

## Stieltjesprijs academisch jaar 2021-2022 : jury rapport

De jury bestond uit Erik van den Ban (UU), Odo Diekmann (UU, voorzitter), Aernout van Enter (RUG), Sara van de Geer (ETH Zürich), Frans Oort (UU), Marc Uetz (UT) en Kees Vuik (TUD), met assistentie van Marieke Kranenburg (UvA, secretaris). In totaal zijn 74 proefschriften beoordeeld. In verschillende stadia van de beoordeling is extern advies ingewonnen. Na een eerste selectie is een shortlist van 12 proefschriften samengesteld. Op donderdag 8 december 2022 kwam de jury bijeen om deze 12 te bespreken en een winnaar te kiezen.

De jury was onder de indruk van het hoge niveau van het uitgevoerde onderzoek. De kwaliteit van niet minder dan 7 scripties was zodanig dat het winnen van de prijs verdiend zou zijn. Vandaar dat er moeilijke keuzes moesten worden gemaakt. Na de eerste discussieronde bleven 4 proefschriften over, allemaal van indrukwekkende kwaliteit en grote originaliteit. Na een uitgebreide tweede discussieronde bleven er twee proefschriften over. Beide zijn van buitengewone kwaliteit, maar verder zijn ze nogal verschillend. De jury zat dus niet in een impasse, de consensus was dat beiden de prijs moesten winnen.

Het proefschrift "Geometric Aspects of Linear Programming" van Sophie Huiberts (CWI, UU) biedt verbazingwekkende nieuwe inzichten in verschillende reeds lang bestaande en zeer relevante problemen in combinatorische optimalisatie. Een van de belangrijkste resultaten is een effectieve polynomiale grens op de verwachte looptijd van (een nieuwe variant van) de klassieke simplexmethode voor lineair programmeren, wanneer het probleem wordt "afgevlakt" door kleine Gaussische ruis toe te voegen aan de gegevens. De schatting is gebaseerd op een slim en creatief gebruik van een geometrisch perspectief, in combinatie met een verfijnde probabilistische analyse. Bovendien bevat het proefschrift krachtige nieuwe grenzen voor de diameter van willekeurige polytopen en het introduceert een nieuwe efficiënte schaalvrije binnenlandse punt methode. (Overigens heeft de Franse krant "Le Monde" op 4 oktober 2022 bericht over haar werk).

In het proefschrift "Quantum information theory and many-body physics" introduceert Freek Witteveen (CWI, UvA) wiskundige structuren die gemotiveerd zijn door mogelijke toepassingen van quantum computing in de simulatie van quantum many-body systemen. De wiskundige analyse van deze structuren is zeer uitdagend, maar leidt tot nieuwe en diepgaande resultaten.

Het proefschrift combineert intuïtieve fysische motivatie met strenge wiskundige formulering en analyse, waarbij geput wordt uit en bijgedragen wordt aan een veelheid van wiskundige gebieden. De helderheid, en het gegeven overzicht getuigen van de buitengewone rijpheid van de auteur. De opmerkelijke resultaten hebben internationale aandacht getrokken. Volgens deskundige referenten initiëren die een nieuw onderzoeksgebied in de kwantuminformatietheorie en zullen ze een langdurige impact hebben.

De jury draagt zowel Sophie Huiberts als Freek Witteveen voor als winnaars van de Stieltjes Prijs 2021-2022.

---

Hieronder volgt een meer gedetailleerde beschrijving van de prestaties van beide winnaars, gedeeltelijk gebaseerd op de ontvangen deskundige rapporten.

In haar proefschrift "Geometric Aspects of Linear Programming", geschreven op het CWI met Daniel Dadush als co-promotor en verdedigd aan de Universiteit Utrecht met Gunther Cornelissen als promotor, presenteert Sophie Huiberts verschillende mijlpaalresultaten in de theorie van lineaire of convexe optimalisatie.

Een van haar bijdragen is een nieuwe theoretische analyse van het werkpaard van commerciële en academische en academische software in optimalisatie, de Simplex methode voor lineaire programma's, uitgevonden door George B. Dantzig in 1947. Dit algoritme loopt langs naburige hoekpunten van het veelvlak beschreven door de verzameling haalbare oplossingen. Hoewel bijna alle bekende regels voor het bepalen van het te nemen pad hebben aangetoond een slecht theoretisch gedrag te hebben, heeft het Simplex-algoritme een verbluffend goede efficiëntie in de praktijk. Sophie analyseert het Simplex-algoritme in de "afgevlakte" situatie voorgesteld door Spielman en Teng. In deze situatie worden de beperkingen licht verstoord door Gaussische ruis. Spielman en Teng konden de eerste polynomiale bovengrens afleiden voor het verwachte aantal spillen van het Simplex-algoritme in dit model. Hun limiet is in de loop der jaren verbeterd. Sophie slaagt erin een nieuwe limiet voor het verwachte aantal spillen te verkrijgen die, in tegenstelling tot alle voorgaande werken, het verdient om "praktisch" genoemd te worden. Haar resultaat berust op een totaal vernieuwde analyse van de zogenaamde schaduwgrens, die het aantal randen telt van een projectie van het Simplex-pad op het verstoorde veelvlak op dimensie twee, samen met een nieuwe variant van het Simplex-algoritme die is afgestemd op de nieuwe schaduwgrens. Dit resultaat alleen al kan worden beschouwd als een meesterwerk.

Een tweede mijlpaal resultaat in Sophie's proefschrift behandelt het zeer uitdagende probleem om de combinatorische diameter van (willekeurige) polytopen te schatten, dat is de maximale lengte van een kortste pad tussen twee willekeurige hoekpunten. Dit houdt verband met het welbekende Hirsch-conject, dat stelt dat de combinatorische diameter van van elk polytoop begrensd is door  $m-n$ , waarbij  $m$  het aantal lineaire beperkingen is en  $n$  de dimensie.

Terwijl deze conjectuur in 2012 door Santos is afgewezen, stelt de (bijgewerkte) conjectuur dat de diameter van een polytoop begrensd wordt door een polynoom in  $m$  en  $n$ . In haar proefschrift bewijst Sophie een nieuwe en bijna strakke limiet op de diameter van een zeer natuurlijke klasse van (willekeurige) polytopen. Om deze nieuwe resultaten te verkrijgen, bouwt Sophie verder en breidt ze eerdere werken uit met nieuwe technieken die geometrische inzichten combineren met probabilistische analyse op onverwachte manieren, waardoor sommige van haar oudere collega's verbijsterd waren. Haar resultaat over de diameter van polytopen is een belangrijke vooruitgang in de discrete meetkunde sinds ongeveer 50 jaar.

Hoewel deze twee resultaten op zichzelf al een prijs verdienen, bevat Sophies proefschrift nog twee hoofdstukken die opmerkelijk zijn. Het ene hoofdstuk presenteert een nieuw binnenpunt algoritme voor lineaire optimalisatie, met een rekentijd die polynomiaal is in  $n$ ,  $m$  en de bitcomplexiteit van de beperkingenmatrix. complexiteit van de beperkingenmatrix. De vraag of een dergelijk algoritme bestaat, met een rekentijd die niet afhangt van de schaling van de kolommen van de beperkingsmatrix, was open sinds 2003. Deze vraag is nu positief bevestigd door Sophie. Een laatste hoofdstuk presenteert een eenvoudig, praktisch snel en gemakkelijk te implementeren, algoritme voor convexe optimalisatie in het orakelmodel, geïnspireerd op de Frank-Wolfe convex combinatie algoritme,

dat gunstig afsteekt bij verschillende van de tot nu toe bekende technieken (zoals de eerder bekende technieken (zoals de Ellipsoïde methode) in rekenproeven.

Hoewel men zou kunnen zeggen dat veel van deze resultaten "slechts" verbeteringen zijn van worstcase analyses zijn van varianten van bekende algoritmen in optimalisatie, betekenen alle resultaten een sprong voorwaarts op een gebied waar de afgelopen 50 jaar veel onderzoek naar is gedaan, en Sophie's supervisor en een externe beoordelaar zijn vol bewondering voor de wiskundige diepte en vindingrijkheid van Sophies werk in het combineren van geometrisch inzicht met probabilistische analyse van algoritmen. De resultaten zijn gepubliceerd in de proceedings van toonaangevende conferenties over theoretische computerwetenschap en computationele meetkunde (STOC en SOCG), en haar werk aan het Simplex-algoritme kwam onlangs aan bod in een artikel in de Franse krant "Le Monde". Sophie heeft nu een beurs van de Simons Foundation en werkt als PostDoc aan Columbia University, New York.

---

In zijn proefschrift "Quantum information theory and many-body physics", geschreven op het CWI en verdedigd aan de Universiteit van Amsterdam met Michael Walter en Eric Opdam als promotoren, identificeert Freek Witteveen drie hoofdthema's op het raakvlak van kwantuminformatietheorie en veel-lichaamssystemen: 1) de structuur van grondtoestanden van veel-lichaam systemen, 2) het begrijpen van de unitaire quantum dynamica, en 3) de relatie tussen kwantuminformatie en kwantumzwaartekracht. Intuïtieve fysische vragen over deze thema's worden dan omgezet in problemen geformuleerd in precieze wiskundige termen.

In deel 1 wordt een bepaald constructieprincipe voor grondtoestanden van kwantumsystemen in één fysische dimensie gekoppeld aan de theorie van wavelets (traditioneel gebruikt in signaalverwerking). Aan de wiskundige kant worden nieuwe bi-orthogonale wavelet filters in één dimensie verkregen, samen met foutschattingen voor zogenaamde benaderende Hilbertpaar-wavelets. De analyse heeft betrekking op nauwkeurige en fysisch relevante schattingen van benaderingsfouten voor bepaalde meerpunts-correlatiefuncties. functies.

Deel 2 behandelt de unitaire tijdsevolutie van eendimensionale kwantumsystemen, onder de aanname dat in een enkele tijdstap de lokaliteit bij benadering behouden blijft. In geval van strikt behoud worden dergelijke systemen quantum cellulaire automaten genoemd. Deze zijn ingedeeld aan de hand van een index die de informatiestroom meet. In dit proefschrift wordt deze index theorie uitgebreid tot automaten met approximatieve lokaal behoud, wat ook resulteert in een classificatie. Wiskundig gezien bevat dit werk resultaten over bijna-inclusies van von Neumann algebra's.

Deel 3 is gewijd aan de theorie van de zogenaamde willekeurige tensor-netwerken, en de relatie daarvan met de zwart-gat informatieparadox en de beroemde AdS/CFT correspondentie. Een speelgoedmodel in termen van de genoemde netwerken wordt wiskundig geanalyseerd op een rigoureuze manier, waarbij belangrijke nieuwe ideeën uit de random matrix theorie en gladde entropieën zijn vereist. Met dit speelgoedmodel is Freek erin geslaagd rigoureuze wiskundige resultaten te produceren die in overeenstemming zijn met heuristische voorspellingen uit de genoemde gebieden van

kwantumzwaartekracht.

In elk van de drie delen identificeert Freek uitdagende problemen in de kern van het overeenkomstige onderzoeksgebied, en draagt zowel nieuwe wiskundige resultaten als nieuwe conceptuele inzichten bij.

Freeks werk paart overzicht en originaliteit aan een opmerkelijke productiviteit. Zijn proefschrift is gebaseerd op vier papers, waarvan er drie zijn gepubliceerd in toonaangevende tijdschriften, waaronder *Communications in Mathematical Physics* en *Annales Henri Poincaré*. Ook werd zijn werk geaccepteerd op de conferentie Quantum Information Processing (QIP), een topconferentie op dit gebied. Parallel aan zijn proefschrift was hij co-auteur van nog twee publicaties. In oktober 2022 begon hij als postdoc bij het QMATH-centrum van de Universiteit van Kopenhagen.