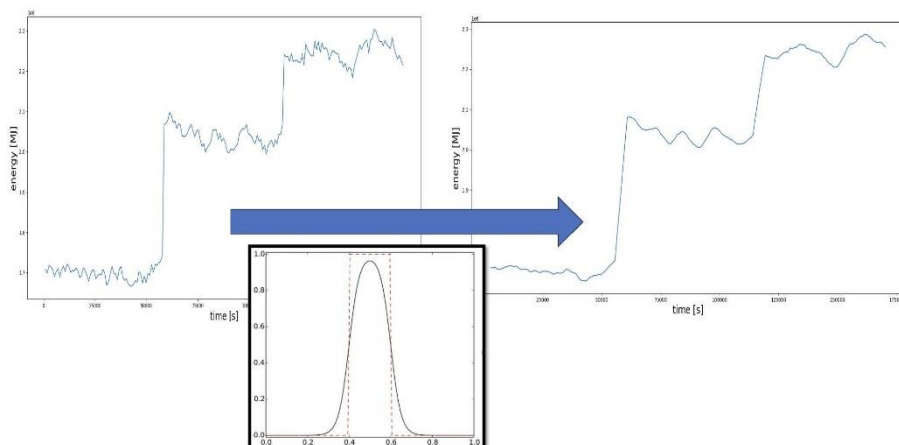
"Deze case van VSL ligt wel op mijn pad, maar is ook weer niet helemaal mijn eigen specialisme. Ik wilde een project waar ik iets nieuws tegen zou komen. Het interessante aan dit vraagstuk is die gekoppelde onzekerheid doordat metingen op verschillende tijdstippen niet onafhankelijk zijn. En ook de volgorde van bewerkingen is belangrijk, ontdekten we tijdens deze week."

Neem je bijvoorbeeld eerst het gemiddelde van een stel debietmetingen tijdens een stel meetmomenten, en vermenigvuldigd je dat met het gemiddelde van de bijbehorende energiedichtheden? Dan krijg je een andere uitkomst dan wanneer je eerst de twee grootheden per meetmoment vermenigvuldigt en daarna pas een gemiddelde neemt. Zo ook voor de gekoppelde meetonzekerheid.

### Gladstrijken

Luesink en zijn vijf teamgenoten hebben niet allemaal een achtergrond in de statistiek, maar weten wel al snel hoe ze het VSL-vraagstuk aan willen vliegen. "We hebben te maken met een signaal met daarbovenop ruis, we weten dat we geïnteresseerd zijn in statistische eigenschappen zoals variantie en covariantie; dan ligt het erg voor de hand om filtertheorie toe te passen."

Filteren is een manier om grillige meetseries glad te strijken en alleen de essentiële eigenschappen over te houden, legt de onderzoeker uit. Door elk meetpunt te middelen met zijn burens, verdwijnt chaotische ruis en blijft er een gladder signaal over. Dat kan eenvoudig - simpelweg het gemiddelde van de drie metingen - of complexer, waarbij naburige waardes gewogen meetellen.



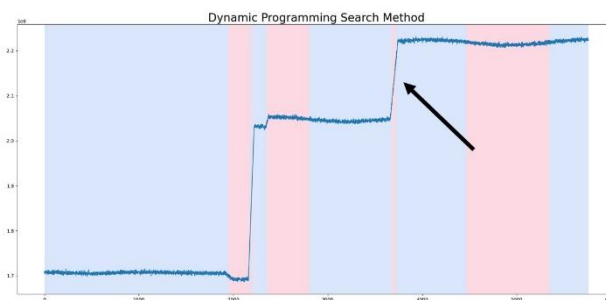
*De filtermethode maakt gewogen gemiddeldes van naburige meetpunten.  
Bron: SWI-team VSL*

### Sprongherkenning

Zo gezegd, zo gedaan. Maar dan blijken er addertjes onder het gras te zitten. Zo zitten er scherpe sprongen in de meetgegevens, waarbij volume of samenstelling ineens omhoog of omlaag schieten en dan stabiliseren op een nieuw niveau. Volledig verklaarbaar: op koude winterochtenden springen de verwarmingen van huizen bijvoorbeeld op vergelijkbare momenten aan en stijgt het verbruik. Maar zulke sprongen gooien lelijk roet in het eten van de filtermethode.

Om de data te verwerken testen de wiskundigen algoritmes die automatisch sprongsgewijs gedrag herkennen in de meetseries. Data tijdens zo'n sprong worden apart geanalyseerd, zodat ze de omliggende data niet vervuilen. Aandachtspunt blijft het goed identificeren van de precieze momenten waarop een sprong begint en eindigt, zodat de verandering wordt uitgesmeerd over het juiste tijdsinterval.

Opricht afgerond? Niet bepaald. Als de SWI-ers eenmaal hun automatische sprongdetectie aan de gang hebben, testen ze hun filteraanpak op de aangeleverde data. Wanneer ze daar statistische grootheden als variantie en covariantie voor uitrekenen, slaan de uitkomsten nergens op. Een verrassing, maar wel een die mooie bijvangst gaat leveren.



*Sprongen in de data herkennen. Bron: SWI-team VSL*

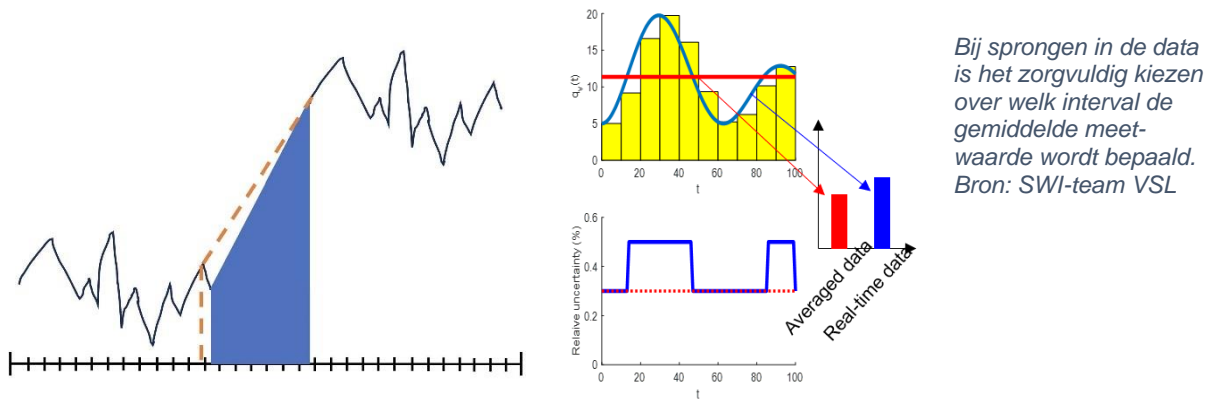
### Data error

Luesink: "VSL gebruikt zelf meetgegevens van een commerciële energiepartij, die ze niet zomaar aan ons mogen geven. Daarom hebben ze zelf kunstmatige datareeksen gegenereerd die geen bedrijfsgeheimen weggeven."

Begrijpelijk, maar in die gesimuleerde meetreeksen blijken metingen op opeenvolgende momenten niet met elkaar samen te hangen. Precies die afhankelijkheid zorgt dat de standaardstatistiek vastloopt op de echte datareeksen waar VSL mee worstelt.

Luesink: "We ontdekten al snel dat die data niet representatief waren toen we ze door een paar statistische tests haalden. Daarom hebben we zelf synthetische data geproduceerd waar die relaties tussen datapunten wel in zitten. Met het blote oog zie je het onderscheid niet, ga je dieper kijken dan is er een wereld van verschil."

De datagenerator maakt meteen een nieuwe onderzoeksstrategie mogelijk, denkt opdrachtgever Van der Veen: een geijkte test van de analysemethodes. Door data te analyseren waar de relevante statistische eigenschappen van vaststaan, kun je namelijk testen hoe goed je analysealgoritme die er weet uit te halen.



## Europees

Hoe goed is de originele vraag van VSL beantwoord? Adriaan van der Veen ziet veel handvatten voor verder onderzoek. "Er is mooi werk geleverd in de vorm van die automatische filtermethode en sprongherkenning." Hij verwacht interesse van Europese gasbedrijven, die voor de uitdaging staan om hun infrastructuur zo goed (en goedkoop) mogelijk te bemeten. "Uiteindelijk willen die weten op welke punten in hun netwerk ze uitgebreide meetpunten moeten plaatsen die elk kwartier uitlezen, en waar het voldoende is om een sensor te plaatsen die eens per dag rapporteert. Dit onderzoek over de betrouwbaarheid van de data is daar een mooi startpunt voor."

Tevreden opdrachtgever, tevreden wiskundigen? Erwin Luesink, ondertussen voor de tweede keer deelnemer aan SWI, is enthousiast. "Het was een verfrissende uitdaging om eens een week helemaal anders te werken dan normaal. Als wiskundige zit je niet zo vaak in groepsverband aan hetzelfde project. En dan ook nog een nieuw onderwerp, met mensen en technieken die je nog niet kent - bijna alsof je even vakantie hebt.

"Als een bedrijf zijn opdracht goed voorbereidt, kom je als wiskundige in een prachtige speeltuin waar je met allerlei vrijheid onderzoek kunt doen en aan een bruikbaar resultaat werkt."