

Tekst intreerede "Zichtbaar/onzichtbaar"

Sjoerd Stallinga, 28 juni 2019

Mijnheer de Rector Magnificus, leden van het College van Bestuur, collegae hoogleraren en andere leden van de universitaire gemeenschap. Zeer gewaardeerde toehoorders. Dames en heren.

Ik heb nu de hoogste etage van de ivoren toren der wetenschap bereikt en daar een kamer betrokken, mijn "room at the top". In het komende dik half uur zal ik een tipje van de sluier oplichten wat ik daar doe, en ook wat ik er van plan ben te gaan doen. Ik zal ook met u enkele bespiegelingen delen hoe het daar nou is, bovenin, en of we het er nog wat beter en mooier kunnen maken. Tenslotte wil u nog iets vertellen van mijn persoonlijke pad, mijn klimtocht hoe ik hier gekomen ben.

Eerst wil ik met u terug gaan in de tijd, om u iets te vertellen over het gebruik van instrumenten om nieuwe dingen zichtbaar te maken. Daarna zal ik een sprongetje maken naar hoe ik in het hier en nu aan zulke instrumenten werk.

Ik wil met u terug gaan naar het Delft van de 17de eeuw, en naar de schilder Vermeer. Zijn oeuvre beslaat slechts 40 a 50 schilderijen, maar in die beperkte set muntte hij uit in licht, kleur en compositie. Vermeer liet zo de wereld zien zoals nog niemand die eerder zichtbaar had gemaakt.

Er zijn theorieën dat Vermeer hulpmiddelen gebruikte om zijn visie op de wereld op het canvas vast te leggen. Philip Steadman heeft het perspectief van "de muzikles" terug getrokken als het ware, rekening gehouden met de echte grootte van voorwerpen in de schilderijen en zelfs wat er in de spiegel in het schilderij te zien is. Op deze manier heeft hij het hele atelier van Vermeer in 3D kunnen reconstrueren.

Ergens op de achterwand van het atelier, op ooghoogte, vindt Steadman projecties die precies kloppen met het formaat van de echte schilderijen. Volgens hem moet Vermeer daarom een camera obscura, een scherm met een gaatje erin, hebben gebruikt om de geometrie van zijn composities zo te kunnen vast leggen op het canvas.

Er is ook een hypothese van Tim Jenison hoe Vermeer het probleem heeft kunnen oplossen dat zo'n projectie met een camera obscura in spiegelbeeld is. Een kleine spiegel onder 45 graden zou hem in staat hebben kunnen stellen om per stukje van het schilderij de optische afbeelding op het doek te vergelijken met het omringende stukje schilderwerk, in vorm maar vooral in kleur. Jenison heeft zelfs op deze manier zijn eigen Vermeer gemaakt, door het atelier na te bouwen en zijn optische setup toe te passen.

Het resultaat zien jullie hier rechts samen met de echte Vermeer links. Jenison heeft zo wellicht de onzichtbare, want verloren gegane historische werkelijkheid van Vermeer's atelier en werkwijze, toch - althans voor een deel - zichtbaar kunnen maken.

Vermeer kende die andere grote Delftenaar, Antoni van Leeuwenhoek, goed. Ze zijn in hetzelfde jaar geboren, in 1632, en van Leeuwenhoek was formeel beheerder van de

nalatenschap van Vermeer. Het is interessant om te speculeren wat nu precies de interactie is geweest tussen deze grootheden.

Van Leeuwenhoek had ook iets bedacht om nieuwe dingen te zien. Hij kon namelijk beter lenzen maken dan wie ook, en het gebruik van die lenzen in dit nieuwe instrument stelde hem in staat om leven op de microschaal zichtbaar te maken. Als eerste mens zag hij "kleine dierkens", bacteriën uit zijn eigen tandplak. Hij rapporteerde uitgebreid over zijn vondsten in zijn vele brieven. Het geheim van zijn lenzen, hoe hij ze zo goed kon maken, nam hij overigens mee in zijn graf.

Na van Leeuwenhoek is er aan de essentie van de microscoop lange tijd niets veranderd. De microscoop is eigenlijk altijd een hulpstuk geweest voor het menselijk oog, een soort verrekijker waar je doorheen kijkt om kleine dingen te bestuderen. Eerder een kleinkijker dus.

Nu wil ik met u een stap maken naar het leven in de huidige tijd. Niets heeft ons leven en ook de wetenschap zo grondig veranderd in de afgelopen decennia als de computer. De computer is het wetenschappelijke instrument bij uitstek, en het speelt een centrale rol in het aandachtsgebied van mijn wetenschappelijk werk: Computational Imaging.

Het centrale concept hiervan ga ik u uitleggen aan de hand van de volgende cartoons:

Je kunt de computer gebruiken op de meest simpele manier die je kunt bedenken. Je schroeft een digitale camera op de microscoop en koppelt die aan een computer zodat je de beelden kunt opslaan op de harde schijf en bekijken op een beeldscherm.

Een vervolgstap is beeldbewerking en beeldanalyse. Je kunt de digitaal opgeslagen plaatjes bewerken om duidelijker of aantrekkelijker te maken wat relevant is in de beelden.

In een derde, cruciale stap, ga je het instrument zelf of het object waar je naar kijkt, of zelfs allebei, aanpassen. Die aanpassing is dan zo gekozen dat uit de combinatie met de beeldbewerking iets nieuws ontstaat.

Het geheel van microscoop en computer is nu meer dan de som der delen, en we kunnen essentieel wat nieuws laten zien. We kunnen het onzichtbare zichtbaar maken.

Nu zult u zeggen heel mooi professor Stallinga, maar heeft u ook voorbeelden dat de mens er echt iets aan heeft?

En of ik die heb! Historisch gezien de eerste beeldvormende technieken die volgens het principe van computational imaging werken zijn tomografische technieken die we kennen uit het medische domein, met name CT, wat staat voor Computed Tomography, en MRI, wat staat voor Magnetic Resonance Imaging. Deze apparaten produceren nergens direct een plaatje, maar zijn ontworpen om projecties vast te leggen (CT) of de interactie van magneetvelden en radiopulsen in 3D met de magnetische eigenschappen van de atomen in het object (MRI). Voor beide technieken is een computer nodig om uit deze informatie de 3D beelden van het menselijk lichaam te genereren.

Binnen de microscopie, door de wet van de remmende voorsprong, zijn de ontwikkelingen naar de laatste fase van computational imaging pas echt goed los gekomen in de laatste 10 a 20 jaar. Ik zal jullie vertellen over de meest baanbrekende computational imaging techniek, super-resolutiemicroscopie. Met deze techniek kunnen microscopen gemaakt worden die 10x scherpere beelden opleveren dan de klassieke modellen. Een voorbeeld van een afbeelding van draadachtige structuren in een cel zien jullie hier. Deze techniek is een mooi voorbeeld van Richard Feynman's "room at the bottom", zijn visionaire idee, geformuleerd in 1959, dat er op de nanoschaal nog zoveel te ontdekken valt en vooral uit te vinden en te maken.

Inmiddels zijn hier prachtige resultaten mee geboekt. De plaatjes die u hier ziet zijn gemaakt in de groep van Xiaowei Zhuang in Harvard en laten een periodieke structuur zien van bepaalde eiwitten in de axonen van zenuwcellen. Een mooi voorbeeld van een ontdekking in de structuurbiologie mogelijk gemaakt door super-resolutie-microscopie.

De uitvinding van super-resolutiemicroscopie was zo belangwekkend dat mijn collega's Hell, Betzig en Moerner hiervoor de Nobelprijs Chemie hebben gewonnen in 2014. Een mooie beloning waarvoor de prijswinnaars niet eens stokoud hoefden te worden om die te incasseren, best ongebruikelijk voor het Nobel-comité.

Ik wil u nu een animatie laten zien van het onderliggende principe.

Als we met een conventionele microscoop een afbeelding willen maken, zoals van deze smiley, dan is die afbeelding altijd beperkt qua scherpte. Dat is geen kwestie van een niet-optimaal gemaakt instrument, er staan natuurwetten in de weg waardoor het niet beter kan.

De ingreep die wordt gedaan is dat het object wat afgebeeld moet worden als het ware beplakt wordt met lichtgevende moleculen, zgn. fluoroforen. De truc die 15 jaar geleden is geïntroduceerd, is om deze fluoroforen niet constant licht uit te laten zenden maar ze aan en uit te laten knippen, en wel op zo'n manier dat er op elk gegeven moment maar een hand vol "aan" staan. Vervolgens wordt nu niet een enkele opname gemaakt maar een filmpje. In elk beeld van het filmpje zie je dan slechts enkele vlekken, elke vlek komt dan van een enkel molecuul. De grootte van de vlek correspondeert met de fundamentele onscherpte van de microscoop, als alle moleculen tegelijkertijd aan zouden staan zouden alle vlekken overlappen en vinden we het standaard onscherpe beeld terug.

De volgende stap is dat het filmpje de computer ingaat, waar een algoritme de enkele-molecuul-vlekken in elk beeld analyseert en de middelpunten van de vlekken uitrekt. Die corresponderen dan met de meest waarschijnlijke positie waar het lichtgevende molecuul zich bevond. Dat bepalen van het middelpunt van de vlekken kan ongeveer 10x zo nauwkeurig als de breedte van de vlekken zelf.

Door nu met de computer al die gevonden vlek-middelpunten, dus de posities van alle lichtgevende moleculen, te laten plotten wordt uiteindelijk een afbeelding geconstrueerd waar de details 10x scherper zijn dan behaald kan worden met een conventionele microscoop.

U ziet hier een overzicht van de lengteschalen van belangrijke structuren. Met conventionele microscopie kunnen we net binnen cellen kijken, met super-resolutie kunnen we een flink eind inzoomen in de cel, tot zo'n 20 nm scherpte. Dat komt in de buurt van de lengteschaal waarop het DNA en de eiwitmoleculen de machinerie van het leven gestalte geven. Het bloot leggen van structuren en processen op die lengteschaal kan ons verder helpen om de werking van de cel, en het ontstaan en verloop van verschillende ziektes beter in kaart te brengen, en ook om uiteindelijk nieuwe diagnostieken en geneesmiddelen te ontwikkelen.

De vraag waar we ons nu in Delft mee bezig houden is of super eigenlijk wel goed genoeg is. Als we echt op de schaal van de structuur van eiwitten en eiwitcomplexen willen kijken dan moeten we ergens tussen de 1 en 5 nm zijn. Daarmee zouden we de geheimen van de functionaliteit van de betreffende eiwitten pas echt goed kunnen uitpluizen. Het moet dus nog beter dan super! Ruim 5 keer beter ongeveer.

Dit is wat ik de komende tijd wil bereiken, samen met onderzoekspartners in Delft en daarbuiten. De verwachting is niet dat er een zogenaamde "magical bullet" is, waarmee we de gewenste verbetering in een keer voor elkaar gaan krijgen. Het zullen veeleer een reeks aan technieken en methoden zijn, die deelproblemen oplossen, zodanig dat de optelsom van alle verbeteringen de gewenste factor van dik 5 oplevert.

Ik wil een zo'n techniek aanstippen, waarmee onze groep in Delft eerder dit jaar heeft aangetoond dat de super-resolutiemicroscopie 2x scherper gemaakt kan worden.

Het idee berust erop dat een fluorescent molecuul alleen licht uitzendt als het zelf belicht wordt. Standaard wordt hiervoor een uniforme uitgebreide lichtvlek gebruikt. Maar stel nu dat we een lichtvlek gebruiken die uit lichte en donkere stukken bestaat. Als we dan niks zien weten we zeker dat het molecuul zich in een van de donkere stukken bevond. Kortom, door niets te zien hebben we toch wat geleerd!

We gebruiken dit principe door de fluorescente moleculen te belichten met een heel fijn streepjespatroon, wat steeds verschoven wordt, en een reeks camera-opnames te maken tijdens de korte periode dat het molecuul in zijn lichtgevende aan-toestand is. Op de camera zien we nog steeds een lichtvlek, maar dan een waarvan de helderheid op en neer gaat naar gelang het streepjespatroon langs schuift. Door nu te kijken naar zowel het midden van de lichtvlekken als naar de variatie in de helderheid van de lichtvlekken kunnen we preciezer achterhalen waar het molecuul zich bevindt dan als we alleen naar het midden van een lichtvlek bij een uniforme belichting hadden gekeken, zoals voorheen.

Het blijkt dat je voor dit procedé 6 opnames nodig hebt: twee richtingen van de streepjes en drie verschuivingen per richting. Dit is lastig om uit te voeren, omdat het verschuiven en draaien erg snel moet, op de schaal van ms, en omdat het rekenwerk achteraf in de computer er ook niet eenvoudiger op wordt.

-Om te toetsen hoe goed onze nieuwe techniek werkt hebben we zogenaamde nano-meetlatten gebruikt. Dat zijn structuren die gemaakt zijn m.b.v. DNA-origami, een soort IKEA bouwpakketten op de nano-schaal die zo ontworpen zijn dat ze zichzelf in elkaar zetten. Een krachtig concept waarvan je kan hopen dat die ook op de macroscopische schaal ooit eens kan worden ingezet.

Deze meetlatten hebben drie lichtgevende puntjes, de inmiddels bekende fluorescente moleculen, die op een vaste afstand van in dit geval 80 nm onderdeel zijn van de nano-meetlat. We hebben deze structuren afgebeeld met de "standaard" super-resolutie techniek en met onze nieuwe methode. Elk stipje wat u ziet is een enkele lokalisatie: de bepaling van het middelpunt van de lichtvlek die we zien als zo'n lichtgevend molecuul in de aan-toestand staat. De spreiding van de puntjes is een maat voor de scherpte van de microscopische techniek. We zien dat die spreiding van de puntjes in de drie groepjes een stuk kleiner is. Volgens onze metingen een factor twee ongeveer, precies volgens verwachting!

Uiteraard hebben we het hier niet bij gelaten. We hebben ook ingewikkeldere structuren, in een biologische cel, afgebeeld. Voor de draadjes-structuur die u hier ziet, onderdeel van het zgn. cytoskelet, hebben we een soortgelijke verbetering gevonden. Echte toepassing op concrete problemen binnen de structuurbiologie en later de moleculaire geneeskunde liggen nog een stuk verder achter de horizon.

Om een tweede thema van mijn onderzoek uit te leggen grijp ik weer even terug op Vermeer. Het water op de voorgrond is de Kolk, ooit een uitgesleten bocht in de Schie. Hier echter ziet u de Oostpoort, en die staat helemaal ergens anders in de stad! Kennelijk vond Vermeer deze compositie, met bestaande elementen in een nieuwe, niet in het echt bestaande combinatie, interessanter dan een getrouwe weergave van de werkelijkheid. Hij maakte zo op weer een andere manier het onzichtbare zichtbaar.

Het brengt me ook op het spanningsveld tussen beeld en werkelijkheid. Hoe weet je nu wat echt is? Hoe kun je vast stellen of een beeld de werkelijkheid niet, een klein beetje of heel veel geweld aan doet? Ook binnen mijn tak van wetenschap, met alle nieuwe technieken, een heel relevante vraag. Immers, als we het onzichtbare zichtbaar hebben gemaakt dan zien we iets voor de eerste keer, dus hoe weet je dan of je echt iets ontdekt hebt of dat je jezelf voor de gek houdt omdat je misschien toch ergens een foutje hebt gemaakt? In de huidige tijd lopen de gemoederen hoog op in discussies over wat "fake" is of niet, in de wetenschap kunnen we hier objectieve analyses op los laten en komen we gelukkig dus een stap verder!

Om u daar iets over duidelijk te maken wil ik met u een klein kwisje doen. Ik wilde eerst het bekende spelletje petje-op-petje-af gaan doen, maar zoals u ziet zijn alleen de hoogleraren vooraan voorzien van een passend hoofddeksel, dus we gaan het een klein beetje anders doen. U moet het juiste antwoord raden, en u moet stemmen door of uw linkerhand of rechterhand op te steken. Maar eerst moet u allemaal gaan staan.

De vraag dus is wat het echte beeld is. Steek uw linkerhand op als u denkt dat het Einstein's viool is, of uw rechterhand als u denkt dat het Feynman's bongo is. [...]

Nu laat ik u zien wat goed was. [...]. Het juiste antwoord was dus rechts, Feynman's bongo. Als u het fout had mag u weer gaan zitten.

We gaan nu door met de categorie vrouwelijke wetenschappers die voor hun natuurkundig werk een Nobelprijs verdienden, maar hem niet hebben gekregen. Kies links voor Jocelyn Bell Burnell voor de ontdekking van pulsars, en rechts voor Lise Meitner, voor baanbrekend werk op het gebied van kernsplitsing. [...]

Nu laat ik u zien wat goed was. [...]. Het juiste antwoord was dus rechts, Lise Meitner. Als u het fout had mag u weer gaan zitten.

Voor de laatste vraag gaan we naar beroemde wetenschappelijke dieren. Kies nu links voor Schrödinger's kat, de kat die op een gekke manier zowel levend als dood is, of rechts voor Pavlov's hond, de hond die geconditioneerd was om te gaan kwijlen door een belletje omdat hij geleerd had dat er dan eten zou komen. [...]

Nu laat ik u zien wat goed was. [...]. Het juiste antwoord was dus links, Schrödinger's kat. Als u het fout had mag u weer gaan zitten. Als u het goed heeft mag u beide handen omhoog steken, want u hebt gewonnen. Proficiat voor het goede raden! U mag nu allemaal weer gaan zitten.

Het is u wel duidelijk wat de moeilijkheid was in dit spelletje, dat was de ruis. In mijn tak van wetenschap worden beelden gemaakt met bijzonder weinig licht. De plaatjes zijn dan ook enorm beperkt door het ruisniveau. Kennis van ruis, en hoe ruis doorwerkt in de computeralgoritmes die we gebruiken, is dus cruciaal om de uiteindelijke "computational imaging" beelden op waarde te kunnen schatten.

We hebben de invloed van ruis onderzocht op de beelden die gemaakt worden met de zogenaamde SIM-techniek, die ook berust op het gebruik van fijn gestreepte belichtingspatronen. Ik laat hier SIM-beelden zien van herhaalde reeksen opnamen van een eiwit in een "focal adhesion". Voor elke opnamereeks is het ruisprofiel net een beetje anders, dus de dingen die veranderen moeten het gevolg zijn van ruis. Als je kijkt naar het standaard SIM-beeld links dan zie je inderdaad blobjes verschijnen en verdwijnen. Die zijn dus nep. Rechts zie je een nieuwe manier om SIM-beelden te maken die ik heb bedacht die veel ongevoeliger is voor dit soort ruis-geïnduceerde artefacten.

We maken nu een stap van Feynman's bongo en zijn "room at the bottom", terug naar mijn "room at the top". Ik heb u nu uit de doeken gedaan wat ik daar doe, over mijn tak van wetenschap en techniek. Nu wil ik het met u hebben over hoe het er aan toe gaat, bij mij en bij mijn collega's die ook zo'n kamertje hebben, sommige wat hoger dan ik, sommige ook een etage lager.

In de publieke beeldvorming omtrent wetenschappers komt het idee achter dit beeld vaak naar voren. Een genie, een held, die in zijn eentje na een lange moeizame strijd de bovenste etage heeft bereikt en zo een alleenrecht heeft behaald op het goddelijke licht van de kennis van de wereld.

Het punt wat ik wil maken is dat wij als wetenschappers volop meedoen aan deze beeldvorming, en dat deze ik-cultuur een waarachtig begrip van het wetenschapsbedrijf, en mogelijkheden om die collectief beter in te richten, in de weg staat.

De werkelijkheid is dat samenwerking loont. Wuchty, Jones en Uzzi hebben de relatie onderzocht tussen team-grootte, gemeten naar het aantal auteurs op een wetenschappelijk artikel, en het belang van het werk, gemeten naar het aantal citaties. Ze vonden dat de teamgrootte is gestegen door de jaren (bovenste rij licht bruine lijntjes), maar dat de gemiddelde teamgrootte van beter dan gemiddeld scorende papers hoger is (bovenste rij zwarte lijntjes). De verhouding tussen het aantal citaties van teamwerk en het aantal citaties van solo-werk, is consistent groter dan 1. De gemakkelijkste manier dus om je citatiescore met een factor 2 te verhogen is dus door te gaan samenwerken.

Als je tegenwoordig rond neust op internet hoe wetenschappers en wetenschappelijke groepen zichzelf presenteren dan zie je duidelijke uitingen van de ik-cultuur. Zoals wel vaker onthult taalgebruik het onderliggende denken. Op de persoonlijke webpagina's van wetenschappers lijkt de presentatie van de wetenschapper als persoon meer aandacht te hebben dan de inhoud. Een wetenschappelijk staflid heet tegenwoordig dan ook "principal investigator", of kortweg PI. Een lab gerund door een wetenschapper wordt niet meer vernoemd naar de inhoud van het onderzoek maar naar de naam van de onderzoeker! Pietje-lab, Jantje-lab, Maria-lab.

Het codewoord hierbij is "zichtbaarheid". Kort door de bocht, poppetjes met het etiket "zichtbaar" die tellen mee, poppetjes met het etiket "onzichtbaar" niet. Het is dus zaak om snel te zorgen dat je zo "zichtbaar" mogelijk wordt. Zoals met alle simplificeringen van de werkelijkheid is dit vaak een nuttige distinctie, het is lekker overzichtelijk, en voor de zichtbare mensen is het wel zo gemakkelijk opereren binnen de academische constellatie.

Maar een simplificering is het. En daarmee ook een miskennis. Met name vind ik het een onderwaardering voor het cement van de academische gemeenschap: de ervaren Universitair Hoofd-Docent (UHD). Echte vakmensen, echte team-players, die veel van ons onderwijs en ons onderzoek vorm geven en verzorgen. Werk van onschatbare waarde. Dat met die zichtbaarheid, dat kan ik niet oplossen, ik kan wel mijn waardering uitspreken. Wat mij betreft is er voldoende "room at the top" in onze ivoren torens.

Een belangrijk element waarmee de ik-cultuur in stand wordt gehouden zijn de persoonsgebonden subsidies. Wetenschappers in verschillende stadia van hun carrière kunnen hierin meedingen om in een keer een groot bedrag te verdienen voor hun onderzoek, zeg 2 Meuro, waarvoor je anders 5 aparte projecten moet indienen en gehonoreerd zien te krijgen. Nationaal subsidiegever NWO doet dit via de zgn. vernieuwingsimpuls, waarvan de loketten veni-vid-vici heten, en heeft hier een omvangrijk beoordelingssysteem voor opgezet met een relatief lage a priori slagingskans voor de deelnemers. Het winnen van zo'n subsidie is zeer prestigieus, de winnaar wordt op het schild gehesen als het lokale genie, met bijbehorende publiciteit, waarmee de fictie in stand gehouden wordt dat wetenschap vooral het werk is van het geniale individu en niet van vooral samenwerking over grenzen van vaardigheden en kennisgebieden heen.

Het Rathenau instituut signaleert in haar rapport over het stimuleren van academische excellentie dat de verschillende instrumenten zijn doorgesloten, en vol staan van perverse prikkels. Ik noem er een paar. Er wordt 150 Meuro per jaar aan besteed door NWO, op een totaal budget van 500 Meuro, terwijl de aanvraagdruk bij open en thema-gebonden subsidieschema's immens en demotiverend is. Er is nogal wat overlap met de ERC subsidies van de EU. Het speelt een te grote rol in de carrièreontwikkeling en mogelijkheden voor beginnende wetenschappers in Nederland, de zgn. tenure trackers. De financiële afhankelijkheid van universitaire afdelingen van dit soort schema's is ook ongezond groot, en het belang en het prestige van deze subsidies bevestigen het vaak ongezonde primaat van onderzoek boven onderwijs in de universiteiten.

De vraag is: Hoe nu verder? De commissie van Rijn, die onlangs zijn licht heeft laten schijnen over de financiering van het hoger onderwijs, doet hier aanbevelingen over. De minister bespreekt die komende week met de kamer. Een aanbeveling van de commissie van Rijn is om de greep in de kas van voormalig minister van onderwijs Plasterk, die 100 Meuro van de universiteiten heeft overgeheveld naar het NWO, ongedaan te maken. Een goed plan, en ik stel voor dat dit niet een kaasschaaf wordt, maar een harde keuze: schaf het Veni-Vidi-Vici systeem in zijn geheel af. Van de 150 Meuro kan 50 Meuro gebruikt worden om de verschrikkelijke aanvraagdruk in de open en thematische subsidieschema's iets te verlichten, de andere 100 Meuro kan terug naar de universiteiten. Talentontwikkeling is onze taak, en we kunnen dit geld goed gebruiken om deze taak vorm te geven. Allereerst kunnen we onze startende wetenschappers niet een duwtje maar een flinke duw in de rug geven. Ik pleit er ook voor om een deel van het geld te besteden aan het stimuleren van verandering van onderzoeksveld van de bestaande wetenschappelijke staf. De wetenschap verandert zo snel dat het tegenwoordig niet denkbaar is om een hele wetenschappelijke carrière succesvol te kunnen zijn zonder af en toe het roer om te gooien. Op deze twee manieren, stimuleren van tenure trackers en career changers, kunnen we onze kweekvijver van academisch talent goed op peil houden.

We naderen nu het slot van mijn intreerede, het is tijd om te vertellen over het pad wat ik gevolgd heb, tijd ook om dankjewel te zeggen.

Dat ik nu hier voor u mag staan om dit verhaal te houden was niet mogelijk geweest zonder de bijdrage van heel veel mensen. Het is ondoenlijk om iedereen te bedanken voor het steuntje in mijn rug, maar enkele mensen die cruciaal zijn geweest voor mijn vorming wil ik er toch uit lichten.

Allereerst mijn ouders, myn Heit, myn Mem. Bedankt voor de genen. Nog meer bedankt voor de liefde, stabiliteit, en voor de acceptatie van wie ik ben, wat me meer dan wat ook gevormd heeft. Ik bin blyd en tyge grutsk dat jim dit nog mei meitsjen kenne. Het is niet vanzelfsprekend.

Ik heb ook leermeesters gehad. In Arnhem, waar ik opgroeide, heb ik veel geluk gehad met mijn natuurkundeleraar Joop Schaffers. In mijn studie en daarna mijn promotie in Nijmegen heb ik veel opgepikt van Ger Vertogen, mijn promotor. Ger is helaas dit voorjaar overleden, ik had zijn aanwezigheid vandaag heel fijn gevonden.

Mijn promotie op het gebied van vloeibare kristallen heeft me op het spoor gezet van technologie en toepassing. Mijn volgende stap was naar Eindhoven, naar het Philips Natlab.

Daar heb ik vele rolmodellen gehad: Coaches, zoals Jos van Haaren; leiders, zoals Henk van Houten; avonturiers, zoals Bob van Gemen, en uitvinders, zoals Karel Kuijk en Dick Broer. In hen herkende ik het plezier van nieuwe dingen bedenken, nog steeds een grote bron van vreugde.

Partners in het onderzoek, dat waren er heel veel. Van hen heb ik denk ik het meest belangrijke geleerd. Namelijk hoe ontzettend leuk en hoe ongelooflijk vruchtbaar samenwerken met anders-soortige mensen kan zijn. Samen doen heeft het beste in mij naar boven gebracht, en ik denk dat geen uitzondering ben, ik beveel het iedereen aan. Van al die mensen uit mijn Philips tijd wil ik er twee in het bijzonder bedanken. Dirk Vossen en Bas Hulsken zijn de pioniers van digitale pathologie in Philips. Die eerste stappen heb ik samen met hen mogen maken. Voor mij was het mijn slotakkoord bij Philips, het doet mij veel deugd dat dit prille begin zo'n grote vlucht heeft genomen binnen het bedrijf.

Iets meer dan 10 jaar geleden kwam ik naar Delft. Tijd voor meer wetenschap en techniek, ruimte voor mijn eigen koers. In die 10 jaar is deze omgeving me steeds meer als een jas gaan passen, en vandaar dat ik nu voor u sta. Ook hier heb ik veel te danken aan veel mensen.

Er is er een die daar bovenuit steekt. Bernd, dankjewel. Bedankt voor de wetenschap, en bedankt voor de lol vooral. Ik hoop dat ons team nog lang bij elkaar blijft.

De laatste tijd begeef ik me op het bestuurlijke vlak en voor mijn ontwikkeling in die richting heb ik ook rolmodellen gehad. Allereerst Lucas van Vliet, bedankt voor je welkom 10 jaar geleden, en bedankt voor de ruimte om mijn eigen koers te ontwikkelen en je steun daarbij. Het is nog steeds een plezier om met je te werken. Ook Rob Mudde, bedankt voor het vertrouwen en voor het goede voorbeeld in je interim jaar bij ons, ik heb daar ontzettend veel aan gehad.

En jullie ook: bedankt!

Tenslotte, Yvette, Karlijn en Evelien. Jullie zijn de spil van mijn leven. Dank jullie wel dat ik dat ook mag zijn in jullie leven.

We zijn bijna aan het eind. Veel van het gebruikte beeldmateriaal is niet van mezelf. Het hoort er dan ook bij om kort te laten zien waar ik het vandaan heb geplukt.

Nu ik hier ben, in mijn "room at the top", zal ik me inzetten voor mijn universiteit, voor de wetenschap en voor de maatschappij. Mijn visie op de academie en de samenleving wil ik ook uitdragen. Ik zal dat schaamteloos genuanceerd doen, maar ook, af en toe, en als het kan, ongezoeten.

Ik heb gezegd.