

Najaar
2023

Nikhef

Nationaal
instituut voor
subatomaire fysica

DIM ENS IES



CERN

Al zeventig jaar
een nauwe band
met Nederland

MAASTRICHT

Nikhef-partner
in deeltjes en
zwaartekrachtsgolven

Nikhef wil verschil maken

Nikhef concentreert zich op projecten in de subatomaire fysica waar de Nederlandse bijdrage het verschil kan maken. Dat komt naar voren in de nieuwe meerjarenstrategie die kort na de zomer is gepubliceerd. Het document beschrijft prioriteiten in het onderzoek voor de periode 2023-2028. Daarnaast bracht Nikhef de SEP-zelfevaluatie 2017-2022 uit.

Nikhef is een samenwerkingsverband van zes universiteiten en de institutenorganisatie van NWO op het gebied van de deeltjesfysica en astrodeeltjesfysica. Het is van oudsher betrokken bij grote internationale experimenten en projecten die de fundamente van het universum experimenteel en theoretisch proberen te doorgronden. De komende jaren blijft dat zo, maar ligt er ook een nadruk op innovatie en doorontwikkeling van de organisatie zelf.

Het strategiedocument schetst de inzet op vier thema's: kennis vergroten, technologie leveren, voorbereiden op de toekomst en bevorderen van gezonde samenwerking. De missie blijft onveranderd het doorgronden van het universum in termen van elementaire

deeltjes en fundamentele krachten. Het onderzoek strekt zich daarbij uit van het allerkleinste, de deeltjes, tot het allergrootste, het universum zelf. *Connecting the large and the small* is het motto.

Het onderzoeksprogramma blijft gericht op deelname in internationale experimenten, zowel op het gebied van data-analyse als instrumentatie, en op de theoretische fysica. Belangrijke onderzoeksthema's zijn het higgs-deeltje, quarks, neutrino's, donkere materie, kosmische straling en fundamentele eigenschappen van het elektron. Daarnaast is het onderzoek van zwaartekrachtsgolven steeds prominenter. In de analyses van de enorme hoeveelheden meetgegevens wordt de inzet van kunstmatige intelligentie en quantum-computers getest.

Voor de deelname in grote internationale samenwerkingen zijn en blijven Nikhef's groepen voor Mechanische, Elektronica en Computer Technologie doorslaggevend. Nikhef ontwerpt, bouwt en bedrijft onderdelen van grote detectoren en observatoria en neemt daarvoor nadrukkelijk verantwoording. Bijvoorbeeld in de Einstein

Telescope, een Europese detector voor zwaartekrachtsgolven in voorbereiding, of in nieuwe neutrino- en donkere-materieexperimenten in de VS. Nikhef doet ook intensief onderzoek naar nieuwe fast-timing detectietechnieken, nodig om in de toekomst deeltjesprocessen in versnellers live in tijd en plaats te volgen.

Ook voor de Nikhef-organisatie zelf zijn er nadrukkelijk ambities. Het instituut wil een open en diverse werkomgeving bieden, met aandacht voor zijn rol in de samenleving. Het gerenoveerde Nikhef-gebouw op Amsterdam Science Park wordt een sleutel in de *out-reach* naar jong talent, zakelijke partners en andere bezoekers. Daarnaast is het streven om zowel het onderzoek als de bedrijfsvoering in 2030 klimaatneutraal te maken.

De volledige (Engelstalige) Nikhef-strategie 2023-2028 is online te lezen op www.nikhef.nl/strategie, net als de Nikhef SEP-zelfevaluatie 2017-2022. Gedrukte versies zijn op aanvraag te verkrijgen.



Samen werken

Ongeveer tegelijk met dit nieuwe nummer van ons tijdschrift DIMENSIES verschijnt de nieuwe Nikhef-strategie 2023-2028, samen met een evaluatie over de afgelopen zes jaar. De hoofdzaken daarvan vindt u hiernaast. Nikhef, stellen we in alle bescheidenheid vast, is een nationaal wetenschappelijk samenwerkingsverband dat nadrukkelijk het verschil wil maken, nu en later. We dragen veel bij aan het onderzoek, en zijn een gewilde partner in het bouwen en runnen van bestaande en nieuwe experimenten, en in de theoretische fysica. Een sterk merk.

Een bijzonder verhaal in dit magazine illustreert deze kracht. Ons werk is altijd op het randje van wat we begrijpen en wat kan. Onvermijdelijk gaan daarbij soms dingen mis. Op CERN ging eerder dit jaar een cruciaal element van de LHCb-detector kapot. Pijnlijk. Maar in zo'n geval springen wetenschappers en technici van Nikhef ook direct bij om de problemen op te lossen. Betrokkenheid die internationaal gewaardeerd wordt wat ook blijkt uit een leidende positie van Nikhef-onderzoeker Marco van Leeuwen die we interviewden over zijn werk als *spokesperson* bij een van de grote experimenten in Genève, ALICE.

Die belangrijke rol spelen we als Nederlanders overigens al veel langer dan vandaag. Komend jaar bijvoorbeeld bestaat CERN zeventig jaar. Nederland is een van de grondleggers van het Europese deeltjeslab, en CERN is altijd dichtbij gebleven, lezen we ook in dit nummer.

In de reeks portretten van de zes universitaire Nikhef-partners bezoeken we ditmaal Maastricht, waar de universiteit in hoog tempo een natuurkundefaculteit met ambities optuigt. Met deeltjesfysica en zwaartekrachtsgolven als fundamente voor een stevige verbintenis.

Stan Bentvelsen, directeur Nikhef

Over Nikhef

Nikhef is het Nationaal instituut voor subatomaire fysica. Het instituut doet onderzoek naar de elementaire bouwstenen van ons universum, hun onderlinge krachten en de structuur van ruimte en tijd.

Nikhef zoekt naar antwoorden op de grote natuurkundige vragen van deze tijd. Uit welke fundamentele bouwstenen bestaat de wereld om ons heen? Hoe is ons heelal ontstaan? Wat zijn de grondbeginselen van de natuurwetten? Het onderzoek vindt plaats bij deeltjesversnellers als de Large Hadron Collider op CERN en met detectoren in de hele wereld voor kosmische deeltjes, donkere materie en zwaartekrachtsgolven.

Nikhef is een samenwerkingsverband op het gebied van (astro)deeltjesfysica tussen de institutenorganisatie van NWO en zes universiteiten: de Radboud Universiteit, de Rijksuniversiteit Groningen, de Universiteit van Amsterdam, de Universiteit Maastricht, de Universiteit Utrecht en de Vrije Universiteit Amsterdam.

Postbus 41882	Science Park 105
1009 DB Amsterdam	1098 XG Amsterdam
info@nikhef.nl	+31 (0)20 592 2000

DIMENSIES najaar 2023

REDACTIE

Martijn van Calmthout, Vanessa Mexner, Martine Oudenhoven, Melissa van der Sande

AAN DIT NUMMER WERKTEN MEE

Joan Berger (foto's), Harry Heuts (foto's), Marco Kraan (foto's), Gieljan de Vries (tekst)

ONTWERP EN VORMGEVING

Enchilada (ontwerp), &&studio (vormgeving)

OP DE COVER

Nikhef-onderzoeker Stefan Hild en PhD-kandidaat Luise Kranzhoff werken in het laserlab in Maastricht.
Foto: Harry Heuts

Golven en deeltjes in Maastricht

Aan de Universiteit Maastricht, de jongste partner binnen Nikhef, pionieren natuurkundigen op het gebied van deeltjes en zwaartekrachtsgolven.



Stefan Hild



Marcel Merk

Iedere maandagmorgen gaat Nikhef-onderzoeker en hoogleraar deeltjesfysica Marcel Merk naar zijn bakker vlakbij zijn *pied-à-terre* in Maastricht. Hij haalt er persoonlijk vlaai voor de groep. Geen beter begin van de week dan gebak, weet hij als geboren Maastrichtenaar. 'En een fijne manier om te onderstrepen dat we er weer samen tegenaan gaan', zegt Merk in zijn kantoor op het Duboisdomein aan de oost-oever van de Maas in Maastricht.

Zijn kantoor bevindt zich in de voor-

malige redactie en drukkerij van dagblad *De Limburger*. In dit gebouw aan de rand van de stad, huist onder andere de afdeling *Gravitational Waves and Fundamental Physics* (GWFP). Deze groep is onderdeel van de nog jonge Maastrichtse *Faculty of Science and Engineering*. De Universiteit Maastricht is sinds 2019 formeel partner van Nikhef, de zesde universiteit in het nationale samenwerkingsverband.

GWFP is daarvan het tastbare bewijs, met inmiddels tientallen kantoren en

nieuwe labruimtes met lasers en pompen. Verderop in het gebouw is een enorme cleanroom waar aan de ETpathfinder wordt gebouwd, een markante testfaciliteit voor zwaartekrachtsgolfdetectoren. Nikhef-onderzoeker Stefan Hild, hoogleraar in Maastricht, leidt de GWFP-groep. In het gebouw is ook nog het projectbureau voor de Einstein Telescope - Euregio Maas-Rijn (EMR) gevestigd.

Centraal ontmoetingspunt is een keukenhoek met een reusachtige tafel,

tientallen stoelen en een krijtwand vol formules en berekeningen. Haaks daarop hangen posterpresentaties van conferenties en andere publicaties. En op maandag is er dus vlaai.

Twee takken

GWFP kent letterlijk twee takken. De zwaartekrachtsgolven (GW) zijn Hilds domein, en verreweg het grootste onderdeel van de groep met ongeveer 25 stafleden, postdocs en promovendi. De

sectie fundamentele fysica (FP), het werkveld van Merk, houdt zich met een kleine tien mensen bezig met deeltjesfysica.

Marcel Merk is bij Nikhef programmeur voor LHCb, een van de grote internationale experimenten bij de LHC op CERN. Merk heeft van oudsher een kantoor in Amsterdam, waar het grootste deel van de groep zit. Maar hij is de laatste jaren zeker de helft van de week in Limburg. Om te bouwen aan de nog jonge groep daar. En om les te geven. ►



De ETpathfinder in Maastricht

Met de ondergrondse LHCb-detector proberen onderzoekers uit tientallen landen fundamentele verschillen te ontdekken tussen materie en antimaterie. Bij botsingen van protonen ontstaan zowel deeltjes als hun tegengestelde geladen antideeltjes, die in het magnetisch veld van LHCb elk hun eigen kant opvliegen. Nikhef is een belangrijke partner in het LHCb-project. Onderzoekers ontwerpen en bouwen mee aan verdere verbeteringen van de detector, en werken aan de analyse van de meetgegevens, met name van processen met beauty-quarks. Daarbij wordt zowel naar nieuwe natuurkunde gezocht, als naar betere analysemethodes. Theorie en experiment gaan daarbij hand in hand.

Maastricht is een universiteit die traditioneel gericht was op rechten en geneeskunde. Limburger Merk gaf er als vriendendienst jaarlijks een serie masterclasses over fundamentele natuurkunde, die behoorlijk in de smaak viel. ‘We raakten aan de praat over meer bèta-wetenschap voor Maastricht en ik nam de bestuurders een keer mee naar CERN. Machtig interessant vond men het, maar wat moesten ze met natuurkunde? Met DSM in de buurt zou chemie veel logischer zijn geweest.’

Dat veranderde toen een andere Nikhef-groepsleider met Limburgse roots, Jo van den Brand, in Maastricht begon te praten over zwaartekrachtsgolven. Hij zag voor zich hoe onder het dempende Limburgse löss een detector voor zwaartekrachtsgolven kon worden gebouwd. Een instrument van wereldklasse met misschien wel CERN-achtige allure. Zowel de universiteit als de provincie Limburg zagen kansen.

Zwaartekrachtsgolven

Nikhef is op dat moment al nauw betrokken bij internationale projecten om zwaartekrachtsgolven uit het universum te meten. Daarvoor zijn reusachtige kilometers grote meetinstrumenten nodig met ongekende precisie. Alleen die kunnen de minieme afstandsvariaties opmerken, veroorzaakt door ruimtetijdgolven die afkomstig zijn van botsende zwarte gaten ver weg in het heelal. Zowel op optisch als mechanisch gebied zijn de uitdagingen enorm. In 2015 zijn zwaartekrachtsgolven voor het eerst waargenomen, een eeuw nadat Einstein hun bestaan had voorzien. Sindsdien zijn zwaartekrachtsgolven en hun detectie *booming business* in de wetenschap.



Stefan Danilishin,
*Universitair hoofddocent
zwaartekrachtsgolven*

‘Al sinds mijn studietijd ben ik benieuwd of we het vreemde quantumgedrag van de allerkleinste deeltjes ook kunnen zien als we nauwkeurig genoeg naar normale voorwerpen kijken. Dan zou je bijvoorbeeld nieuwe meetonzekerheden krijgen als je de positie van een spiegel bepaalt door er een lichtdeeltje vanaf te ketsen.

Toen ik studeerde was dit effect volstrekt theoretisch, ver beneden de nauwkeurigheid die we experimenteel konden halen. Maar in de Einstein Telescope

gaat het meespelen. We moeten voor allerlei mogelijke ruisbronnen een oplossing vinden zodat we zwaartekrachtsgolven precies genoeg kunnen meten. Als dat lukt, kunnen we met de Einstein Telescope de meest extreme verschijnselen van de algemene relativiteitstheorie testen en misschien zelfs een glimp opvangen van nieuwe natuurkunde daar voorbij.

De sfeer in onze groep is goed, ik zou ’m *humaan* noemen. Er is weinig formele hiërarchie, we zijn geïnteresseerd in elkaars meningen en betrokken bij elkaars werk. Dat is belangrijk, want hoeveel ervaring je ook opdoet, je kunt altijd van anderen leren.’



Keri Vos,
*Universitair docent
LHCb- en Theorie-groep*

‘Ik werk als theoreet nauw samen met experimentalisten. Je moet praten over wat de een kan berekenen en de ander kan meten, zodat je ideeën niet ongelezen in een kast belanden.

Mijn onderzoek in de LHCb-samenwerking gaat over CP-schending, het mechanisme waardoor de natuur een voorkeur heeft voor materie boven antimaterie. In mijn onderzoek probeer ik de theoretische voorspellingen van het Standaardmodel zo scherp mogelijk te krijgen. Zo weten we hoeveel van die voor-

keur we al kunnen verklaren, wat weer helpt om te achterhalen wat er mist in ons huidige begrip. Zo zijn er meerdere puzzels in de deeltjesfysica, waarbij het experiment niet overeenkomt met de theorie. Spannend, want dat kan wijzen op nieuwe deeltjes of een nog onbekende natuurkracht.

Dankzij mijn Vidi-beurs kan ik nu eigen mensen aannemen. Begeleiden, mentoren en zorgen dat we een langlopende onderzoekslijn opbouwen, wie weet zelfs met samenwerkingen buiten de deeltjesfysica. Ik kijk ernaar uit!’



De energieke Duitser Stefan Hild werd in 2019 van Glasgow University naar Maastricht gehaald om er een onderzoeksectie *Gravitational Waves* op te zetten. Dat is inmiddels zo goed gelukt, dat hij zich soms wat zorgen maakt over de

stortvloed aan werk die hij en zijn mensen aantrekken.

Hild, inmiddels ook programmaleider van de zwaartekrachtsgolvgroep voor heel Nikhef: ‘We konden met een schone lei beginnen en haalden de allerbeste

mensen binnen, die al snel allerlei subsidies verwierven bij NWO en in Europese onderzoeksprogramma’s. Mensen met vooraanstaande rollen ook in grote projecten als LIGO en Virgo en de voorbereiding voor de Einstein Telescope.



Viola Spagnuolo,
*PhD-kandidaat
zwaartekrachtsgolven*

‘De natuurkundegroep in Maastricht was net nieuw toen ik daar begon. We moesten alles zelf organiseren, tot de inrichting van de optische labs aan toe. Dat kostte tijd, maar was ook heel leerzaam.

Een deel van mijn werk gaat over de materialen titania-silica en titania-germania. Dat zijn mogelijke nieuwe coatings voor de spiegels van de huidige zwaartekrachtsgolfdetectoren LIGO en Virgo. Dat onderzoek ik samen met onze partners in Glasgow.

Toen ik aan mijn promotie begon, was ons project ongeveer het enige dat aan deze coating werkte. De resultaten waren zo interessant, dat allerlei grote labs op het gebied van zwaartekrachtsgolven er nu ook onderzoek naar doen. Ik vind het prachtig om te zien dat een simpel promotieonderzoek zoveel gevolgen kan hebben.’



Davide Nicotra,
*PhD-kandidaat
LHCb-groep*

‘Mijn promotie gaat over het analyseren van deeltjesbotsingen in de LHC. Ik ben nu op zoek naar sporen van het verval van een B-meson in twee elektronen. Dat verval is volgens het Standaardmodel zo zeldzaam, dat we het statistisch gezien in de hele levensduur van de LHC nooit zouden moeten zien. Vinden we er wel sporen van, dan hebben we een aanwijzing voor nog onbekende fysica die het verval beïnvloedt!

Het beter begrijpen van de deeltjesbotsingen in de LHC is

Geweldig natuurlijk, maar ook een zware opgave als je nog gewoon aan het opbouwen bent. Labs, faciliteiten, technische ondersteuning, alles is nog steeds pionieren in een omgeving die niet echt gewend is aan ons soort behoeften.’

Bètagebouw

Veel van dat onderzoek vindt plaats in de laboratoria in het bètagebouw. Labruimtes met “PAS OP LASER” op de deur, en binnen optische tafels vol lenzen, lichtbronnen en spiegels. Oscilloscopen met groene signalen, zoemende pompen. Hier wordt, met binnengehaalde subsidies, gewerkt aan nieuwe coatings voor spiegels, nieuwe ophangingen, nieuwe controlemechanismen en ruisonderdrukkers. Allemaal potentiële verbeteringen of zelfs doorbraken voor de zwaartekrachtsgolfdetectoren van de toekomst. Naast al het technische onderzoek doet de groep ook onderzoek naar de Algemene Relativiteitstheorie, Einsteins beschrijving van de zwaartekracht.

In een vleugel van het gebouw op het Duboisdomein is de ETPathfinder zo ongeveer het symbool van de Maastrichtse voortvarendheid met zwaartekrachtsgolfdetectie. In een enorme helderwitte

sowieso interessant. We doen dat door de beweging van brokstukken door de detector terug te rekenen naar de originele botsing. Ik heb een project gedaan over quantumcomputers, omdat die zulke rekenvraagstukken beter aan zouden moeten kunnen dan bestaande computers.

Ik voel me vanaf dag 1 thuis in deze groep. Zowel de promovendi en postdocs in Maastricht als de LHCb-collega’s in Amsterdam zijn fantastisch om mee te werken. Sowieso helpt Nikhef’s systeem van *topical lectures* en zomerscholen om een goede band te krijgen met je medestudenten.’



cleanroom in de voormalige papierhal staan in een haakse hoek metershoge metalen vacuümtorens die met stalen tunnels verbonden zijn. Voormalig EU-commissaris Frans Timmermans, tegenwoordig politicus in Nederland, keek er vorig jaar tijdens een bezoek bewonderend over uit.

Testfaciliteit

Hild noemt ETPathfinder een testfaciliteit voor technieken die in toekomstige detectoren voor zwaartekrachtsgolven gebruikt moeten gaan worden. De behuizing staat, aan de instrumentatie met lasers en trillingsvrije spiegels wordt nog

druk gewerkt, met veel hulp van Nikhef-groepen in Amsterdam.

Een uniek instrument in de maak, zegt Hild over ETPathfinder. Niet omdat het zwaartekrachtsgolven gaat meten, want daarvoor is deze wegbereider veel te klein. ‘Wat we vooral gaan doen, is laten zien dat innovaties in samenspel tot een beter resultaat leiden. Onderzoekers concentreren zich vaak op een nieuwe baanbrekende component. Wij kunnen testen of de verbetering goed genoeg zal zijn voor de hoge eisen van de Einstein Telescope als geheel.’

Die Einstein Telescope wordt een ondergronds complex van tien kilometer

lange tunnels waarin laserstralen afstanden tussen spiegels in de hoeken en variaties daarin registreren als er een zwaartekrachtsgolf passeert. Een reus-achtig instrument, diepgekoeld, in vacuüm. Het project staat op de Europese ESFRI roadmap, nog niet gebouwd maar meer dan alleen papier.

Onder meer Nederland werkt aan een locatievoorstel, net als Italiaanse en mogelijk ook Duitse groepen. Beoogd is een locatie in de grensregio met België en Duitsland. Het Nederlands-Belgisch-Duitse *bidbook* moet over enkele jaren klaar zijn, is de prognose. Daarvoor zijn technische studies nodig, en uitgebreide verkenningen van de geologie van de ondergrond. Het Nationaal Groeifonds investeerde tientallen miljoenen in de voorbereidingen, en reserveerde bijna een miljard voor als het project op termijn in de grensregio landt.

Het projectbureau Einstein Telescope - EMR is geen onderdeel van de GWFP-groep, maar heeft wel een groot kantoor in hetzelfde gebouw in Maastricht. Nikhef is nauw betrokken bij de voorbereiding van de Einstein Telescope en Nikhef-directeur Stan Bentvelsen is vrijwel elke maandag in Maastricht. Dat is om allerlei redenen prettig. De expertise van Hild en zijn ploeg



is zo altijd om de hoek. En omgekeerd maakt het de afstand tot de Nikhef-groepen in Amsterdam gevoelsmatig ook meteen veel kleiner, zegt Hild.

Voor deeltjesfysicus Marcel Merk, met thuisbasis Amsterdam, speelt dat gevoel minder, zegt hij. ‘De fysieke afstand is soms lastig, maar in mijn beleving vormen we als LHCb hoe dan ook een landelijke community. We werken voortdurend samen aan analyses en experimenten. Waar je zit is voor ons niet zo belangrijk. Allemaal even ver van CERN, zeg maar.’

Quantumcomputing

Op persoonlijk niveau, zegt Hild, is er tussen de deeltjesfysici en de zwaartekrachtsgolvenexperts in Maastricht zeker belangstelling voor elkaars vakgebied. Maar afgezien van de keukenhoek is er nog niet echt een inhoudelijk snijvlak, vindt hij. ‘Het zijn echt heel verschillende disci-

plines met heel eigen instrumenten. En iedereen heeft het knetterdruk met projecten en onderzoek.’

Er is eigenlijk maar één heel duidelijk raakvlak tussen beide groepen, zeggen zowel Hild als Merk: quantumcomputing. Zowel in de deeltjesfysica als de detectie van zwaartekrachtsgolven gaat het om reusachtige hoeveelheden meetgegevens. En met meer intensiteit in de LHC-versneller in Genève, en grotere en veel gevoeliger instrumenten als de Einstein Telescope, kunnen conventionele computers dat in de toekomst niet meer aan. Quantumcomputers kunnen dat wel doordat ze niet met afzonderlijke enen en nullen rekenen, maar met qubits, eenheden die tegelijk 1 en 0 zijn. Daardoor kunnen ze talloze berekeningen tegelijk doen en sneller antwoorden geven dan klassieke computers.

Althans op papier. Of quantumrekenen

in de praktijk kan helpen om deeltjes-sporen te reconstrueren uit detectorsignalen, of zwaartekrachtsgolven uit massieve hoeveelheden ruis te vissen, is nog ongewis. Drie jaar geleden benaderde computerfirma IBM, actief in quantumcomputing, Maastricht met het voorstel het samen uit te zoeken.

Sindsdien werken met geld van IBM twee postdocs en enkele promovendi aan het project, dat onlangs een eerste *paper* opleverde. Met goed nieuws: er zijn quantum-algoritmes die sneller deeltjes-sporen vinden dan gewone computers. Marcel Merk: ‘Quantumcomputing is naar mijn idee nog steeds een oplossing die naar de juiste problemen zoekt. Maar dat zouden dus zomaar precies onze problemen kunnen zijn.’

Ook op een heel andere manier is Nikhef in Maastricht betrokken bij computing. David Groep van de computer-datagroep van Nikhef werd vorig jaar aan de bètafaculteit benoemd tot bijzonder hoogleraar. Dataprocesing wordt steeds belangrijker in de wetenschap. Dat vergt een solide infrastructuur en goede samenwerking en organisatie, inclusief veiligheid, die David Groep helpt op te zetten. Precies de onderwerpen waarin Nikhef internationaal een naam hoog te houden heeft.



Yuefan Guo,
Postdoc
zwaartekrachtsgolven

‘Mijn onderzoek gaat over quantumeigenschappen van de lasers voor de Einstein Telescope. Op een van de frequenties die we willen gebruiken zijn er nog geen lasers met de benodigde stabiliteit, dus maken we die zelf door lichtdeeltjes van lasers die wel stabiel zijn om te zetten naar de juiste frequentie.

Zwaartekrachtsgolven vind ik al interessant sinds mijn masteropleiding in Beijing. Het is een klein veld waarin je makkelijk samen kunt werken: zo kwam ik in Australië en Tokyo terecht, en

nu hier in Maastricht. Een leuke kleine stad, je fietst zo van de rustige buitenwijken naar het centrum en de universiteit. De sfeer in de groep is goed, met een platte organisatie. Er is veel vriendelijke discussie en er wordt altijd naar je mening geluisterd.

Het is wel interessant dat natuurkunde nog zo nieuw is aan deze universiteit. Daardoor hebben we nog geen eigen werkplaats. Geen probleem: we hadden laatst een afspraak met de technici van het academisch ziekenhuis, die opstellingen voor ons kunnen maken!’



Jacco de Vries,
Universitair docent
LHCb-groep

‘Ik onderzoek zeldzame deeltjes-ervallen met de LHCb-detector, omdat die een heel duidelijk teken zijn van nog onbekende natuurkunde. Mijn bijdrage is data-analyse met computers, en het zijn nogal zware rekenklussen om dit soort processen te voorspellen. Daarom werken we ook samen met de afdeling computerwetenschap.

Wat me heel interessant lijkt is als we ooit quantumcomputers in kunnen zetten voor onze berekeningen. Die hebben in theorie een stuk minder rekenstappen nodig dan bestaande computers.

Vandaar onze samenwerking met IBM. Zij ontwikkelen quantum-apparatuur en -algoritmes, wij hebben een praktisch vraagstuk om aan te werken. Zo stimuleer je elkaar.

Maastricht is een interessante omgeving. Ik kwam hier 5,5 jaar geleden om de natuurkunde-opleiding vorm te geven met Gideon Koekoek. Er is veel ruimte om je eigen pad te kiezen. En de streek is heel bourgondisch natuurlijk! Ook al ben ik van oorsprong een nuchtere Fries, het bevalt me hier prima.’



Luise Kranzhoff,
PhD-kandidaat
zwaartekrachtsgolven

‘Als PhD-kandidaat werk ik aan het controleren van ruis in de Einstein Telescope. De technologie daarvoor wordt zo gevoelig, dat we rekening moeten gaan houden met nieuwe vormen van meetruis waar andere opstellingen geen last van hebben. Daarnaast gebruik ik samen met een industrie-partner ervaring uit mijn masterproject om mechanische trillingen te dempen in de dunne aansluitingen waarmee we de spiegels van de detector koelen.

Het is mooi hier rond Maastricht. Ik kom uit het vlakke

Noord-Duitsland, dus ik vind het leuk dat het hier een beetje heuvelachtig is. De universiteit is interessant, met een brede bachelor. Die brede interesse had ik zelf ook, maar ik heb toch voor pure natuurkunde gekozen. In je eerste jaar krijg je dan wel veel pittige wiskunde, maar daardoor kun je ook complexe natuurkundige vragen aan. Hier is die wiskundige basis anders en moeten we onze manier van lesgeven aanpassen, wat weer nieuwe invalshoeken geeft.’



Sebastian Steinlechner,
Universitair docent
zwaartekrachtsgolven

‘Toen ik 18 was, dacht ik dat ik de IT in zou gaan. Dat plan ging het raam uit tijdens een schoolreis naar de Duitse zwaartekrachtsgolfdetector GEO600, vlakbij mijn ouderlijk huis. Dit was veel interessanter!’

Mijn specialisme is quantumoptica, waarbij je licht tot op het quantumniveau probeert te beheersen. Dat blijkt erg nuttig voor zwaartekrachtsgolfdetectoren. Zo hebben onze lasers last van ‘shot noise’, waardoor de lichtdeeltjes niet gelijk verdeeld

aankomen. Met ‘light squeezing’ kun je die wanorde tegengaan. En dat moet, want anders gaan de gevoelige spiegels trillen van de oneffen inslagen. In ons testlab ETPathfinder willen we dit soort technieken doorontwikkelen voor de Einstein Telescope. Ik heb net een Vidi-beurs gekregen om daar werk van te maken.

Niet iedereen bij de universiteit snapt al waar ons onderzoek goed voor is; fundamenteel onderzoek is zo specialistisch, dat vermarkt je niet zomaar. Daarom vind ik het mooi dat er zo’n interesse is voor onze natuurkundecolleges aan de bachelorstudenten. De volgende stap is een masteropleiding om eigen onderzoekers op te leiden!’



Spokesperson van ALICE

Nikhef-fysicus *Marco van Leeuwen* is drie jaar lang spokesperson van ALICE, een van de grootste experimenten op CERN in Genève.
‘Ik ben de voorzitter, maar niemands baas.’

Eigenlijk, zegt Marco van Leeuwen van achter zijn bureau op CERN, is er haast geen mooier moment denkbaar om *spokesperson* van ALICE te mogen zijn dan nu. De detector is de afgelopen jaren sterk verbeterd, en blijkt het voorbeeldig te doen. En als er dit najaar scherper dan ooit echt naar botsende loodkernen wordt gekeken, is de kans groot dat een paar langlopende vragen over quark-gluonplasma's beantwoord gaan worden. ‘We kijken met zijn allen reikhalzend uit naar de eerste data.’

ALICE is gebouwd voor het bestuderen van druppels oermaterie, die ontstaan als zware atoomkernen met de LHC op elkaar worden geschoten. In totaal werken er zo'n tweeduizend fysici en technici aan het project, afkomstig uit veertig landen. Een van de landen is Nederland, met een grote Nikhef-groep in Utrecht.

Van Leeuwen, afkomstig uit Utrecht na een opleiding in Delft, werkt al zijn hele onderzoekscarrière met verschillende experimenten aan het quark-gluonplasma, en is sinds 2005 verbonden aan ALICE. Hij was enkele jaren geleden al *physics coordinator* bij ALICE, de persoon in het experiment die het onderzoeksprogramma bewaakt, van de analyses tot de publicaties en presentaties op conferenties.

Wat doet een spokesperson precies?

‘Dat is tweeledig. Binnen het experiment ben je de voorzitter, het aanspreekpunt, de organisator, de persoon die het geheel in de gaten houdt, die bijvoorbeeld de periodieke reviews voorbereidt, die de boel gaande houdt. Naar buiten toe ben je het contact voor andere experimenten, voor onderhandelingen met CERN over bundeltijd, voor groepen die willen gaan meedoen, voor geldschietters, voor landen.’

Maar nadrukkelijk geen directeur?

‘De *spokesperson* wordt geselecteerd met verkiezingen, de groepen in het samenwerkingsverband hebben me het vertrouwen gegeven om dit te doen. Maar het blijft een samenwerking, dus ik ben niet echt de baas, meer een voorzitter. Je kunt richting geven, of prioriteiten aangeven, maar elke groep heeft een eigen groepsleider, dus mijn beslissingsmacht is beperkt. Wat spokesperson bijna nooit betekent is dat je wetenschappelijk nieuws naar buiten brengt. Dat kunnen de fysici in het samenwerkingsverband heel goed zelf.’

Hoe is het om spokesperson te zijn?

‘Ik ben net begonnen, dus op sommige vlakken moet ik ook nog zien wat de functie inhoudt. Je leert continu en het mooie is dat je in deze functie in contact staat met alle delen van een geweldig experiment. Als onderzoeker is je blik vaak beperkt tot je eigen specialistische onderwerp, dat is logisch. Nu zie ik pas echt waarom een experiment als ALICE kan werken. En hoeveel werk het voor heel veel mensen is.’

Dat klinkt ook als dag en nacht vergaderen.

‘Het is zeker veel vergaderen en praten. Ik probeer dagelijks een uur in te ruimen om zelf emails te beantwoorden, en om na te denken over waar we heen moeten. Mijn hoofd loopt wel eens over maar niet buitensporig.’

En je eigen onderzoek?

‘Daar kan ik kort over zijn. Ik kom niet toe aan data-analyses, mijn specialisme. Mijn eigen onderzoek ligt vrijwel stil; ik vergader nog wel een uur in de week met de drie promovendi die ik deels blijf begeleiden. Op die manier zie je toch nog wel wat fysica. Helemaal zonder is niet gezond.’

Het valt niet tegen?

‘In tegendeel, het is leuk. Ook omdat het behoorlijk goed gaat met ALICE. We hebben een grote upgrade achter de rug, met nieuwe hardware, nieuwe software voor data-verzameling en analyses. Dat brengt altijd wat kinderziektes met zich mee, waarbij veel geoptimaliseerd en aangepast moet worden, maar ALICE doet het uitstekend. We hebben onze *computing power* zelfs nog moeten uitbreiden omdat er meer data uit de detector komen dan verwacht. Heel bijzonder.’

Wat is er aan ALICE verbeterd?

‘Heel veel, maar de essentie is dat we in principe geen *events* meer hoeven weg te gooien. We registreren alles. Daarnaast is de precisie beter, met name door de nieuwe ITS (Inner Tracking System), de binnenste detector waarin veel werk van Nikhef zit.’

De LHC laat vooral protonen botsen. Botsende loodkernen zijn er maar een paar weken per jaar.

‘Sterker nog, eind vorig jaar is de zware-ionenrun helemaal geschrapt vanwege de hoge energieprijzen door de oorlog in Oekraïne. Wel met de belofte dat

we dit najaar wel aan de beurt zijn. Een lek in de isolatie van een magneet na een elektrisch probleem in de versneller heeft afgelopen zomer de protonbundels een tijdlang stilgelegd. Dat is nogal een tegenvaller, vooral voor de experimenten die vooral protonbotsingen bestuderen zoals ATLAS en LHCb, maar de zware-ionenrun gaat dit jaar gelukkig door. Daar doen ATLAS en LHCb overigens ook aan mee.’

Wat moeten de metingen met de verbeterde detector brengen?

‘Een van de vragen die we hebben is hoe zware quarks zich door het plasma heen bewegen. Net als lichte quarks, of is er een massa-effect? Daarnaast gaan we voor het eerst rechtstreeks de temperatuur van het plasma meten. Dat is altijd indirect met fotonen gemeten en we denken dat een temperatuur van 450 MeV wordt bereikt in de botsing (5 biljoen graden – red.). Maar dat is deels extrapolatie. Nu gaan we zien of onze modellen kloppen. In feite kunnen we pas dan ook echt zeggen dat er sprake is van een plasma van quarks en gluonen.’

Zijn dat uitkomsten die je meteen ziet?

‘Nee. Als de metingen beginnen zien we wel meteen of de detector het veel beter doet. Maar wat de meetgegevens ons vertellen is een kwestie van een lange adem. Misschien hebben we zelfs de run van 2024 ook nodig voor goede conclusies.’

Sommige deeltjesfysici vinden de studie van botsende loodkernen vaak een beetje hocus pocus.

‘Ik heb wel eens de indruk dat wij vaker aan onze collega's moeten uitleggen wat we ook alweer aan het doen zijn, dan omgekeerd. Maar dat is niet heel gek. In de deeltjesfysica ligt de nadruk op het zoeken naar nieuwe deeltjes, ofwel direct, ofwel via nauwkeurige metingen van interacties. Meestal gaat het daarbij om interacties tussen twee of drie deeltjes. Wij bestuderen het gedrag van een bijzondere vorm van oermaterie, waarin heel veel deeltjes tegelijk een rol spelen. Er is overlap, maar het is niet hetzelfde.’

Een ander soort natuurkunde?

‘Het is allebei natuurkunde, maar zelf kan ik me gewoon meer voorstellen bij botsende loodkernen. Dat is iets persoonlijks. De velden en symmetrieën in de deeltjesfysica zie ik minder makkelijk voor me.’

Hart voor de zaak

Nikhef bouwde het hart van de LHCb-detector. En herbouwt het, nu het stuk is.

Het is zomer op Nikhef. De cabine-deuren van de grootste freesmachine in de mechanische werkplaats zijn wagenwijd opengeschoven. Binnen wordt gewerkt aan de koelvloeistoftoevoer. Er liggen blauwe slangen. Koppelstukken. En op het gereedschapskarretje ligt de vuistdikke handleiding, voor als er iets moet worden nagezocht.

De DMG DMF260 CNC-freesmachine is een gevaarte zo groot als een halve tram, en het imposante pronkstuk van de afdeling Mechanische Technologie (MT) van het instituut. Het apparaat kan met extreme precisie op commando werkstukken uit metaal frezen. Zonder dat er onderweg een mensenhand aan te pas komt, behalve voor het programmeren.

Maar deze zomerweken al even niet. Eerder bleek er een probleem met een van de meterslange linealen in de machine.

Die is vervangen, maar inmiddels bleek ook de koeling defect. Daarvoor is net een oplossing gevonden, zegt instrument-maker Stan Heijnen van de MT. Hij heeft de aanpassingen zelf gemaakt.

Samen met zijn collega Espen de Wit is Heijnen sinds het voorjaar bezig met een belangrijke klus: een nieuw onderdeel maken voor de LHCb-detector op CERN dat bij een incident in januari onherstelbaar beschadigd raakte.

In het midden van de freesmachine ligt de eerste aanzet van het betreffende onderdeel al te glimmen. Een wigvormige metalen box van ruim een meter lang met op de zijkanten een patroon van ribben. Nog lang niet het eindproduct. Maar dat het begin er al was, toen de problemen met de freesmachine opdoemden, is eerlijk gezegd wel prettig, zegt Espen de Wit. 'We zijn aan de slag, dat is voor iedereen duidelijk.'





Het glimmende onderdeel is de zogeheten RF-box voor de VELO-detector (de *VErtex LOcator*) van het LHCb-experiment op CERN. De aluminium box is bedoeld om deeltjessensoren vlakbij de botsende protonen in de LHC te kunnen schuiven, zonder dat die in het versnellervacuüm moeten staan. De wanden ervan zijn nog geen halve millimeter dik, reden dat de experts het liever een folie noemen dan een box. De eisen aan de afmetingen zijn extreem.

Vooraanstaande rol

Nikhef heeft al jaren een vooraanstaande rol in LHCb. Nederland ontwierp en bouwde intensief mee aan de VELO en nog een aantal nieuwe onderdelen van de detector, die tijdens de upgrade van 2019-2022 geïnstalleerd werden. In de freesmachine in Amsterdam werden daarvoor vijf aluminium RF-boxen gemaakt, steeds opnieuw uit een massief blok van 325 kilo speciaal aluminium. Het grootste deel daarvan belandde gaandeweg als

“Het fysicaprogramma van LHCb is momenteel ernstig beperkt.”

Wouter Hulsbergen

metaalspanen in een kist voor recycling.

De best gelukte twee Amsterdamse RF-boxen werden in 2020 op CERN in de VELO gezet en in de detector geplaatst, in weerwil van strenge corona-restricties. Deels door Nikhef-technici via een video-verbinding begeleid. In oktober 2022 schoven LHCb-operators de twee helften van de nieuwe VELO voor het eerst zo dicht mogelijk om de bundel. Dat was nagelbijten, maar het ging goed en het inregelen van het nieuwe meetinstrument kon daarna beginnen.

Tot de eerste week van 2023. De versneller op CERN had een winterstop, en dus was er ook gelegenheid voor onderhoud en inspectie bij de experimenten. Daarbij wordt de detector deels naar kamertemperatuur opgewarmd. Ook bij de VELO in LHCb.

En daar ging het vreselijk mis. Inmiddels is in detail uitgezocht wat er gebeurde, van een uitgevallen koelmachine tot een drukregelsysteem dat te langzaam reageerde, en een veiligheidsklep die na kortsluiting niet werkte. Nikhef-LHCb-fysicus Wouter Hulsbergen was er die dagen niet bij, maar zag het slechte nieuws op zijn telefoon binnenkomen. Foute boel, wist hij.

Het resultaat was dat de gasdruk veel hoger opliep dan ooit de bedoeling was, waardoor de delicate metalen wanden van de RF-boxen naar buiten werden gedrukt. De vervormingen zijn blijvend, waardoor ze niet meer nauw om de bundel kunnen sluiten.

Het is volgens Hulsbergen nog een geluk bij een ongeluk dat de folies alleen naar buiten zijn vervormd. Een deuk naar

binnen zou vermoedelijk de tientallen delicate siliciumsensoren totaal hebben vernield.

Maar de vervormde VELO kan in elk geval niet meer dicht. Waarmee, zegt Hulsbergen, serieuze wetenschap met LHCb onmogelijk werd. ‘Het *physics program* is momenteel beperkt en wat we doen is minder precies dan je zou willen’, zegt hij. ‘Dit is een enorm probleem. Maar vooral een reden om zo snel mogelijk weer aan de slag te willen.’

Nieuwe RF-boxen

Er wordt in het vroege voorjaar besloten om de gehavende VELO op termijn uit de LHCb-detector te halen en de vervormde RF-boxen te vervangen door strakke nieuwe. Daarbij wordt automatisch gekeken in de richting van Nikhef. Aan het incident kunnen de Nederlanders weliswaar niks doen, maar ze kennen VELO en zijn RF-folies natuurlijk als hun broekzak.

En Nikhef springt bij. Nog voordat alle details van het incident en de benodigde reparaties zijn opgehelderd, bieden de Nederlanders aan om nieuwe RF-boxen voor de VELO te maken. Hart voor de zaak tonen, dat is op zo’n crisismoment belangrijk, vindt de directie. Inspringen laat zien wat je als Nikhef waard bent.

Hulsbergen wordt projectleider voor de klus, hij krijgt in de werkplaats meteen ruim baan en twee technici. De instrumentmakers bestuderen nauwgezet de originele tekeningen van de RF-boxen en de benodigde computerprogramma’s voor de freesmachine.

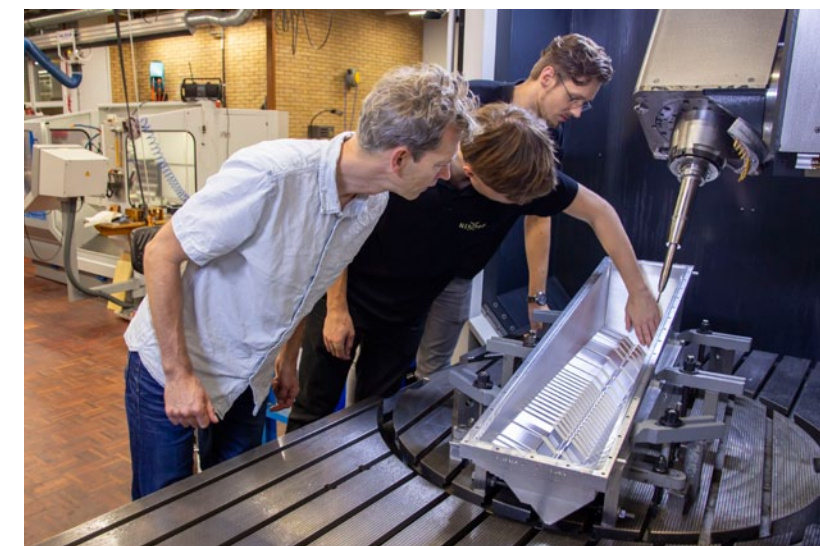
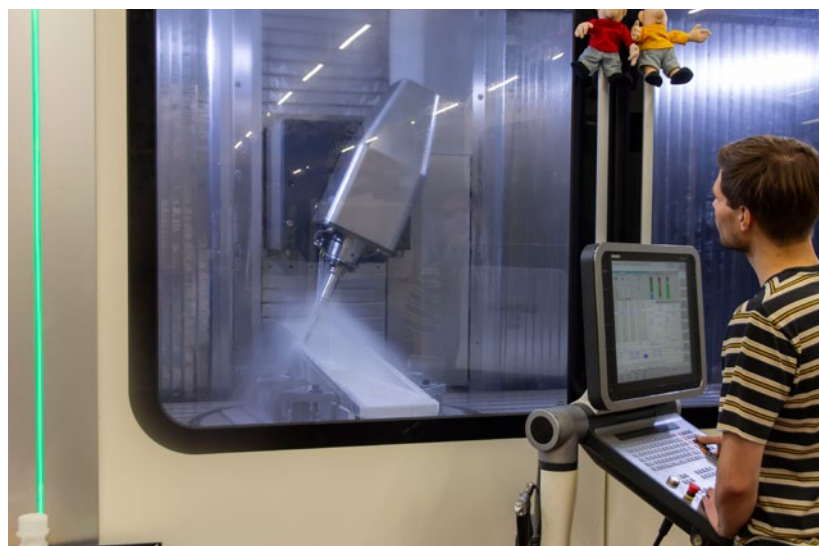
Ze halen voor overleg zelfs hun oud-

collega Willem Kuilman naar Nikhef, de man die destijds de vijf RF-folies maakte en nu met pensioen is. Willems ervaring is goud waard, is het idee. Ze gaan aan de slag met twee blokken aluminium, en binnen enkele weken staat de eerste ruwe box in de freescabine.

Het begin van een jaar werk, is de inschatting dan. Besloten wordt om de VELO te repareren met twee van de drie RF-boxen die Nikhef al eerder maakte, en die al in reserve waren. Dat zal al met al sneller gaan dan wachten tot er helemaal nieuwe RF-boxen beschikbaar zijn. Hulsbergen en zijn team richten zich op twee nieuwe reserveboxen voor LHCb.

Inmiddels is de reddingsactie voor de LHCb-VELO op gang. Die operatie, zegt Hulsbergen, is wel nog een verhaal op zich. De VELO is ooit ontworpen om bij de montage naadloos in het hart van de LHCb-detector te passen. ‘Dat is een balanceeract, die heen relatief makkelijk is en terug erg lastig.’ LHCb-collega’s studeren nu op extra gereedschap om de reddingsactie toch uit te voeren. Die operatie gaat in november van start en wordt naar verwachting in januari afgerond.

Op Nikhef worden zo snel mogelijk twee nieuwe reserve RF-boxen voor LHCb gemaakt. De verleiding om meteen nog wat technische verbeteringen in het ontwerp aan te brengen, zeker nu er wat meer tijd is, heeft men weerstaan, zegt Hulsbergen. ‘Een dunner ontwerp zou bijvoorbeeld best mooi zijn, en misschien ook wel haalbaar. Maar je moet nu even geen nieuwe risico’s introduceren. Het is zo al lastig genoeg.’



Op het prikboard

De onderzoekers van Nikhef publiceren jaarlijks honderden wetenschappelijke artikelen en studies. Een greep uit de recente resultaten.



Een duister zestal

Deeltjes donkere materie die uit zes quarks bestaan? Nikhef-fysicus Patrick Koppenburg gaat het met een NWO ENW-M beurs uitzoeken.

Donkere materie is een van de grootste raadsels van de moderne natuurkunde. Ongeveer 85 procent van de beweging in het heelal is niet te verklaren met alleen de zichtbare materie in sterren, nevels en sterrenstelsels. Als het deeltjes zijn, komen die niet voor in het Standaardmodel van de deeltjesfysica, lijkt het.

Maar Patrick Koppenburg, Nikhef-fysicus en verbonden aan het LHCb-experiment op CERN, denkt daar net wat anders over.

Er zijn verschillende ideeën over de aard van donkere materie, waaronder zogeheten WIMPs en axionen. In verschillende experimenten wordt gespeurd naar donkere-materiedeeltjes uit de kosmos. Bij Nikhef bijvoorbeeld met de XENONnT-samenwerking in Gran Sasso, Italië. Maar ook bij versnellers, met detectoren als LHCb, wordt gezocht naar aan-

wijzingen voor donkere materiedeeltjes.

Daarbij zijn al eerder kortstondige verbindingen van vier of vijf quarks gevonden, die leiden tot piekjes in de meetgegevens in bijvoorbeeld LHCb. Dergelijke tetra- of pentaquarkresonanties zijn totaal niet stabiel, en kunnen dus geen ingrediënt zijn van donkere materie in het heelal.

Er zijn echter theoretische overwegingen waarom bepaalde zestallen quarks wel een stabiel geheel zouden kunnen geven. Dat zou bijvoorbeeld het geval kunnen zijn voor een bepaalde mix van up-, down- en strange-quarks en hun anti-quarks. Onderzoekers noemen het een sexaquark, van strange gecombineerd met hexa, Grieks voor zes.

Zo'n zestal kan volgens berekeningen gek genoeg best een massa hebben die lager is dan van een proton of neutron, hoewel die

elk uit maar drie quarks bestaan. Als dat het geval is, zegt Koppenburg, kan het deeltje dus niet of niet gemakkelijk vervallen. Aan de eerste voorwaarde voor donkere materie is dan voldaan: stabiliteit.

Het wordt echter nog mooier. Het denkbeeldige sexaquark blijkt ongevoelig voor deeltjeskrachten, zoals de kernkracht, of de elektromagnetische kracht. In dat geval is zo'n deeltje ongrijpbaar en onzichtbaar, de tweede voorwaarde voor donkere materie. Alleen de zwaartekracht voelt de massa.

Het mooie, zegt Koppenburg, is dat dit sexaquark-deeltje donker is en toch gewoon binnen het Standaardmodel past. 'De meeste onderzoekers van donkere materie denken dat er nieuwe fysica in het spel moet zijn. Maar misschien blijkt dat niet eens nodig.'

Koppenburg gaat met een

nieuwe door NWO gefinancierde promovendus en een masterstudent in de data van de LHCb-detector een directe speurtocht naar het nieuwe deeltje uitzetten. Als in bepaalde vervalsprocessen ogenschijnlijk een component ontbreekt, zou precies dat het gezochte onzichtbare deeltje kunnen zijn.

En als het sexaquark inderdaad in de versnellerdata wordt ontdekt? In dat geval, zegt Koppenburg zonder op de zaak vooruit te willen lopen, hebben we voor het eerst een echt deeltje dat potentieel donkere materie kan vormen. 'Dat zijn er nu welgeteld nul', zegt Koppenburg. 'Het zou groot nieuws zijn.'

Maar iets in een versneller vinden, is één ding, zegt Koppenburg. 'Uiteindelijk wil je ze in een experiment uit het heelal zien komen, pas dan hebben we echt een verhaal.'



Precies de higgsmassa

Het ATLAS-experiment op CERN heeft de massa van het higgsdeeltje tot op minder dan een promille precies bepaald. Een record.

De nieuwe massa is deze zomer bekend gemaakt op de *Lepton Photon*-conferentie in Melbourne. Voor de nieuwe meting is gekeken naar het verval van het higgsdeeltje naar twee fotonen. Het resultaat werd daarna ook nog gecombineerd met eerdere massa-metingen uit andere vervalsprocessen van het higgsdeeltje.

Het higgsdeeltje werd in 2012 op CERN ontdekt. Het deeltje speelt een centrale rol in het mechanisme dat elementaire deeltjes hun massa geeft, maar de massa van het higgsdeeltje zelf wordt in de theorie niet voorspeld. Die moet experimenteel worden vastgesteld.

Zowel ATLAS, een experiment waarin Nikhef veel bijdraagt, als het concurrerende CMS-experiment publiceerden de afgelopen elf jaar steeds preciezere schattingen van die massa. Dat is mogelijk omdat ze meer meetgegevens verzamelen en ook doordacht de analyses steeds beter worden. 'Deze precisie-meting is het resultaat van hard investeren in het beter doorgronden van onze metingen', zei ATLAS *spokesperson* Andreas Hoecker.

Een exacte higgsmassa is nodig voor precieze berekeningen met het Standaardmodel. Alleen dan zijn de metingen en de theorie goed te vergelijken. Afwijkingen zouden kunnen

duiden op nog onbekende deeltjes of krachten.

Voor kosmologen is de higgs-massa bovendien een cruciaal ingrediënt voor theorieën over de evolutie van het heelal en zelfs over de stabiliteit van de lege ruimte zelf, waarin zich het zogeheten higgsveld uitstrekt.

Uit de metingen aan het dubbelfotonverval komt een massaschatting van 125.22 GeV plus of min 0.14 GeV. Daarvoor is gekeken naar meetgegevens tot najaar 2018, Run 1 en Run 2 van de LHC-versneller. Na combinatie met de eerdere massaschatting uit het higgsverval naar Z-deeltjes komt ATLAS op 125.11 GeV plus of min 0.11 GeV. Dat is een nauwkeurigheid van 0,09 procent, minder dan een promille. Bij de ontdekking in 2012 kwam ATLAS op 126 GeV plusminus 0,4 GeV.

Nikhef-postdoc Luca Franco (Radboud Universiteit) noemt de behaalde precisie indrukwekkend. Hij was eerder in Frankrijk als PhD-student betrokken bij de kalibratie voor de fotonmetingen. De nieuwe precisie, zegt hij, is ongeveer tweemaal beter dan in de vorige schatting door het gebruik van meer data. Maar de grootste winst komt uit een beter begrip van de ATLAS-detector zelf. 'De systematische precisie is viermaal zo goed als we eerder haalden.'



Optimisme over leptonen

Onderzoek naar verschillen tussen het muon en het elektron leek gestrand. Toch zijn theoretici er nog niet klaar mee.

Afgelopen zomer publiceerden theoretici van Nikhef, de Vrije Universiteit Amsterdam en Universiteit Maastricht gecompleerde berekeningen die laten zien dat elektronen en muonen in meer opzichten van elkaar kunnen verschillen dan tot nu toe werd gedacht.

In een artikel in het tijdschrift JHEP bespreken de onderzoekers de zogeheten lepton-universaliteit. Volgens het Standaardmodel van de deeltjesfysica zijn muonen theoretisch identiek aan elektronen, behalve dat ze veel zwaarder zijn. Diepere fundamentele verschillen, non-universaliteit genoemd, zouden kunnen wijzen op nog onbekende fysische processen in de deeltjeswereld, zogeheten "nieuwe fysica".

Het LHCb-experiment op CERN doet al jaren onderzoek naar eventuele verschillen tussen het muon en het elektron. Daar leken aanvankelijk aanwijzingen voor bij metingen aan B-mesonen die naar kaonen plus elektronen dan wel muonen vervallen. Een half jaar geleden meldde het experiment na nieuwe analyses echter dat er toch geen significant verschil gemeten was tussen elektronen en muonen.

Dat leek einde oefening voor lepton-non-universaliteit. Maar

volgens de Nikhef-theoretici betekent dit LHCb-resultaat helemaal niet dat een verschil tussen beide deeltjes uitgesloten is. Verre van, zegt Robert Fleischer, programmamaleider Theorie van Nikhef en hoogleraar aan de VU.

'De conclusie was toen dat nieuwe fysica die de universaliteit tussen elektronen en muonen schendt helemaal van tafel was,' aldus Fleischer. 'Maar onze nieuwe studie laat nu zien dat dat toch een tikje naïef was. Er kan meer dan we denken.'

Fleischer en zijn promovendi Eleftheria Malami en Anders Rehult en collega Keri Vos (Nikhef/Maastricht) presenteerden in hun artikel nieuwe, afgeleide meetgrootheden waarin je alsnog een verschil zou kunnen zien tussen muon en elektron.

Bijzonder is dat ze daarbij vrijlaten wat het verschil tussen de twee soorten leptonen precies is.

Promovendus Anders Rehult: 'Deze model-onafhankelijke aanpak geeft een ruim gebied waar verschillen aan het licht kunnen komen in metingen, in plaats van precies twee punten die al dan niet overlappen.' Het nieuwe werk vormt een onderdeel van Rehults proefschrift, dat hij komend jaar op de VU in Amsterdam hoopt te verdedigen. ◀

CERN al 70 jaar dichtbij

Komend jaar bestaat het Europese onderzoekscentrum CERN 70 jaar. Het lab maakte de deeltjesfysica groot, ook in Nederland.

Foto's: CERN

Niemand weet precies hoe weinig of veel het werkelijk heeft geschied. Maar feit is dat Nederland begin jaren vijftig serieus kans heeft gemaakt om de Europese organisatie voor kernonderzoek CERN te huisvesten. De omgeving Arnhem werd daarvoor als een geschikte locatie gezien. In elk geval door de Nederlanders.

Op een vergadering op 1 oktober 1952 in het Trippenhuis in Amsterdam besloten de initiatiefnemers voor het Europese onder-

zoekslab niettemin dat de regio Genève de beste locatie zou zijn voor het project. Ook een Deens en Frans voorstel sneuvelden.

In maart 1954 ging vlakbij het dorp Meyrin net buiten Genève de eerste schop de grond in. Het jaar ervoor hadden de twaalf oprichters, waaronder Nederland, in Parijs de CERN-conventie getekend voor een lab dat nucleair onderzoek zou gaan doen zonder enige militaire toepassing. Nederland ratificeerde die op 15 juni 1954 en zou 3,65 procent van de kosten dragen. Op 29 september 1954 is de oprichting van CERN officieel een feit.

Komend jaar wordt de 70^e verjaardag van CERN uitgebreid gevierd. Met veel

nadruk op de wetenschappelijke verdiensten, uitvindingen en ontdekkingen. Maar zeker ook met nadruk op het belang van internationale wetenschappelijke samenwerking, waarvan CERN van oudsher een schoolvoorbeeld is.

Samenwerking

Zelfs in de Koude Oorlog van de vorige eeuw werkten hier Russen en Amerikanen gebroederlijk samen aan de studie van het binnenste van de materie. De oorlog in Oekraïne stelde dat verzoenende principe de afgelopen jaren voor het eerst in decennia echt, en soms pijnlijk, op de proef.

De geschiedenis van CERN begint in feite al in de nadagen van de Tweede Wereldoorlog, als die eindigt met de atoombomben op Japan. Die bommen zijn het werk van natuurkundigen, die zich na 1945 ook realiseren hoe gevaarlijk hun

kennis kan zijn. Om dat gevaar te betuigen, pleiten velen voor internationale openheid in het kernonderzoek. Onder hen Robert Oppenheimer, die daar politiek gaandeweg mee in de problemen komt.

Daar komt bij dat er na de oorlog weinig over is van het wetenschappelijk onderzoek in het gehavende Europa. Onder meer Pierre Auger en Niels Bohr hebben daarover grote zorgen. In 1949 pleit de Franse fysicus Louis de Broglie voor een Europese samenwerking, om het tij te keren.

In 1950 stelt de Amerikaanse Nobelprijswinnaar Isodor Rabi (leermeester van Oppenheimer) bij de UNESCO voor om een gezamenlijk laboratorium

voor kernonderzoek in Europa te steunen. Die resolutie wordt in 1951 aangenomen en twee maanden later al richten twaalf landen de *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* op, een raad die het lab-voorstel gaat uitwerken.

Versnellers

De eerste versneller van het laboratorium komt op 11 mei 1957 in bedrijf: een synchrocyclotron, het SC, die liefst 33 jaar in bedrijf zal blijven. Twee jaar later komt ook PS in gebruik, een protonsynchrotron met een omtrek van 628 meter dat enige tijd de krachtigste deeltjesversneller ter wereld zal blijven. De protonbundels

worden gebruikt om vaste trefplaten te beschieten.

Daarbij verschuift de aandacht al snel van de kernfysica naar de elementaire deeltjes. In de jaren vijftig en zestig bouwt het lab in hoog tempo aan apparatuur waarmee de meest fundamentele bouwstenen van de materie kunnen worden bestudeerd. Kleiner dan de atoomkern, waar het niet lang daarvoor nog om begonnen was.

In de jaren '70 wordt de PS-versneller de leverancier van deeltjes voor de nieuwe nog grotere versnellers van het lab. In de nieuwe Intersecting Storage Rings (ISR) wordt in 1971 voor het eerst geëxperimen-

Slag om Arnhem

Als rond 1950 de plannen voor een Europees niet-militair instituut voor atoomonderzoek vorm krijgen, wordt ook nagedacht over de locatie. Er wordt een lijst van criteria opgesteld. Die lijken op maat gemaakt voor Genève, hoofdstad van de internationale samenwerking in het neutrale Zwitserland, maar de aartsvader van de Europese fysica Niels Bohr gooit roet in het eten. Hij wil het instituut in Kopenhagen, Denemarken. Daarop dienen ook Frankrijk (Longjumeau, bij Parijs) en Nederland (het door de oorlog gehavende Arnhem) voorstellen in. Die worden begin oktober 1952 besproken tijdens een vierdaagse bijeenkomst in een volgestouwd Trippenhuis in Amsterdam.

Wat volgt is een "verbazingwekkend gevecht", herinnert de Nederlandse vertegenwoordiger Jan Hendrik Bannier zich later volgens de officiële CERN-geschiedschrijving. Alle vier de voorstellen voldoen aan de technische eisen, daar is iedereen het na een dag presentaties over eens. Maar dan volgt een duizelingwekkend politiek spel.

Daarin trekt eerst Denemarken zich terug, dat te decentraal wordt gevonden, koud en ver weg, en ook wat al te veel het domein van Bohr. De Britten, aanvankelijk Bohrs medestanders, vinden Denemarken bij nader inzien trouwens ook wel erg dichtbij Rusland liggen. De Denen trekken zich

terug op voorwaarde dat Kopenhagen een centrum voor Europese theorie wordt. Frankrijk is de volgende afvaller, vooral omdat veel landen het instituut toch liever in een kleiner en minder dominant land zien.

Wat na een dag praten rest, schrijven de CERN-historici, is een taaie strijd tussen Genève en Arnhem. Argumenten gaan over en weer. Italië en Frankrijk steunen in het debat openlijk de Zwitsers, de noordelijke landen voelen veel voor Arnhem, net als de Britten en de Duitsers (met Werner Heisenberg in de delegatie). Nederland is voor hen dichterbij dan Zwitserland, en er zijn van oudsher goede relaties met de Nederlandse fysici. Bohrs rechterhand is bijvoorbeeld de Nederlandse natuurkundige Hendrik Kramers.

Maar uiteindelijk wint Genève. Gedelegeerde Bannier, topambtenaar en fysicus en later voorzitter van de CERN-raad, herinnerde het zich dertig jaar nadien zo: "Als het

gevecht nog lang had voortgeduurd was de Franse delegatie weggelopen. (...) Blijven hameren op Arnhem had mogelijk het hele project in gevaar gebracht." Nederland trekt zijn kandidatuur in, en de vergadering in Amsterdam beslist dat het Genève wordt. Unaniem, zeggen de notulen.

Waarmee overigens de kous niet af is. In het kanton Genève ontstaat aanvankelijk grote onrust over het nieuws. Is zo'n nucleair laboratorium wel veilig? Ondermijnt het niet de Zwitserse neutraliteit? Met name de plaatselijke communistische partij, maar bijvoorbeeld ook het Rode Kruis, voeren een felle tegen-campagne. Eind juni 1953 stemt in een publieksreferendum desondanks een tweederdemeerderheid voor de komst van CERN naar Genève. De rest is geschiedenis.

Bron: A. Herman e.a., *History of CERN*, Vol.1, North Holland 1987.



Bijeenkomst in Trippenhuis Amsterdam, 1952

teerd met rechtstreekse botsingen van protonen die vanuit de PS in twee richtingen worden rondgejaagd in elkaar kruisende opslagringen van 300 meter diameter. Het ISR-project levert veel nieuwe natuurkunde op, maar zeker net zoveel technische kennis en vindingen die in latere versnellers belangrijk blijken. Zo test de Nederlandse ingenieur Simon van der Meer er zijn ideeën over het temmen van protonbundels, de stochastische koeling die cruciaal zal blijken voor een grotere versneller, het Super Proton Synchrotron SPS. In 1984 krijgt hij een Nobelprijs voor zijn uitvinding, waarmee de W- en Z-bosonen konden worden ontdekt.

Met deze SPS-versneller van 7 kilometer omtrek doorbreekt CERN in de jaren '70 ook een andere grens: de ringvormige tunnel past niet meer op alleen Zwitsers grondgebied en wordt na onderhandelingen deels onder Frans boerenland gebouwd. Aanvankelijk botsen in de versneller protonen op elkaar, later ook protonen en antiprotonen. Het onderzoek helpt onder meer te bewijzen dat protonen uit nog kleinere deeltjes bestaan: quarks.

Het SPS is de opmaat naar het echt grote werk. In 1988 wordt de tunnel voltooid voor LEP, een 27 kilometer lange ringvormige versneller die elektronen en positronen op elkaar schiet. Met meer dan 5100 elektromagnetische stuurmagneten en bijna 130 versnelholtes is het de grootste machine op aarde uitgestrekt over twee landen. Op 14 juli 1989 komt hij in bedrijf en hij blijft elf jaar in gebruik. In 2000 wordt de versneller gesloopt en komt

in dezelfde tunnel de Large Hadron Collider (LHC) tot stand, een protonversneller met duizenden supergeleidende magneten en een ongekennde energie. De LHC is sindsdien het werkpaard van CERN, met als belangrijkste trofee het higgs-deeltje waarvan de ontdekking op 4 juli 2012 officieel bekend werd gemaakt door de twee grootste detectoren op het lab: ATLAS en CMS.

Nederlanders

Het immer uitbreidende versnellerpark heeft van CERN een onvermijdelijk hoofdkwartier van de deeltjesfysica gemaakt, Europees en ook wereldwijd. Nederlandse natuurkundigen met interesse in de sub-atomaire fysica zijn al sinds de oprichting in de jaren vijftig nauw betrokken bij experimenten op het lab. Sinds 1975 gebeurt dat onder de nationale koepel van Nikhef, die onderzoekers en universiteiten veel meer slagkracht geeft dan ze individueel in Genève zouden hebben.

Nederlanders hebben op het lab vaak vooraanstaande rollen gespeeld. Cornelis Bakker leidde de bouw van de eerste versneller op het lab, het SC synchrocyclotron, en werd in 1955 de tweede directeur-generaal (DG) van het lab. In 1960 kwam hij om het leven bij een vliegtuigongeluk in New York. Eind jaren '70 was theoreticus Leon van Hove, in Brussel geboren maar eerder jaren werkzaam in Utrecht, vijf jaar DG in Genève. Walter Hoogland, oud-Nikhef-directeur was wetenschappelijk directeur van CERN van 1989 tot 1994. Van 2004 tot 2008 was ook oud-Nikhef-direc-

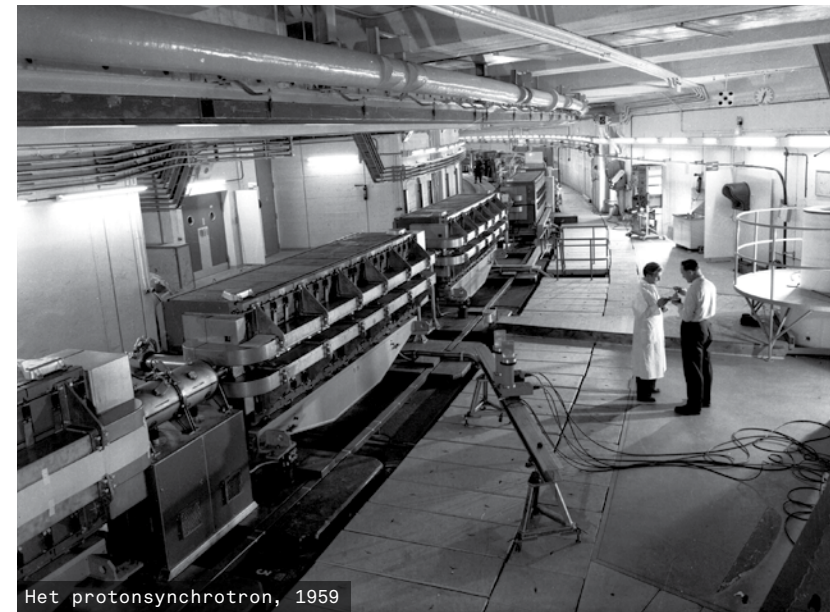
teur en de latere NWO-voorzitter Jos Engelen wetenschappelijk directeur en plaatsvervangend DG van CERN in Genève. De Nijmeegse fysicus Sijbrand de Jong was in de jaren 2016 tot 2018 voorzitter van de CERN-raad, het hoogste bestuursorgaan van het lab. Nikhef-onderzoeker Marco van Leeuwen is momenteel *spokesperson* van het ALICE-experiment.

Formeel is Nederland betrokken bij drie van de vier grote experimenten bij de LHC op CERN. Voor ATLAS, LHCb en ALICE bouwen en verbeteren Nederlandse natuurkundigen en technici geavanceerde onderdelen en systemen, analyseren ze gegevens en publiceren ze resultaten. Daarnaast werken Nederlanders mee aan tal van kleinere of verkennende experimenten. Het betreft ongeveer de helft van de meer dan tweehonderd Nikhef-onderzoekers, inclusief PhD's en postdocs. Met resultaat. Nederland publiceert anderhalf keer meer in de deeltjesfysica dan van zo'n klein land verwacht mag worden.

Het datacentrum van Nikhef op Amsterdam Science Park, intussen, is een van de knooppunten in de internationale opslag en distributie van meetgegevens en reken capaciteit rond CERN. De Nikhef-computergroep beschikt over de snelste dataverbinding van Europa tussen Amsterdam en Genève: 800 Gigabit per seconde, vergelijkbaar met honderd volle dvd's per uur. Een CERN op de Veluwe is nooit gelukt, maar CERN is eigenlijk dichterbij dan ooit.



Eerste werkzaamheden in Meyrin, 1954



Het protonsynchrotron, 1959



Aart Heijboer

Alessandro Bertolini

Fabiola Gianotti

Mara Senghi Soares

Niels Tuning

Benoemingen en EREDOCTORAAT

Nikhef-onderzoeker **Aart Heijboer** is met ingang van 1 oktober benoemd tot hoogleraar experimentele neutrino-astrodeeltjesfysica aan de Universiteit van Amsterdam. Nikhef-

onderzoeker **Alessandro Bertolini** is sinds 1 september hoogleraar zwaartekrachtsgolf-detectietechnologieën aan de Universiteit Maastricht. Op 17 oktober ontving **Fabiola Gianotti**, deeltjesfysicus en directeur-generaal van CERN, een eredoctoraat van de Radboud

Universiteit in Nijmegen. **Mara Senghi Soares** (Nikhef en VU) is sinds 1 november de nieuwe Nikhef-programmaleider voor het LHCb-experiment, als opvolger van Marcel Merk. **Niels Tuning** van Nikhef is benoemd tot haar adjunct.

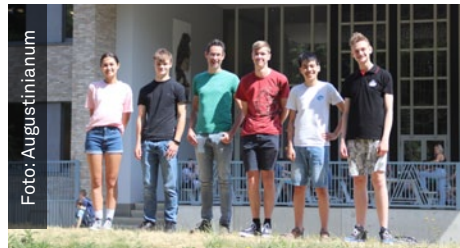


Foto: Augustinianum

Bundeltijd voor SCHOLIEREN

Een groep scholieren van het Augustinianum in Eindhoven is een van de drie winnaars van de Beamline for Schools (BL4S) competitie 2023. De scholieren mogen een zelfgebouwde dradenkamer gaan testen bij de elektronen-versneller van DESY in Hamburg. Het plan is

de gasdetector te karakteriseren. Dit jaar is de tiende editie van BL4S, een natuurkunde-wedstrijd voor middelbare scholieren uit de hele wereld met als prijs het uitvoeren van hun eigen experiment bij de versnellers van CERN en DESY. Ook een team uit Pakistan en uit de VS krijgen dit jaar bundeltijd.

CERN helpt EINSTEIN TELESCOPE

Deeltjeslab CERN in Genève werkt mee aan een prototype voor de vacuümbuis van de toekomstige zwaartekrachtsgolfdetector Einstein Telescope (ET). CERN is dankzij de deeltjesversnellers specialist in grote ondergrondse vacuümsystemen. De ET gaat ondergronds cryogeen gekoelde vacuümbuizen van tien kilometer lang nodig hebben. Het prototype van de vacuümbuis voor ET moet in 2025 klaar zijn, plus een ontwerpverslag dat bedrijven als leidraad kunnen gebruiken. Aan het project werken Nikhef, het Italiaanse INFN en het Spaanse IFEA mee, en onderzoekers uit Frankrijk, Duitsland en België.



Foto: CERN



Foto: Nikhef

Renovatie NIKHEF VOLTOOID

Na een renovatie van tweeënhalve jaar heeft aannemer SPIE op donderdag 26 oktober gebouw SP105 op Amsterdam Science Park formeel weer overgedragen aan Nikhef. De week erna zijn groepen en afdelingen terugverhuisd naar het gebouw. De renovatie begon na jaren van voorbereiding in maart 2021. Installaties, functionaliteit en de uitstraling van het instituut werden vernieuwd en verbeterd. De entree van het instituut werd verplaatst naar de voorzijde, veel zichtbaarder vanaf het UvA-complex aan de overkant. De meest markante verandering is het nieuwe centrale atrium met ontmoetingsplaatsen, een expositie en een collegezaal op de plaats van de voormalige binnentuin.

Neutrino telescoop KM3NeT GROEIT

In het Italiaanse ARCA-deel van de KM3NeT-neutrino telescoop in de Middellandse Zee zijn in september negen nieuwe detectorlijnen op de zeebodem geplaatst. In totaal telt ARCA op 3,5 kilometer diepte nu 28 werkende lijnen met lichtdetectoren die sporen van kosmische neutrino's kunnen waarnemen. In het Franse ORCA-deel van KM3NeT zijn op 2,5 kilometer diepte nu 16 lijnen actief. Grote delen van ORCA worden de laatste jaren bij Nikhef in Amsterdam geassembleerd. Uiteindelijk moet de detector honderden lijnen tellen en een kubieke kilometer zee-water in de gaten houden. ARCA is bedoeld om nauwkeurig de bronnen van binnenkomende neutrino's aan de hemel te lokaliseren, en ORCA voor onderzoek naar het gedrag van neutrino's zelf.



Foto: KM3NeT

'Toen ik 25 jaar geleden voor mijn eerste werkdag naar Amsterdam Science Park moest, wist ik niet eens dat er nog iets was voorbij het spoor-tunneltje op de Kruislaan. Ik had daarvoor even gewerkt bij een advocatenkantoor, maar had me ook ingeschreven bij een uitzendbureau dat me naar Nikhef stuurde. Ik vond het een soort hogeschool, er waren veel studenten en promovendi. Ik hield me als junior op het secretariaat vooral bezig met het regelen van de reizen en leerde zo iedereen goed kennen. De gedrevenheid van de wetenschappers op het instituut heb ik altijd mooi gevonden.

Je bent in mijn werk eigenlijk een soort verbinding tussen de wetenschappers en de echte wereld. Wetenschappers realiseren zich vaak niet helemaal hoeveel praktische zaken er komen kijken bij al die bijeenkomsten, bezoeken, evenementen en reizen die ze verzinnen. Locaties. Hotels. Catering. Maar ik houd enorm van dat organiseren. Thuis ben ik eigenlijk net zo. Alles moet kloppen.

De laatste twee jaar ben ik als verhuiscoördinator erg betrokken bij de renovatie van Nikhef. Een enorme operatie, waarin alle mensen, kantoren, opslag en archieven verplaatst moeten worden. Eind dit jaar verhuist iedereen weer terug naar het gerenoveerde gebouw. Dan loopt mijn hoofd wel eens over.

Een speciaal hoofdstuk is trouwens de agenda en de mail van de directeur. Als ik zie wat

Eveline Schram regelt alles wat wetenschappers liever vergeten

er allemaal langskomt, zoveel afspraken, overleggen, reizen, verzoeken, is het eigenlijk een wonder dat het allemaal zonder al te veel stress lukt. Deels misschien ook door mijn toedoen. Ik bewaak de agenda en kan heel goed nee zeggen. En als hij op reis moet, maak ik alles in orde, van de tickets en inchecktijden tot het vervoer naar het hotel, de afspraken en een keurige plattegrond van de stad. Ik ken oud-directeuren die zeggen dat ze dat sindsdien een beetje missen.'

Eveline Schram-Post is hoofd directiesecretariaat bij Nikhef.

Foto: Joan Berger

INHOUD

2 Strategie

Een blik vooruit

3 Stan Bentvelsen

Nikhef als sterk merk

4 Maastricht

Jonge bètafaculteit
omarmt Nikhef

10 Marco van Leeuwen

leidt in Genève
het ALICE-experiment

12 Incident

Hoe Nikhef de
LHCb-detector helpt

16 Resultaten

Papers die de
fysica opschudden

18 CERN

leek ooit even naar
Arnhem te komen

23 Mooi werk

Eveline Schram runt het
Nikhef-secretariaat

