

Verlagen van de

Studiegroep Wiskunde met de Industrie 2023



Workshop 30 januari - 3 februari 2023
Schrijver: Gieljan de Vries

De [Studiegroep Wiskunde met de Industrie 2023](#) werd financieel gesteund door:

- Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO)
- Platform Wiskunde Nederland

Voorwoord

De 2023de editie van de *Studiegroep Wiskunde met de Industrie* (SWI) vond, voor het eerst sinds de eerste SWI van 15 jaar geleden, plaats in Groningen en was de 170ste *Europese Studiegroep met de Industrie* (ESGI).

Meer dan veertig wiskundigen uit negen verschillende landen gaven gehoor aan onze uitnodiging om een week lang uitdagende problemen van vijf bedrijven en organisaties op te lossen in de stimulerende ambiance van het Academiegebouw van de Rijksuniversiteit Groningen.

De vijf problemen waren afkomstig van de wereldwijd opererende bedrijven *Philips* en *ASMT*, van de Europese ruimtevaartorganisatie *ESA* (in samenwerking met het Nederlandse *KNMI*), van het Nederlandse adviesbureau *DHM* en van het lokale *Top Dutch Solar Racing* team.

Op de volgende pagina's vindt u de samenvattingen van de spannende problemen en de oplossingen die de deelnemers aan de SWI hebben voorgesteld. Als u dieper in de techniek wilt duiken kunt u ook de wetenschappelijke proceedings bekijken die beschikbaar zijn op de SWI website swi-wiskunde.nl.

Wij danken NWO voor hun financiële steun en zijn ook de nationale SWI-coördinatoren Vivi Rottschäfer en Alessandro Di Bucchianico dankbaar voor hun advies en ondersteuning.

Het organisatieteam van SWI 2023:

Stephan Trenn (*voorzitter*)
Ineke Schelhaas (*managementassistent*)
Tsega Gebretekle
Tamás Görbe
Matthijs de Jong
Julian Koellermeier
Nikolay Martynchuk
Pieter Tibboel

Inhoud

Voorwoord	3
Inhoud	4
Kabels leggen met 100 kilometer per uur	6
Het geheim van de baardtrimmer	9
Hot topic: wiskunde van de warmtetransitie.....	11
Australië door op één batterij	14
Wolken turen voor gevorderden.....	17

Kabels leggen met 100 kilometer per uur

Met de wirebonding-machines van ASMPT verbindt de halfgeleiderindustrie in een razend tempo onderdelen op een printplaat. Om onverwachte bewegingen in hun machine beter te begrijpen riep het bedrijf de hulp van SWI 2023 in.

Wirebonding is hypnotiserend. Volautomatisch racet een dunne soldeernaald heen en weer: omlaag naar een computerchip om een ragfijne gouddraad vast te plakken, dan in een ruk omhoog-opzij-omlaag naar het contactpunt op de printplaat. Zo worden losse onderdelen in een oogwenk werkende elektronica.

High-techbedrijf ASMPT is marktleider in de wirebondingstechniek, waarbij machine-onderdelen in een fractie van een seconde optrekken naar honderd kilometer per uur en op precies de juiste plaats weer tot stilstand komen. Om zijn machines nog verder te verbeteren wil R&D-directeur van ASMPT Dragan Kostić ze beter leren begrijpen met een digitale tweelingkopie. Die moet zichtbaar maken wat er binnenin de machine gebeurt als die op topsnelheid beweegt. Zo'n rekenmodel blijkt ingewikkelder dan gedacht.

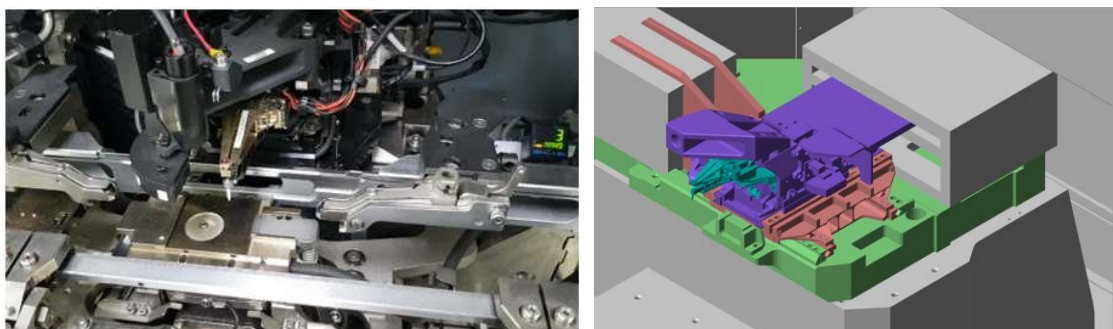


Foto en 3D-model in het softwarepakket SimScape van de wire bonding-machine van ASMPT. Bron: ASMPT

Extreme bewegingen

"Een wirebonding-machine haalt tijdens de verticale beweging versnellingen van wel honderdvijftig keer de aardse zwaartekracht" vertelt Kostić. Bij zulke extreme start-en-stopbewegingen kunnen onderdelen die volgens de ontwerpsoftware perfect stijf zijn, toch doorbuigen en terugveren. Dat verstoort de beweging van andere onderdelen, wat een rem is op sneller en preciezer werken.

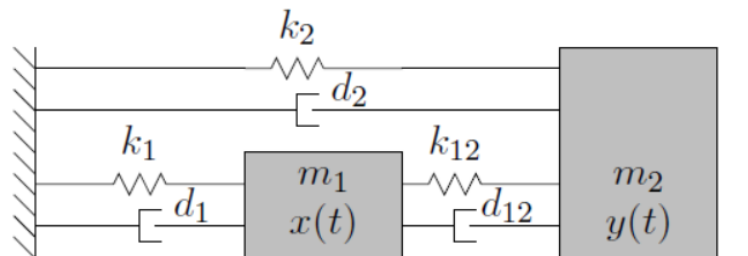
Het computermodel om dit gedrag te beschrijven kent wel zeventig verschillende parameters zoals de stijfheid van verschillende verbindingen, waarvan twintig *parasitair* - ongepland maar onvermijdbaar gedrag, zoals de verende staalplaat. Aan de SWI-deelnemers de uitdaging om zulk gedrag te begrijpen.

"Als wiskundige vond ik dit vraagstuk interessant omdat er zoveel verschillende wiskunde bij komt kijken", vertelt SWI-deelnemer Alice Peng, een postdoctoraal onderzoeker aan de Universiteit Leiden. "Parameters identificeren, differentiaalvergelijkingen oplossen, wiskundige modellen programmeren, er is niet één persoon die dat allemaal beheerst. Maar als diverse groep blijk je dan in korte tijd heel veel te kunnen."

Dat is precies de leerervaring die deelnemer Colin Please (hoogleraar Universiteit van Oxford) graag ziet: "Bij SWI leer je samenwerken in een groep, en zie je hoe je jouw abstracte vakkennis kunt gebruiken om allerlei praktische vraagstukken te kraken. Dat is een waardevolle ervaring voor wiskundigen."

Onverwacht

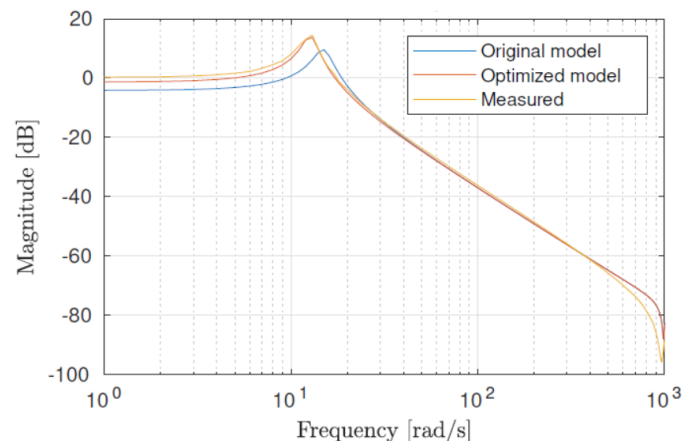
Om het meeste uit SWI-week te halen, splitst het team zich op in twee groepen die ieder op hun eigen manier proberen de *wirebonding* uit de knoop te halen. Terwijl één groep versimpelde wiskundige modellen opstelt om het basisgedrag van machineonderdelen te begrijpen, licht de andere het bestaande computermodel van ASMPT door. Elke dag leggen ze elkaar uit waar ze staan. “Dat was een tip van een paar ervaren rotten in ons team”, herinnert Peng zich. “Zij wisten precies hoe je mensen effectief laat samenwerken.” Die samenwerking levert onverwachte uitkomsten op.



Wiskundig model van de wire bonding-machine in de vorm van massa's die zijn gekoppeld met veren en actuators. Bron: SWI2023

In hun eindpresentatie laten de wiskundigen bijvoorbeeld een rekenmodel zien dat de omhoog-omlaagbeweging van de *wirebonder* perfect simuleert. Ook voor horizontale bewegingen hebben ze simulaties, al kloppen die minder netjes. Maar er is meer: ze weten ook een zwakke plek in ASMPT's begrip van de machine bloot te leggen.

Het zware chassis van 300 kilogram, volgens het originele computermodel één star en onbeweeglijk blok staal, blijkt volgens de analyse iets flexibel. “We denken dat je door de enorme krachten golfbewegingen kunt krijgen in het chassis”, vertellen de onderzoekers in hun presentatie. Dat zou de beweging van alle onderdelen op het chassis beïnvloeden.



Vergelijking van het originele en nieuwe rekenmodel van de ASMPT-machine met metingen van hoe de machine zich in het echt gedraagt. Bron: SWI2023

“Ik sta ervan versteld hoe goed dit klopt”

Als de onderzoekers hun resultaten presenteren na vier dagen - en een paar avonden - werken, is opdrachtgever Kostić laaiend enthousiast. “In een paar dagen tijd hebben ze de cruciale elementen in ons model weten te vinden - zonder enige achtergrondkennis over onze machines. Ik sta ervan versteld hoe goed hun model van onze machine klopt.”

Ook het advies van de wiskundigen om het complexe rekenmodel te versimpelen valt in goede aarde. Zo laten de onderzoekers zien dat er niet één belangrijkste materiaaleigenschap is aan te wijzen om de wirebonding-bewegingen te begrijpen: dat hangt maar af van wat soort beweging er plaatsvindt. Bij snelle schokken blijkt bijvoorbeeld de massa van een onderdeel bepalend voor hoe het reageert, terwijl tragere bewegingen juist afhankelijk zijn van de stijfheid van materialen. Toegespitste modellen die inzoomen op één soort gedrag kunnen helpen om de juiste beschrijving van zulke eigenschappen te vinden, denken de wiskundigen.

Tevreden? “Hier gaan we op voortborduren”, weet Dragan Kostić al meteen. En ook Alice Peng kijkt enthousiast terug op SWI: “Ik heb hier zowel geleerd over wiskunde als over samenwerken aan praktische problemen. Als ik later de industrie in wil, is dit een prachtige ervaring. Een aanrader!”

Het geheim van de baardtrimmer

Philips is een van de grootste fabrikanten van haarmachinerie ter wereld, van stylingtangen en scheerapparaten tot baardtrimmers. Die trimmers vertonen vreemd gedrag: bij de juiste snelheid voelt de elektromotor ineens nauwelijks tegenkracht van het heen en weer schietende mes. Vier wiskundigen weten dat gedrag in een krappe week te doorgronden.

“Samengevat: hier is de exacte oplossing.” Aan wiskundige James Harris (Universiteit van Oxford) het genoeg om die zeldzame boodschap te brengen tijdens de einddag van SWI. Meestal zijn de bedrijfsvraagstukken alleen bij benadering te beantwoorden. Danny Dirksz van Philips Personal Health heeft de uitzondering aangedragen, al blijkt er creatieve wiskunde nodig om zijn vraagstuk te kraken.



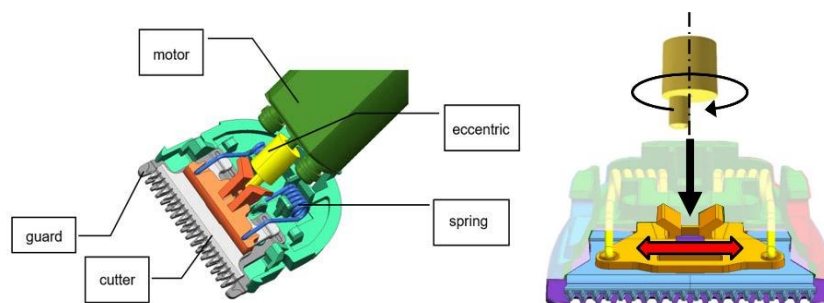
Baardtrimmer van Philips.
Bron: Philips Personal Health

Koppeling

Pel je Philips baardtrimmer open - al is het maar om 'm eens schoon te maken - en je ziet de slimme slee-koppeling tussen een rondjes draaiende elektromotor en een mes dat naar links en rechts schiet. Geen *rocket science*, maar complex genoeg om onverwacht gedrag te vertonen.

Dirksz: “Om verder te innoveren willen we onze apparaten zo goed mogelijk begrijpen, op alle niveau's. Daarom maken we wiskundige modellen van onze apparatuur zodat we veel sneller veelbelovende ideeën testen dan wanneer we telkens prototypes moeten maken.”

In zijn originele simulaties modelleert Dirksz de elektromotor en het mes met lineair gedrag - bij twee keer zoveel kracht is de respons ook twee keer zo groot. “Maar als je ze aan elkaar koppelt, krijg je wisselwerking en niet-lineair gedrag”, legt Dirksz uit.



Ontwerptekening van een Philips baardtrimmer met een ronddraaiende motor die een heen-en-weer bewegend mes aandrijft. Bron: Philips

Dip

De hoeveelheid stroom die de elektromotor trekt blijkt op en neer te wiebelen, afhankelijk van hoe snel je 'm wil laten draaien. Bij sommige frequenties is die wisselcomponent groot, bij één specifieke is er een dip en wordt de wisselstroom helemaal nul.

Interessant, maar waar komt dat gedrag vandaan? Dat blijkt niet te beantwoorden met technieken voor lineaire systemen. Dirksz, als mechatronicus niet vies van pittig rekenwerk, kan het raadsel niet loslaten. “Ik wilde graag vanuit de wiskunde begrijpen bij welke frequentie nou precies die wisselvalligheid

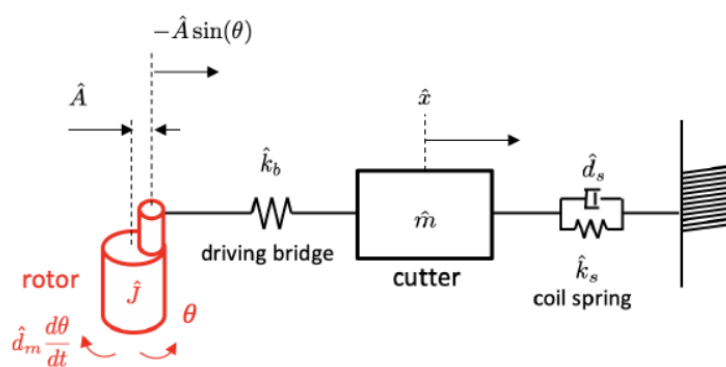
in de stroom naar nul ging. En hoe die frequentie samenhangt met eigenschappen van het apparaat zoals veerconstantes, gewichten, enzovoorts. Daarom nam ik contact op met SWI.”

Grip

Wie wil begrijpen bij welke frequentie de baardtrimmer van Philips wiebelt en wanneer juist niet, loopt meteen vast in de details van het ontwerp. De kracht van de elektromotor, hoe zwaar het mes en verbindingsstuk zijn, schuifweerstand - alles kan invloed hebben op het uiteindelijke gedrag.

Promovendus Eric Sandin Vidal van de Vrije Universiteit in Amsterdam vertelt hoe hij met zijn drie collega's het mes zette in de wirwar van apparaateigenschappen. “De eerste paar dagen hadden we allerlei ideeën, waarvan er niet één meteen uitsprong. We zijn dus wat gaan experimenteren. Wat ons uiteindelijk enorm hielp om grip te krijgen op het probleem is de techniek van *nondimensionalisatie*.”

Als de wiskundigen variabelen in de formules iken op de 'natuurlijke' eigenschappen van de baardtrimmer, blijkt het rekenwerk een stuk simpeler te worden. Zo wil het verend gemonteerde mes liefst op één typisch tempo heen en weer trillen, dat afhangt van de veerconstante en de massa van het mes. Die analyse geeft ook aan welke eigenschappen van het apparaat het zwaarste wegen. Met een zogeheten *asymptotische oplossing* die steeds nauwkeuriger wordt, vinden de deelnemers daarna een exacte formule voor het wiebelgedrag van de elektromotor.



Mechanisch model van de baardtrimmer. Bron: SWI

Gereedschapskist

Dirksz is in zijn nopjes met het resultaat. “De belangrijkste vraag, bij welke frequentie krijg je die dip in de wisselstroom, konden ze wiskundig exact beantwoorden. Hun methode van omgaan met differentiaalvergelijkingen was voor mij heel nieuw, die gaat zeker in mijn eigen gereedschapskist voor als ik weer met dit soort problemen te maken krijg.”

Oplossing gevonden, klant tevreden - was het vraagstuk dan wel interessant genoeg voor de deelnemende wiskundigen? Sandin kijkt in ieder geval vol enthousiasme terug op de werkweek: “Het was pittig en best vermoeiend om onder zo'n strakke deadline aan een compleet nieuw probleem te werken. Maar voor wiskundigen die misschien alleen abstracte problemen gewend zijn, is het denk ik heel goed om te zien hoe je met je vakkennis vraagstukken van buiten de muren van de universiteit op kunt lossen. Dit moet je minstens een keer meemaken.”

Voor Danny Dirksz bij Philips is het werk ondertussen nog maar net begonnen. “Philips heeft meer producten dan alleen trimmers, en deze analysemethode voor niet-lineaire systemen kun je ook toepassen op andere producten. Dat wordt interessant. Voor mij heeft SWI laten zien dat een andere invalshoek en achtergrond veel kan opleveren. Een echt succes!”

Hot topic: wiskunde van de warmtetransitie

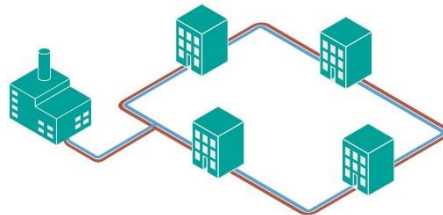
Hoe krijgen we onze huizen energieneutraal? Gemeentes bepalen de komende jaren hoe hele stads-wijken moeten verduurzamen. DHM helpt gemeentes om per wijk de beste strategie te kiezen. Aan SWI de uitdaging om wiskundige modellen te ontwikkelen voor de warmtetransitie.

Bij duurzame energie denken we misschien eerst aan zonnepanelen en windmolens, maar Nederlandse huishoudens gebruiken de meeste energie om warmte op te wekken. Die warmte halen we nog steeds vooral uit aardgas, met de bijbehorende CO₂-uitstoot. 'Van het gas af' is de opgave, maar hoe moet dat in de praktijk?

Lang niet elke woning in Nederland is geschikt om over te gaan op een warmtepomp. Bij oude arbeiderswijken van rond 1910 is zo ver isoleren praktisch onbetaalbaar. Dan ligt stadswarmte voor de hand, als er tenminste een geschikte warmtebron in de buurt staat. Andere huizen houden misschien een gasaansluiting, aangevuld met duurzamere verwarming. DHM helpt gemeentes om de complexe puzzel van de warmtetransitie te leggen.



Als je huizen verduurzaamt en de CV op aardgas eruit haalt (links), stap je dan over op een warmtepomp (rechtsboven), stadsverwarming (rechtsonder), of een hybride mix van die twee? Bron: DHM / SWI



Verschillende hoeken

Op zoek naar manieren om hun advies stevig te onderbouwen klopt DHM aan bij de Studiegroep Wiskunde met de Industrie. DHM-adviseur Sandra Kamphuis: "We hebben met de studiegroep gekeken welk van onze vraagstukken er geschikt is als SWI-case. De warmtetransitie sprong eruit, omdat het complex is, maatschappelijk actueel en je er vanuit verschillende hoeken wiskundig naar kan kijken."

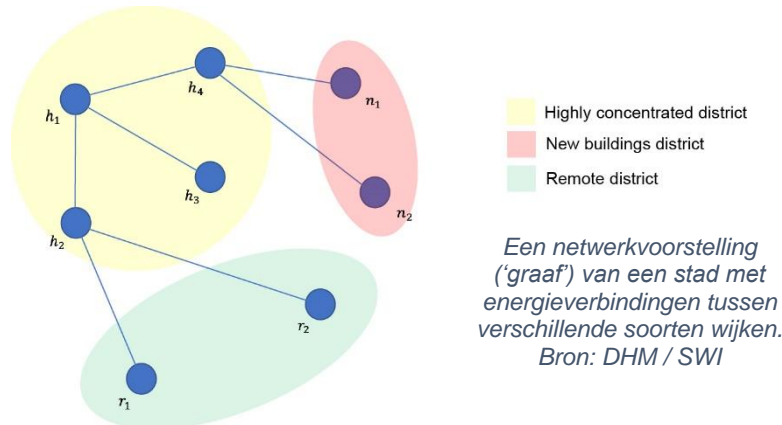
Veertien wiskundigen besluiten de tanden in het vraagstuk te zetten. Zo ook promovenda Leoni Winschermann van de Universiteit Twente. Ze onderzoekt zelf de vergroening van het elektriciteitsnet, en hoeft niet lang te denken als ze de DHM-case langs ziet komen. "Het was heel interessant om een week na te denken over warmte die als product van A naar B stroomt."

Grafen, rekenmodellen en toekomstbestendigheid

Na een brainstorm over de uitdaging - Winschermann: "gezellig met zijn allen voor een whiteboard discussiëren over wat er interessant en haalbaar is" - gaan de wiskundigen aan de slag met een model dat al snel ingewikkeld wordt.

In een abstract ruimtelijk plaatje (uit de *grafentheorie*) stellen ze verschillende delen van de stad Groningen voor als knooppunten. Elk knooppunt is anders: een goed geïsoleerde nieuwbouwwijk buiten het centrum bijvoorbeeld, een oude stadswijk of een industrieterrein dat warmte produceert. Die kan de computer verbinden met lijnen die verschillende infrastructuur voorstellen.

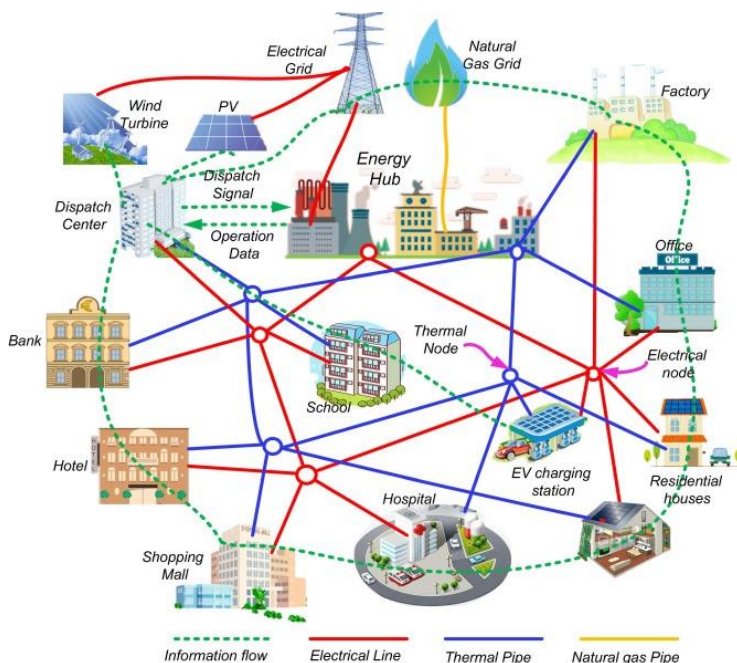
Zelfs met een paar knooppunten is het aantal mogelijke verbindingen al te groot om met de hand door te rekenen. Daarom stellen de wiskundigen voor om een computer een zogeheten Monte Carlo-simulatie uit te laten voeren die steeds verschillende netwerken tussen stadsdelen tekent en inplant hoe wijken verduurzamen. Door te vergelijken welk van die duizenden netwerken het beste presteert, komt er een geschikte strategie voor de warmtetransitie naar boven.



Afsplitsing

Vraagstuk opgelost? Net zoals gemeentes, inwoners en bedrijven in de echte energietransitie hebben de wiskundigen verschillende ideeën over de beste aanpak van het warmteprobleem. Dat levert een tweede computermodel op. Dat *energy hub*-model bekijkt stadswijken als bronnen en verbruikers van warmte, stroom en water, elk met een eigen kostenplaatje. Ook kosten voor het aanleggen en onderhouden van de infrastructuur voor gas, water en licht worden meegenomen.

“Het mooie aan dit model is dat je het kunt versimpelen tot een paar stadsdelen, of inzoomen tot individuele buurten en woningen”, vertellen de onderzoekers in hun eindpresentatie. Dat gaat ver: wie wil, kan zelfs de watertemperatuur van warmtenetten instellen. Het levert een bijna levensechte simulatie van de energieinfrastructuur op. Maar ook: een statisch plaatje. Daarom besluit een derde groep onderzoekers om de Groningse warmtetransitie te simuleren in de loop der tijd. Ze verrekenen de aanleg, bedrijfskosten en uitgespaarde energie in een computermodel dat, gegeven aannames over toekomstige energieprijzen, de goedkoopste route naar een duurzame stad uittekent.



Startpunt

Bij DHM is Sandra Kamphuis enorm te spreken over de opbrengst van SWI. Ze wil voortborduren op het resultaat: "Echt bijzonder om te zien hoe enthousiast de wiskundigen waren en hoeveel ze in een week tijd konden doen. Dankzij hun modellen kunnen we uit een heel andere hoek naar de warmte-transitie kijken. Dat leidt tot beter afgewogen adviezen en uiteindelijk betere oplossingen."

"Het was genieten om met ervaren wiskundigen in zo'n *sprint* een probleem aan te pakken", kijkt Leoni Winschermann terug op SWI. "Er liggen nu drie flexibele modellen die je echt toe kunt spitsen op specifieke situaties." Dat was ook een doel van de onderzoekers: "We zochten naar een balans tussen wat er wiskundig allemaal mogelijk is, en wat gemeentes en beleidsmakers ook echt kunnen gebruiken. Je model moet goed advies geven, maar ook zo inzichtelijk en eenvoudig zijn dat mensen dat advies accepteren." Zo rekenen we ons een weg naar de duurzame toekomst.

Australië door op één batterij

Om het jaar racet een konvooi elektrische zonne-auto's dwars door Australië. Laadstations hebben ze niet nodig, want alle energie komt uit de zonnepanelen op de wagens. Op zoek naar de beste zonne-auto vragen de studenten van het Groningse team Top Dutch Solar Racing (TDSR) aan SWI hun raceplanning door te lichten. Hoe haal je het meeste uit de zon?

De snelste zonnewagens in de internationale Bridgestone World Solar Challenge zijn meer rijdende vleugels vol zonnecellen dan personenauto's. In vijf dagen racen ze van Darwin in Noord-Australië naar Adelaide aan de zuidkust. Het is peentjes zweten in de krappe cockpits, want voor airconditioners is geen energie. Toch staan studententeams zoals Top Dutch Solar Racing van de Universiteit Groningen te trappelen om mee te doen. Wie hier scoort, laat wereldklasse zien.



Top Dutch Solar Racing haalde in de World Solar Challenge 2019 de vierde plaats in de Challenger-klasse. Bron: TDSR

De World Solar Challenge begon in 1987 als stimulans voor het prille veld van zonne-auto's, die rijden op zelf-opgewekte energie. "Elk team begint met een volle batterij, maar tijdens de race moet je het doen met de energie uit de zonnepanelen", legt technisch manager Micha van Beek van Top Dutch Solar Racing uit. In de editie 2019 haalde het Groningse team nog de vierde plaats. Verrassend goed, want er andere teams van bijvoorbeeld de TU Delft of RWTH Aachen hebben een veel groter budget.

Glazen bol

TDSR wil van SWI weten hoe ze hun kostbare zonne-energie het beste inzetten. Het team wil bij het plannen van hun racedagen iets in de toekomst kunnen kijken. Liefst willen de studenten die planning zelfs elke paar uur updaten, zodat ze voortdurend weten hoe agressief of behoudend ze kunnen rijden.

Van Beek: "Als het de eerste paar dagen bewolkt is kan je in het begin rustigjes rijden op je batterij, en daarna de zon pakken in de eindrace. Maar dan moet je wel heel zeker zijn van die voorspelling, én je plan aan kunnen passen als het weer onverwachts omslaat." Het bestaande computermodel is niet flexibel genoeg voor zulke voorspellingen.

Bridgestone World Solar Challenge-route van Darwin naar Adelaide. Bron: World Solar Challenge.



Top Dutch Solar Racing gaat uit van een langetermijnstrategie voor de complete race, op basis van een beperkt aantal variabelen zoals de wind- en zonvoorspelling. Van dag tot dag willen ze daarnaast een korte termijnplanning die in veel meer detail vooruit kijkt. Dit model neemt bijvoorbeeld ook actuele verkeersgegevens of onverwachte meevallers mee in zijn advies. Bijvoorbeeld als de bestuurder in moet halen, of juist onverwacht wind meeheeft zodat de luchtweerstand minder energie uit de batterij zuigt.

Vertrouwen

Wiskundig ingenieur Simon van Mourik (Universiteit Wageningen) kiest voor de uitdaging van Top Dutch omdat die wel lijkt op vraagstukken uit zijn eigen werk, het ontwerpen van controlesystemen voor bijvoorbeeld geautomatiseerde kassen. Hij begint vol vertrouwen: “Je hebt een batterij waar energie in gaat door de zon, en eruit omdat je gas geeft. Ik dacht, in een week moeten we wel een algoritme kunnen schrijven dat de optimale snelheid van de auto voorschrijft.”

Het vraagstuk blijkt een stuk complexer. “De eerste anderhalve dag hebben we vooral college gekregen van de studenten”, vertelt Van Mourik. “Hun plannings zijn zó gedetailleerd dat ze zelfs rekening houden met de vorm van het terrein en de lokale windrichting.”



De studenten van Top Dutch Solar Racing willen hun raceplanning tijdens de race regelmatig updaten. Bron: TDSR

Essentie

Het bestaande rekenmodel van TDSR voorspelt het energieverbruik van de zonneauto op basis van de bewegingsvergelijkingen van Newton. Lucht- en rolwrijving, hellingen, alles wordt verrekend. Te ingewikkeld om een korte termijnplanning op te draaien, denkt Van Mourik: “Het leuke van problemen die net te complex worden om exact op te lossen, is dat je moet gaan nadenken. Wat is bijzaak, wat is de essentie? En hoe vang ik die in een behapbaar model?”

In plaats van exact het effect van wrijving en tegenwind mee te nemen, gebruiken de SWI-ers de stelregel dat het energieverbruik van de zonneauto alleen afhangt van zijn snelheid. Dat blijkt genoeg om op een laptop in een paar minuten door te rekenen hoe snel de bestuurder de komende 2,5 uur mag rijden.

Vergeleken met een model dat vijf dagen lang dezelfde snelheid aanhoudt scheelt het SWI-model minuten tijdswinst per dag en komt de zonnwagen elke dag zo'n twintig kilometer verder. Dat kan al genoeg zijn om een plaatsje op te schuiven richting het podium.

Van Mourik vindt het resultaat aardig, maar denkt dat er meer winst te halen is: “In de glastuinbouw kunnen slimme regelsystemen tientallen procenten energiebesparing opleveren.” Hij denkt dat de stu-

denten de voorspelling kunnen verbeteren door bijvoorbeeld de versimpelde relatie tussen snelheid en energieverbruik aan te scherpen.



TDSR-zonnewagen Green Lightning in de World Solar Challenge van 2019. Bron: TDSR

Raamwerk

Voor Micha van Beek was SWI een succes: niet alleen hebben de deelnemers een raamwerk opgezet voor zowel een korte- als langetermijnplanning, ze hebben ook een computermodel opgeleverd dat al aardige resultaten geeft. “Het was echt gaaf om de verschillende aanpakken te zien. Er wordt hier wiskunde ingezet die wij als generalisten niet kenden.”

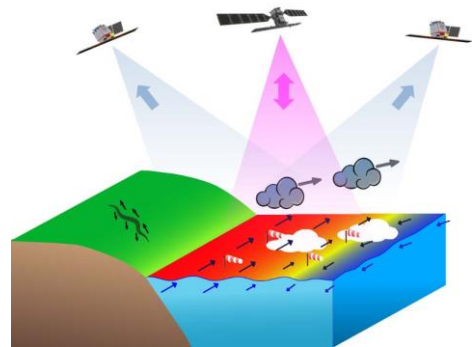
Een aanrader? Zowel de wiskundige als de zonneracer zijn het eens - meedoen aan SWI geeft nieuwe inzichten. “Je komt wiskunde tegen die je in je dagelijkse werk nooit gebruikt of zelfs nooit gezien hebt”, vertelt Van Mourik. “Voor promovendi is dit eigenlijk een *must*, want je leert hier een compleet andere aanpak van wiskunde. In een paar dagen tot de kern van een probleem komen en een eerste oplossing neerzetten is een fantastische vaardigheid.”

Wolken turen voor gevorderden

Hoe groot is die wolk en wanneer drijft hij weer weg? Het zijn vragen voor als je in de vroege lente op het balkon zit. Maar ook klimaatwetenschappers worstelen met de beweging van wolken en hun invloed op het klimaat. SWI 2023 kreeg de vraag om nieuwe analysemethoden te bedenken voor een toekomstige satellietmissie die professioneel naar de wolken tuurt.

Wolken zijn elk moment anders. Ze groeien aan boven warm water, drijven weg op de wind boven een stevige zeestroom, stulpen uit door opstijgende lucht en verwaaien of regenen uit. Door een samenspel van opwarmende en afkoelende effecten hebben wolken een flinke invloed op het weer en klimaat, maar we begrijpen nog niet goed genoeg hoe wolken zich in de loop der tijd ontwikkelen om die ook te vangen in onze klimaatmodellen. Daar moet verandering in komen, vindt aardobservatie-expert Alexandre Payez bij het Nederlandse weer- en klimaatinstituut KNMI.

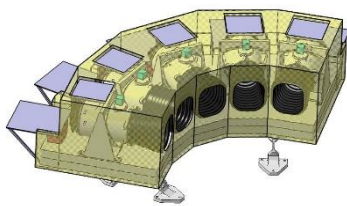
“Om betere klimaatmodellen van een warmere aarde te maken, moeten we processen in wolken beter leren begrijpen”, stelt Payez. De satellietmissie Harmony van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA moet daar verandering in brengen door de levensloop van wolken in detail in kaart te brengen.



*De twee Harmony-satellieten vliegen in formatie met een Sentinel-1 satelliet.
Bron: ESA / KNMI*

Tweeling

De twee satellieten van Harmony worden in 2029 gelanceerd en vliegen in dezelfde baan achter elkaar aan. Vanaf 700 kilometer hoogte schieten ze uit verschillende hoeken foto's van dezelfde stukken atmosfeer boven de oceaan. In de zes minuten die het kost om over te vliegen schieten ze zo tien verschillende foto's. Uit die tien plaatjes moet het Harmony-team afleiden hoe hoog wolken op de foto zijn, waar ze hangen en hoe ze bewegen, en hoe ze in de loop der tijd veranderen.



Elke Harmony-satelliet heeft vijf camera's om de aarde uit verschillende hoeken in beeld te brengen. Bron: ESA / KNMI

Toen SWI een van de Harmony-onderzoekers benaderde op zoek naar een interessant probleem, dacht ESA al aan een Hackathon om nieuwe benaderingen voor de Harmony-analyses te verkennen.

Het probleem is vrij uitdagend omdat wolken met verschillende camera's van opzij worden geobserveerd. Daardoor is het niet eenvoudig om te achterhalen of verschillen tussen twee foto's het gevolg zijn van een verticale of horizontale beweging van de wolken. Om de uitdaging behapbaar te maken voor SWI, stelde Payez voor het te vereenvoudigen door hoogteinformatie voor de wolken in de tien gesignaleerde beelden toe te voegen.

“Leuke meetkunde”

Om te zorgen dat de SWI-deelnemers zo snel mogelijk aan de slag kunnen, krijgen ze van het Harmony-team voorbeelddata die ze kunnen analyseren, tutorials en bestaande rekenmodellen. Ook is Payez de hele week aanwezig om de deelnemers te helpen en bij te sturen als ze een kant op gaan die de Harmony-onderzoekers zelf al hebben onderzocht.

Met de gegeven hoogtedata blijkt het voor de wiskundigen - na enig bakkeleien over waar precies het noorden was op de foto's - een eitje om de positie en bewegingsrichting van een wolkenmassa te bepalen. “Als je op hetzelfde moment uit verschillende richtingen foto's van dezelfde wolk maakt, zie je

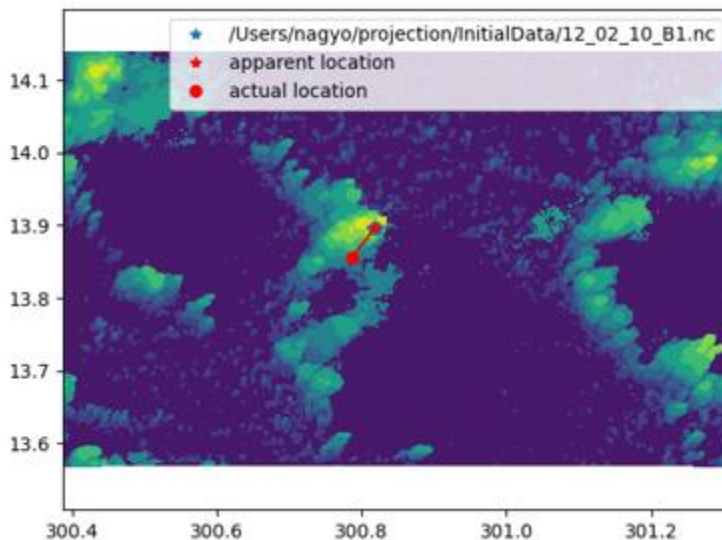
die tegen een iets ander deel van het aardoppervlak”, legt teamlid Sophie Abrahams uit, een promovendus aan de Universiteit van Oxford. “Uit die *parallax* kun je de afstand en afleiden. Wat leuke meetkunde en we hadden het antwoord.”

Vergelijkbare meetkunde laat zien hoe het complete wolkenveld beweegt, door foto's van een paar minuten na elkaar te vergelijken. Ook weten de onderzoekers de foto's uit verschillende hoeken aan elkaar te knopen in 3D-modellen van de individuele wolken. Een eerste stap om te zien hoe wolken in de loop der tijd veranderen.

Rekken en draaien

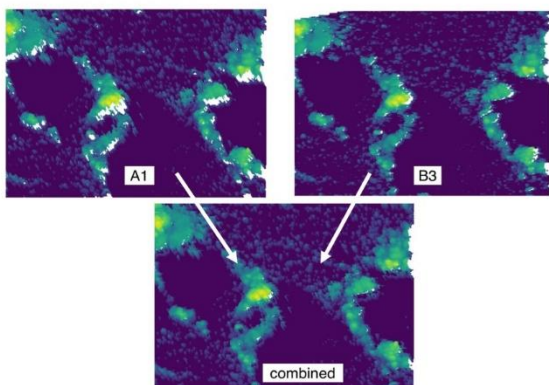
Volgens Abrahams is een grote uitdaging van het Harmony-project dat er zo weinig data beschikbaar zijn.

“We moeten de plaats en beweging van de wolken afleiden uit maar tien foto's. Dat betekent dat technieken zoals *machine learning* waarbij je een computer een grote hoop gegevens voert, niet gaan werken. We moesten dus buiten de gebaande paden zoeken.”



Plaatsbepaling van een wolk. Bron: SWI

Door tijdgebrek lukt het niet om de beweging van de wolken exact te analyseren. Na een brainstorm zetten de wiskundigen veelbelovende technieken, van software voor medische beeldherkenning tot een serie analysemethodes die berekenen in hoeverre een wolk of wolkenveld in de minuten tussen verschillende foto's draait en uitrekt. Abrahams: “Dat doen we eerst voor het complete wolkendek, daarna voor individuele wolken.”



Door wolkenbeelden vanuit verschillende hoeken te combineren weten de wiskundigen ontbrekende informatie in te vullen. Bron: SWI

Inspirerend

Alexandre Payez is een paar weken na de workshop nog steeds enthousiast over het resultaat van SWI:

Ook Sophie Abrahams is te spreken over de werkweek: "Het is de vijfde keer dat ik meedoe aan zo'n workshop, hartstikke leuk om zo nieuwe mensen en nieuwe wiskunde te leren kennen. Daarnaast zijn

deze workshops goed voor je CV als onderzoeker en als je het bedrijfsleven in wil, dat is echt een kans die je moet pakken!"