

# NEVAC

jaargang 56 nummer 3 november 2018



NEDERLANDSE  
VACUÛMVERENIGING

blad

## NEVAC-reis door Japan

Geschiedenis: Op zoek naar UHV

Nieuwe vacuümtechniek op de  
Japan Vacuum Show

Hightechproducten maken met een  
klein team bij DIFFER

De technische speeltuin van ARCNL

# Take a look into Space

©BICOM\_20560.02 0.10.2018



**The scientific exploration and technological utilization of space require the ability to reproduce extreme vacuum conditions on earth.**

Space travel, scientific and commercial satellites, and extra-terrestrial research can only be effective if all involved materials, components and devices are successfully tested under high-vacuum and ultrahigh-vacuum conditions.

Rely on Leybold vacuum products to reproduce these extreme vacuum conditions. Leybold provides pumps and vacuum solutions, well proven in large-volume space simulation chambers as well as in terrestrial space observatories:

- **COOLVAC** cryo pumps and system solutions
- **TURBOVAC** turbomolecular pumps
- **UNIVEX S XTT** high performance systems for space simulation processes

**Leybold Pumps and Vacuum Systems - we help to simulate outer-space!**

 **Leybold**

Leybold Nederland B.V.  
Floridadreef 102  
NL-3565 AM Utrecht  
T +31 (30) 242 63 30  
sales.ut@leybold.com  
[www.leybold.com](http://www.leybold.com)

## Inhoud

- 5 **Van de redactie: Vacuüm is heet, vacuümvaardigheden gewenst** *Rients de Groot*
- 6 **Een NEVAC-reis als een vacuümtyfoon door Japan**
- 18 **Vacuümtechniek: Nieuws van de Japan Vacuum Show** *Minte Mulder*
- 20 **Werkgroep VCCN** *Freek Molkenboer*
- 20 **Einstein Telescoop en vacuüm-techniek**
- 22 **Interview: Vacuümtechniek in de technische speeltuin van ARCNL** *Claud Biemans*
- 24 **Interview: Hightechproducten maken met een klein team** *Claud Biemans*
- 25 **60 jaar IUVSTA**
- 26 **Boekbespreking: Geschiedenis van een politiek onhandige doorzetter** *Claud Biemans*



- 27 **NEVAC-prijsvraag: win 1000 euro; NEVAC-dag 2019, NEVAC-website**
- 27 **IUVSTA Science and Technology Prize**
- 28 **Geschiedenis: Op zoek naar UHV** *Theo Mulder*
- 30 **EVC-15** *Rients de Groot*
- 31 **Agenda**

**6** In september reisden 22 NEVAC-leden door Japan. Een week lang bezochten ze universiteiten, experimenten, bedrijven en de Japan Vacuum Show. Op de voorplaat staat een foto gemaakt door Martijn Dijkstra tijdens het bezoek aan een van de tunnels van de KAGRA-zwaartekrachtgolventelescoop in aanbouw. De groepsfoto hierboven is ook daar gemaakt. Lees alles over vacuüm in Japan in het reisverslag van de deelnemers.

## Colofon

### Redactie

Claud Biemans, eindredacteur  
Hans van Eck, hoofdredacteur  
Ad Ettema  
Rients de Groot  
Karine van der Werf

### Web-adres

[www.nevac.nl](http://www.nevac.nl)

### Redactiesecretariaat

NEVAC  
Delftechpark 26  
2628 XH Delft  
[redactie@nevac.nl](mailto:redactie@nevac.nl)

### Abonnementenadministratie

NEVAC  
Delftechpark 26  
2628 XH Delft

### Abonnementen

Binnenland € 25,- per jaar  
Buitenland € 100,- per jaar

### Advertentie-exploitatie

NEVAC  
Delftechpark 26  
2628 XH Delft  
[penningmeester@nevac.nl](mailto:penningmeester@nevac.nl)

### Grafische vormgeving

Claud Biemans  
[www.frontlinie.nl](http://www.frontlinie.nl)

### Verschijningsstijdstippen 2019

Maart  
Juli  
December

Kopij inzenden naar [redactie@nevac.nl](mailto:redactie@nevac.nl)  
Lidmaatschap opgeven bij de ledenadministratie, [penningmeester@nevac.nl](mailto:penningmeester@nevac.nl).  
Abonnementen opgeven bij abonne-  
mentenadministratie.

### Vergoeding kopij

Artikelen in het Nederlands over vacuümtechniek en haar toepassingen in de wetenschap en industrie worden door de redactie zeer op prijs gesteld. Voor studenten en promovendi is een vergoeding van € 250,- per gepubliceerd artikel beschikbaar.

ISSN 0169-9431

De sluitingsdatum van kopij voor het volgende nummer van het NEVAC blad is 15 februari 2019

# NeoDry Series Compact & Aircooled Dry Pump

An air cooled vacuum pump for low cost of ownership, long life & long maintenance cycle.  
Fits right in for industrial application such as analytical, R&D laboratory equipment.



## HIGH ADVANTAGES

AGAINST ROTARY VANE AND SCROLL PUMPS:

[DE.KASHIYAMA.COM](http://DE.KASHIYAMA.COM)



### HIGH DURABILITY

OWING TO „NO MECHANICAL CONTACT“ INSIDE



### LESS MAINTENANCE

NO „OIL CHANGE“, NO „TIP-SEAL CHANGE“ ANY MORE



### MARKET PROVEN EXPERIENCE AS „RELIABLE PUMP“ IN 9 YEARS

OVER 15,000 PCS OF PUMP



### 3 „LOWS“ (NOISE, VIBRATION, WEIGHT)

FOR BETTER USABILITY AT CUSTOMER APPLICATION



### HANDLE WITH WATER VAPOR,

SOLVENT AND VARIOUS APPLICATIONS

**A. DE JONG TH**

[www.adejongth.nl](http://www.adejongth.nl)

078 - 655 20 00 / [info@adejongth.nl](mailto:info@adejongth.nl)

**A. de Jong TH**  
Buitendijks 63  
3356 LX  
Papendrecht



## Verenigingsgegevens

### Ereleden

L.G.J.M. Hassink, Stibbe 23,  
2421 MR Nieuwkoop  
G. Ikking, Artemisstraat 34,  
2624 ZN Delft  
† Prof.dr. J. Kistemaker  
† Ir. J.H. Makkink  
Th. Mulder, Ambachtsheerelaan 60,  
3481 GM Harmelen  
Dr.ir. E.P.Th.M. Suurmeijer, Elzenlaan 11,  
9321 GL Peize  
Prof.dr. J. v.d. Veen, Schubertlaan 8,  
1411 HZ Naarden  
Dr.ir. J. Verhoeven, Kon. Julianaweg 23,  
3628 BN Kockengen

### Bestuur

Dr. I. Swart, voorzitter  
Dr. S.J. van der Molen, vicevoorzitter  
J.W.M. van Kessel, secretaris  
Dr. A.R.H.F. Ettema, penningmeester

### Verenigingssecretariaat

Jan W.M. van Kessel  
jwmvankessel@gmail.com of  
secretaris@nevac.nl

### Adres ledenadministratie

p/a Dr. A.R.H.F. Ettema  
NEVAC, Delftechpark 26,  
2628 XH Delft, The Netherlands  
Telefoon: +31 15 2600406  
Fax: +31 15 2600405  
e-mail: penningmeester@nevac.nl

### Inlichtingen over opleidingen en examens

Dr. A.D. van Langeveld  
Gageldonk 12, 4854 LH Bavel  
GSM: 06-29561797  
e-mail: advanlangeveld@gmail.com

### Penningmeester NEVAC

IBAN: NL50 INGB 0001 8515 29 o.v.v.:  
Penningmeester NEVAC,  
t.a.v. Dr. A.R.H.F. Ettema,  
Delftechpark 26,  
2628 XH Delft

### Contributies

Contributie € 20,- per jaar  
Studenten/promovendi € 5,- per jaar  
Bedrijfsleden € 150,- per jaar

## Vacuüm is heet, vacuüm-vaardigheden gewenst

**H**ierbij treft u de laatste publicatie aan van dit jaar met het verslag van de succesvol verlopen buitenlandse reis naar Japan, interviews met succesvolle examendeelnemers, een deel uit de vacuümmeter-geschiedenis en ander nieuws. Zo heeft de Vereniging Contaminatie Controle Nederland (VCCN) het initiatief genomen om een werkgroep micro-nano-reinheid te starten die in wezen vacuümmeter-reinheid betreft. De NEVAC is hierin inmiddels ook betrokken en de voortgang kunt u in dit blad volgen.



Als u recentelijk bijvoorbeeld een vacuümpomp besteld hebt, zal het u niet ontgaan zijn dat het lang duurt voordat deze bestelling aan u geleverd wordt. De reden is dat er een enorme vraag is vanuit de halfgeleiderwereld naar vacuümproducten. Dit is al in het vorige jaar begonnen en het trekt door in dit jaar met hetzelfde vooruitzicht voor 2019 en daarna. Vacuüm is booming en de vacuümproductleveranciers kunnen de vraag niet aan. Dit tot ergernis van de gebruikers en daar ben ik er een van. Er is nu een levertijd van 28 weken voor een pomp waar normaal iets van 6 tot 8 weken voor stond. Uit betrouwbare bron vernam ik dat er zelfs tot 40 weken levertijd voor een bepaalde bestelling werd opgegeven. De industrie zorgt voor een vacuüm. Wie had dat een paar jaar geleden gedacht. Lang leve het vacuüm!

Deze booming-situatie vinden we op een andere manier ook terug. De aantrekkelijke economie zorgt voor evenzo aantrekkende productie bij toe- en eindleveranciers, waarbij ook meer personeel nodig is. Personeel met vacuüm-skills. De groei in personeelsleden vraagt om scholing in het toepassen van vacuüm-technologie. Bedenk dat er ook door pensioneringen kennis verdwijnt. Ziedaar het grote probleem dat ontstaat. Wegebende vacuümkennis en de *erosion of skills*. Vacuümtechnologie is niet zomaar een stuk kennis of kunde, een vaardigheid die een normale technicus heeft. Het is iets speciaals, je moet je daar in verdiepen, ervaring opdoen en daar gaat tijd overheen. De NEVAC biedt daar hulp bij met de cursussen onder haar auspiciën, waarvoor ik u verwijst naar onze webpagina over opleidingen. Ik hoop echt dat we met onze vereniging deze behoefte kunnen invullen en met de stuwende golf ook nieuwe leden kunnen verwelkomen. Daarnaast is er natuurlijk het netwerk dat we met onze vereniging instandhouden.

Ik wens u veel leesplezier toe!

Rients de Groot

# Een NEVAC-reis als een vacuümtyfoon door Japan



Eind augustus vliegen 22 leden van de NEVAC vanaf Schiphol naar Osaka in Japan. De komende week is gevuld met bezoeken aan organisaties en bedrijven die de laatste stand van de vacuümtechniek laten zien in het land van de rijzende zon. Het programma is georganiseerd door Riens de Groot (Thermo Fisher Scientific), Cristian van Helvoirt (TU/e) en Rob Klöpping (Nikhef). Penningmeester Ad Ettema zorgde voor de vliegtickets, en de praktische zaken in Japan worden geregeld door Claud Biemans, eindredacteur van dit blad.

Na elf uur vliegen landen we op 1 september op Kansai airport in Osaka. Het tijdsverschil met Nederland is zeven uur en de meesten hebben niet geslapen, dus enigszins vermoeid gaan we met zijn allen een aantal dingen regelen en reizen we naar het hotel. Cristian heeft in Nederland voor iedereen een Japan Rail Pass besteld en op het station halen we

de kaarten op, zodat we ze kunnen gebruiken voor de rit naar het centrum van Osaka.

Met wat hulp van attente Japanners lukt het om een ingewikkelde overstap te maken naar het juiste treinstation voor onze bestemming, waar we met toegewijde hulp van een medewerkster van een infocentrum een ingewikkeld proces doorlopen voor het aanschaffen van een soort ov-chipkaarten voor ritten die niet gedekt zijn door de andere pas. Daarna is het hotel snel gevonden. Alleen mogen we pas om 16.00 uur inchecken en in Japan gebeurt alles precies op tijd, dus daar is geen mouw aan te passen. Wel kunnen we de bagage achterlaten en dan waaieren we uit om de buurt te verkennen. We verbazen ons over de afwezigheid van troep en hondenpoep in de straten: geen prulletje of huisdier te bekennen.

## Kattencafé

Ook zondag 2 september is er overdag tijd om Osaka te verkennen en sommigen brengen de dag door in tempelstad Kyoto, dat een stukje op weg ligt naar onze volgende bestemming, Nagoya. Dit traject leggen we af met de Shinkansen, de Japanse superhogesnelheidstrein, waardoor we in no time op onze bestemming zijn. Onderweg zien we dat het hele land is volgebouwd. Af en toe zijn er rijstvelden tussen de huizen, maar nergens is vee. In Nagoya stappen we in het pendelbusje van het hotel, dat we, tot verbazing van de chauffeur, kundig tot de nok afvullen met mensen en bagage.

De meeste mensen reizen met een flinke koffer en dat zorgt voor een probleem tijdens de excursie naar KAGRA, gelegen in bergachtig gebied waar we alleen met een gehuurde minibus kunnen komen. Dus nadat de kamers in het hotel zijn verdeeld, regelt Claud dat de koffers vanaf hier naar het hotel in Tokio gestuurd worden. Dat is in Japan heel goed mogelijk en niet duur. Alleen kan het hotel geen reservering van ons vinden in het hotel in Tokio (van dezelfde keten) waar wij denken dat we zullen verblijven. Ze zien wel een reservering in een ander hotel. Vooruit, dan sturen we de koffers ook



De Shinkansen naar Nagoya.



Welkomstborrel in het kattencafé.



Cadeaus inpakken: een serieuze zaak.

maar daarheen, en dan zoeken we nog wel uit waar dat hotel precies is.

Die avond is het tijd voor de welkomstborrel. Het probleem is echter dat we nergens een café kunnen vinden. In Osaka zagen we wel caféetjes. Daar pasten precies acht mensen in en daarna gingen de gordijnen dicht, vol is vol. Er bestaan ook grotere hotels met bar, maar die zijn hier niet in de buurt. Op een digitale kaart zien we wel wat bierpullen staan, maar we zien niets dat daarop lijkt, alleen drankautomaten. Uiteindelijk vinden we een kattencafé, met de naam Chaton Rouge. Als we enkele knuffeldieren van de stoelen verwijderd hebben, is er genoeg plaats voor de hele groep. Overal aan de muur zien we kattenplaatjes en er zit een kat in een glazen vitrine, waar de bardames lief tegen doen. Dat voorziet in een behoefte in dit land zonder huisdieren. We willen graag Japans bier drinken, maar de voorraad strekt tot de helft van de groep, de andere helft krijgt Heineken. Een tweede drankje zit er ook niet in, want om 21 uur gaan ze sluiten...

In het hotel is gelukkig nog een automaat met koele bierblikken, want we hebben nog wat te doen: de cadeaus (stroopwafels en wijnfles-vacuümtrekkers) voor de gastheren/dames inpakken. In Japan betekent dat niet zomaar een papiertje erom draaien. Nee, er worden tenminste twee soorten papier gebruikt en dan liefst nog een lintje. En het mag er vooral niet symmetrisch uitzien. De verpakking



Slippers voor het bezoek aan het Hori-lab: voor, tijdens en na.

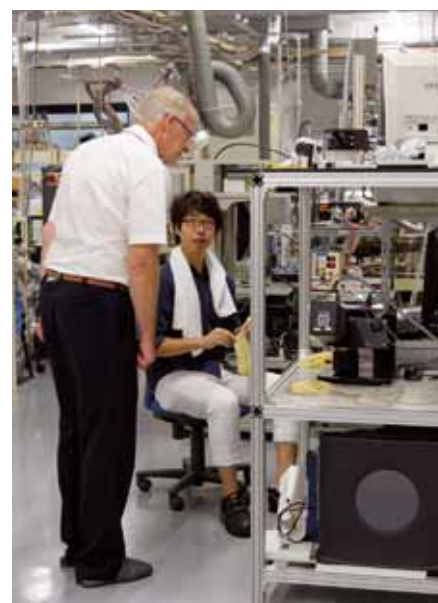
is hier veel belangrijker dan het cadeau zelf. Dirk zorgt voor een extra versiering van gele klompjes aan een sleutelhanger, wat tot een discussie leidt of je dat in Azië wel kunt doen: schoenen zijn het minste van het minste.

### Plasmatechnologie in Nagoya

Op maandagochtend worden we rond negen uur verwacht bij de gouden klok in de hal van het station van Nagoya. Nadat de zitplaatsen voor de middagtrein naar Takayama gereserveerd zijn, komt onze begeleider voor deze ochtend, René Veruur van ASM [1] en Nagoya University (en oud-promovendus van de TU/e), ons ophalen om ons door het doolhof van het Nagoyaans metrostelsel te begeleiden naar het Hori-lab van Nagoya University. Na aankomst is er gelegenheid om in de cafetaria ons caféïne-peil op te krikken met een ruime keuze aan warme en (ijs) koude koffiedranken. Hierop volgt een presentatie in sneltreinvaart (van Shin-kansen-allure) door assistent-professor

Takayoshi Tsutsumi over het plasma-onderzoek dat hier gedaan wordt. Professor Masaru Hori kan helaas zelf niet aanwezig zijn door ziekte. De technologie van het lab wordt ingezet voor innovaties op het gebied van nano-devices (chips, geheugen, smartphone displays), duurzame energie (batterijen, dunne-film-zonnecellen, brandstofcellen, LED) en life science (landbouw, gezondheidszorg, geneesmiddelen). Het experimentele onderzoek op deze gebieden vindt plaats in een laboratorium van 2000 m<sup>2</sup> dat vol staat met 'speeltjes' waar een plasma- of vacuümtechnoloog zijn vingers bij aflikt. Je kunt wel zien dat er zes Nobelprijswinnaars verbonden zijn aan de universiteit van Nagoya.

De ontvangst is voortreffelijk met als 'hoogtepunt' van de orde, netheid en discipline van de Japanse cultuur: het netjes klaar staan van de slippers voor het bezoek aan de labtuin. Eenmaal binnen komt het Nederlandse enthousiasme, ondernemerschap met kennis en kunde los.



Assistent-professor Takayoshi Tsutsumi (linker foto) geeft een rondleiding door het Hori-lab, waar de groep uitwaaiert en discussieert met de studenten.

We starten als groep samen en volgen de assistent-professor voor de uitleg. Maar bij het eerste experiment is het al raak. Het punt van 'discussie' is het gebruik van de vacuümpomp. Voor de beeldvorming: bij de universiteit is het gebruikelijk dat de studenten zelf het beheer over de machine en opstelling voeren. Dit houdt in: Ontwerpen (samen met de hoogleraar en een ingenieursbureau), operationeel maken, plus operationeel houden. Maar hoe kun je dan op die manier een vacuümpomp gebruiken? is de algemene tendens in de groep. Na hier met vijf man over gediscussieerd te hebben, over dimensionering en diameter van de inlet, wil de assistent-professor toch echt verder. Langzaam wordt een lichte paniek zichtbaar in zijn ogen. Want de gedachte "Ik houd een groep van twintig man wel in de hand" is misschien toch niet helemaal de juiste geweest.

Het enthousiasme van de groep is zowel schitterend als typisch Nederlands, want bij het derde experiment is de groep geheel uitgewaaierd over de labtuin. Dus vanaf experiment 1, met nog steeds de discussie over de pomp, tot aan het laatste experiment waar een discussie gaande is over het 'veilig' gebruik van arsine en fosfine, overall staan groepjes mensen en overall worden goed bedoelde adviezen gegeven.

René ziet dit met veel plezier aan en voelt zich weer even helemaal thuis als zijnde in Nederland. Na nog een aantal pogingen om de groep samen te krijgen en te houden, ziet de assistent-professor in dat dat het niet gaat worden en laat hij zich meevoeren in de flow.

Uiteindelijk moet de groep zich opmaken om te vertrekken. Het bezoek is, inclusief lezing, gepland voor (slechts) twee uur. En dus gaan we enthousiast naar buiten, waar opnieuw een meeting tussen culturen ontstaat. Ondanks de lichte paniek die de assistent-professor heeft gevoeld, heeft ook hij zeer genoten van deze excursie. Hij bedankt ons voor het komen en ziet ons graag een volgende keer nog eens terug, met de opmerking dat er dan veel extra tijd uitgetrokken moet worden om alle informatie uit te kunnen wisselen. Daarna worden de uit Nederland meegezeulde cadeautjes aangeboden aan onze gastheer, die ze blij verrast in ontvangst neemt.

Na het bezoek vinden we, op weg geholpen door René, onze weg met de metro weer terug naar het station. Daar hebben we ruim de tijd om goed te lunchen. Ook reizen we nog even via het sjeke, met marmer beklede Mariott-hotel naar de 52<sup>e</sup> verdieping om van het uitzicht te genieten, alvorens we naar Takayama vertrekken. Takayama ligt op de water-

scheiding tussen de Stille Oceaan en de Japanse Zee, kortom in bergachtig gebied. Daar rijdt dus geen Shinkansen heen, dus reizen we met de dieseltrein.

### Jebi

Het is niet alleen de Shinkansen die zich met een onvoorstelbare vaart door het land verplaatst. Zo worden wij nuchtere Hollanders tijdens ons verblijf in Japan geconfronteerd met de tyfoon Jebi. Voor Japan niets ongewoons, maar de achterblijvers in Nederland moeten toch gerustgesteld worden, omdat het nieuws over de tyfoon zelfs tot daar doordringt. In Takayama, waar we op dat moment voor een nacht verblijven, wordt men onrustig. De dekplaten zijn van de straatgoten gehaald en planten worden naar binnen gehaald want er is een grote storm opkomst. Het zal de beruchte stilte voor de storm wel zijn. In restaurants doet men alles voor de klant. Als de biervoorraad van het restaurant op is, wordt de dochter des huizes eropuit gestuurd om blikjes te halen. Dat kan bijna overal want veel zaken zijn tot diep in de nacht open. Uit een gesprek met de kokkin blijkt dat haar man morgen een groep toeristen naar KAGRA moet begeleiden (en dat zijn wij dus). Ze is er niet gerust op. De tyfoon heeft het hele sociale leven in de greep.





Kaart met in kleur de bezochte plaatsen.

Als wij de volgende dag, 4 september, worden opgehaald met een klein busje voor ons bezoek aan KAGRA (Kamioka Gravitational Wave Detector [2]) in de provincie Gifu, krijgen we te horen dat ons programma is ingekort vanwege de tyfoon. Een rondleiding door de historische binnenstad van Takayama is geschrapt. Dat is jammer want het is één van de twee nog in tact zijnde middeleeuwse stadjes.

De gids, Junichi Kawase, inderdaad de echtgenoot van de kokkin, lijkt een stuk jonger dan zij, maar uit zijn levensloop blijkt dat hij toch ruim boven de veertig moet zijn. Bij Japanners kun je de leeftijd nooit zo goed schatten. De gids wil ons zo snel mogelijk uit het gebied hebben. Hij is bang dat het treinverkeer wordt stilgelegd. Als we richting Gifu door de bergen rijden, is het nog prachtig weer met nog maar een klein beetje wind.

### KAGRA

Met de compacte bus rijden we over smalle wegen door de bergen naar Hida. We worden in het kantoor van KAGRA



In de minibus met gids op weg naar KAGRA.

ontvangen voor een lezing over het experiment in opbouw. Dat bevindt zich even verderop onder de bergen. Het experiment behelst een zwaartekrachtgolvendetector, zoals er al in bedrijf zijn in de VS (Advanced LIGO in Hanford WA en Livingston LA) en in Europa (Advanced VIRGO bij Pisa en een kleinere, GEO600 bij Hannover).

Zwaartekrachtgolven zijn een rimpeling in tijd en ruimte. Ze ontstaan als massieve objecten versnellen. Voorbeelden hiervan zijn twee zwarte gaten die om el-



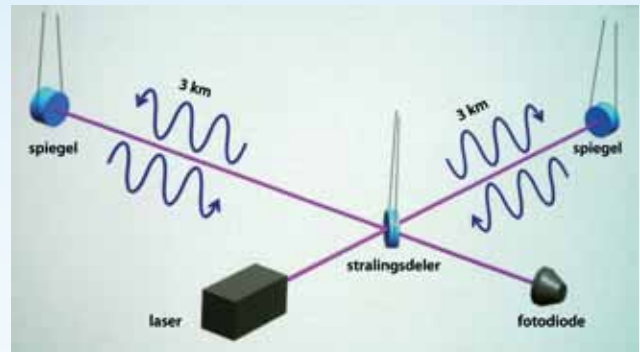
Tyfoon Jebi op het moment dat wij in Toyama (blauwe stip) zijn.

# Werking van een zwaartekrachtgolvendetector

Een krachtige laserstraal wordt gesplitst door de stralingsdeler (*beam splitter*) in twee loodrecht op elkaar staande armen van 3 of 4 kilometer lang. Het vermogen van de laser ter plekke van de stralingsdeler is voor KAGRA 825 watt en voor Advanced VIRGO 5 kW. Op het uiteinde van elke arm wordt een spiegel geplaatst. De spiegels weerkaatsen de bundels. Beide weerkaatste stralen worden samen ontvangen en dit signaal wordt gemeten met een fotodiode. Initieel worden de spiegels zo afgesteld dat de twee lichtbundels in tegenfase zijn zodat ze elkaar uitdoven. Als nu de ene arm in lengte verandert ten opzichte van de andere dan zullen de twee bundels niet meer in tegenfase zijn en geeft de fotodiode een signaal af. Dit gebeurt als een zwaartekrachtsgolf passeert.

Er is veel optische apparatuur nodig om een zeer stabiele vaste golflengte te verkrijgen bij een zeer groot vermogen. Alle optische componenten moeten extreem trillingvrij zijn geplaatst. De KAGRA-detector zit onder de grond om minder last te hebben van seismische trillingen en heeft twee haaks op elkaar staande vacuümbuizen van

3 kilometer lang. De spiegels van de interferometer worden gekoeld tot  $-253^{\circ}\text{C}$  om de thermische ruis, afkomstig van het trillen van de moleculen, te minimaliseren. De interferometer zit in het vacuüm. Dit is nodig om de optische verliezen van de laserbundel te minimaliseren en de akoestische trillingen weg te filteren. De hele interferometer is met speciale dempers opgehangen in het vacuüm om trillingen te minimaliseren.



Principe van een zwaartekrachtgolvendetector op basis van een Michelson-interferometer.



kaar draaien en uiteindelijk samensmelten. Maar ook supernova's, neutronensterren en de big bang produceren deze golven. Op 14 september 2015 hebben de twee Advanced LIGO-detectoren (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory) voor het eerst zwaartekrachtgolven gedetecteerd. Deze golven kwamen van twee zwarte gaten met massa's van 29 en 36 maal de zonnemassa. Ongeveer drie maal de massa van de zon werd

in een fractie van een seconde omgezet in zwaartekrachtgolven. KAGRA zal samen met Advanced LIGO en Advanced VIRGO de oorsprong van de zwaartekrachtgolven nog nauwkeuriger kunnen bepalen.

Na de introductie gaan we naar de detector. Om het bezoek te versnellen gaan we met de bus de berg in. De toegangstunnel loopt wat op om overstroming van de experimenteerruimte te voorkomen.



Niet iedereen past even makkelijk in deze kleding!



We zien heel wat grote metaalafgedichte vacuümvaten, die alle apparatuur herbergen. Op de achtergrond zie je een enorme VAT-gatevalve.



Professor Yoshio Saito, voormalige president van de Japan Vacuum Society, geeft uitleg over KAGRA.



Bezoek aan een tunnel met daarin een van de twee 3 kilometer lange vacuümbuizen.

Normaliter moeten gasten te voet door deze 500 meter lange tunnel.

Om het experiment te kunnen huisvesten zijn, naast een bestaande spoortunnel die hergebruikt kon worden, extra tunnels gegraven en een grote experimenteer-ruimte. Deze ruimte is heel vochtig en op enkele plekken is sprake van lekkage. Op die plaatsen is bekleding aangebracht om het lekwater weg te leiden. Ondanks het halfduister in de gangen zijn op enkele plekken algen en sprietjes van kalkaan-groei aan het plafond te zien.

We gaan eerst naar de ruimte waar de lasers en laserstabilisatiesystemen staan opgesteld. Voordat we naar binnen mogen moeten we eerst cleanroom-overalls en 'sloffen' aan. In deze hal krijgen we tekst en uitleg van professor Yoshio Saito. In de vacuümkamers voor de lasersyste-men zitten trillingsdempers die ervoor moeten zorgen dat trillingen van de om-geving niet doordringen tot de optische apparatuur. Dit wordt gedaan met hori-zontale en verticale filters. De verticale dempers, zogenaamde GAS (Geometric Anti Spring)-filters, zijn bij Nikhef ge-test. De horizontale filters zijn *inverted pendulums* en *pendulums in cascade*. Het is indrukwekkend hoe groot de vacuüm-kamers zijn.

Nadat we dit gezien hebben kan de clean-roomkleding weer uit en gaan we naar een van de tunnels met daarin de 3 kilo-meter lange vacuümbuizen. Gedurende

de aanleg van de ondergrondse ruimte zijn de reeds gefabriceerde onderdelen voor de detector in de nabijheid opgesla-gen en onder vacuüm gehouden. Tijdens de opbouw van de armen zijn de buis-segmenten met droge lucht belucht en zo snel mogelijk aan elkaar gekoppeld. Elke buis wordt gepompt door zes pompeen-heden, dus om de 500 meter een pomp-eenheid!

De vacuümbuizen zijn samengesteld uit 500 segmenten: pijpen van 12 meter lengte en een diameter van 0,8 meter en een plaatdikte van 8 mm. Het gebruikte materiaal is SS304L. De pijpen zijn in-wendig elektrolytisch gepolijst en daarna gereinigd met demiwater. De  $R_{\max}$  was daarna  $2,5 \mu\text{m}$ . Tussen de pijpen zitten balgen. Tussen de pijpen wordt een seal gebruikt die is gemaakt van rvs-pijp. De pijpstukken worden verbonden met klemmen. Het hele systeem is 20 uur lang uitgestookt op  $200^\circ\text{C}$ . Na dit proces en 100 uur pompen was de outgassing rate:  $10^{-9} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ .

De vacuümdruk moet beter zijn dan  $2 \times 10^{-7} \text{ Pa}$  om nauwkeurig genoeg te kun-nen meten. Het kost een maand of vier om die druk te bereiken. Elke buis wordt afgepompt met zes turbomoleculair-pompen met een pompsnelheid van 3000 l/s elk.

Als de specs worden gehaald dan moet deze detector lengteveranderingen van  $10^{-20} \text{ m}$  kunnen meten. Een proton is

ongeveer  $10^{-15} \text{ m}$ . Deze detector kan dus nog  $10^5$  maal kleiner meten. Een indruk-wekkend instrument!

### Kansai Airport ondergelopen

Als we weer uit de tunnel naar buiten komen blijkt dat het al flink geregend heeft. Chauffeur en gids houden de tijd nauwkeurig in de gaten en zo komen we op tijd aan in Toyama. Vanuit Toyama brengt de Shinkansen ons met een snelheid van gemiddeld 270 km per uur naar onze volgende bestemming. Dat blijkt tot onze verrassing niet Tokio te zijn, maar het voor ons geboekte hotel ligt 60 kilo-meter ten oosten daarvan, bij Tsukuba. De tyfoon kunnen we gelukkig achter ons laten.



De Shinkansen die ons met 270 kilometer per uur naar Tokio bracht, weg van Jebi.



Een van de gevolgen van Jebi: Kansai Airport in Osaka staat onder water en is niet meer bereikbaar omdat een schip tegen de brug van de enige toegangsweg is aangewaaid.



Aardbeving in zee bij Fukushima, die ons in Tsukuba (blauwe stip) wekte.

De omvang en de gevolgen worden pas de volgende dag duidelijk. Men zegt dat het de ergste tyfoon in 25 jaar was, wat ook wordt bevestigd in de metro door een goed Engels sprekende Japanner die nieuwsgierig is naar ons bezoek aan zijn land. De beelden die op het nieuws voorbijkomen geven pas een duidelijk beeld. Kansai Airport in Osaka is niet meer toegankelijk omdat een tanker door de

storm is losgeslagen en tegen de verbindingbrug naar het vliegveld is gewaaid. Zowel de twee spoorlijnen als de enige toegangsweg zijn beschadigd. Kansai Airport ligt op een kunstmatig aangelegd eiland. Toen we hier op 1 september aankwamen, merkten we nog op dat ze dat hier wel voor elkaar krijgen, maar wij in Nederland niet. Nu staat het eiland echter volledig onder water en is alleen nog voor watervliegtuigen toegankelijk. De schade is enorm. In totaal vallen elke dag rond 400 nationale en internationale vluchten uit. Het vliegveld wordt dagelijks gebruikt door ongeveer 80.000 reizigers die nu dus niet meer kunnen vliegen. Daarnaast zijn nog eens twee miljoen huishoudens in de regio getroffen door stroomuitval. De beelden van meters hoge golven, een berg opgevouwen containers en per-

sonenauto's, aardverschuivingen; daar verbleken de beelden van omgevallen vrachtwagens en hijskranen tijdens onze herfststormen bij. Niet alleen de zwaartekrachtgolven bij KAGRA hebben indruk gemaakt, maar ook deze tyfoon die met 162 km per uur en windstoten tot 216 km per uur over Japan is geraasd. Gelukkig zijn we op het nippertje de dans ont-sprongen.

Toch maken we nog iets mee van het Japanse natuurgeweld: de volgende ochtend worden we vroeg gewekt... door een aardbeving. Het epicentrum ligt ver weg, in zee bij Fukushima. Bij ons in Tsukuba voelen we dit als een schok met kracht 3 op de schaal van Richter. Heel Groningen tot en met Den Haag staat in zo'n geval op zijn kop, maar in Japan draai je je nog eens om in bed en slaap je lekker verder.



De resolutie van de TEM-systemen van JEOL is indrukwekkend: atomen kunnen ermee in beeld gebracht worden.



Bezoek aan de Japan Vacuum Show in Yokohama.

### JEOL SEM- en TEM-systemen

Woensdagochtend 5 september gaan we al vroeg op pad voor een lange treinreis van Tsukuba ten oosten van Tokio naar Tachikawa ten westen van de hoofdstad. Op een station waar we van de ene trein op de andere overstappen, worden we opgevangen door de sales manager Europa en VS van JEOL (Japan Electron Optics Laboratory [3]). Hij reist met ons mee naar het laatste station en zorgt ervoor dat taxi's ons naar het hoofdkwartier van JEOL brengen. Iedereen zit om ongeveer 9.50 uur klaar, maar als er 10.00 uur op de agenda staat, dan beginnen we echt stipt om 10.00 uur. We worden welkom geheten door de heer Tazawa, waarna Cristian kort toelicht wie we zijn, wat we doen en wat de NEVAC is.

Hierna neemt de heer Watanabe het woord. Hij vertelt dat JEOL is opgericht in 1949. Er werken ongeveer 3000 medewerkers wereldwijd. In 2017 bedroeg de omzet ongeveer 1 miljard USD. Naast het hoofdkwartier in Tokio is er in Yamagata, in het noorden van Japan, een productieafdeling waar onder andere TEM's en SEM's geproduceerd worden. Per jaar worden er ongeveer 600 tot 700 SEM-systemen verkocht en tientallen high-end TEM-systemen. JEOL maakt onderscheid tussen vier expertisegebieden: toepassingen voor nanomaterialen, life sciences, IT / halfgeleiders en leefomgeving.

JEOL heeft wereldwijd kantoren, onder andere in Nieuw-Vennep en in Zaventem (B) vanwaar ze de klanten uit de Benelux bedienen. In totaal werken daar ongeveer

twintig werknemers en er staan ongeveer 300 werkende systemen in de Benelux. Na deze korte introductie worden de groepen verdeeld voor een rondleiding langs de SEM- en TEM-systemen en de lokale productiefaciliteiten van JEOL.

Tijdens de rondleiding bekijken we uitgebreid een productielijn voor bloedanalyse-apparatuur, een SEM en twee TEM's. Vooral de resolutie van de TEM-systemen is indrukwekkend: we zien losse goudatomen groot in beeld. Een recordresolutie van 40,5 picometer tussen twee GaN atomen is bereikt aan Tokyo University met één van de JEOL-systemen. Ook indrukwekkend is de functie om 2D-mapping te maken van atomen (*EDS map*). Door verschillende atomen in verschillende kleuren weer te geven ontstaat een perfect plaatje van kristalroosters en korrelgrenzen.

### Japan Vacuum Show

Na het bezoek aan JEOL stappen we weer in de taxi en worden we netjes bij het station afgeleverd. Met de trein gaan we op weg naar de Japan Vacuum Show (JVS) in Yokohama ten zuiden van Tokio. Binnen een dag kennen we het hele ov-systeem van deze miljoenenstad al op ons duimpje.

We lopen naar een mooi, maar nog niet afgebouwd complex. Rond de klok van half vier staan we bij de entree. Hier gaat Claud even in gesprek met een dame van de organisatie. Die dame haalt er iemand bij en die persoon haalt er op zijn beurt een nog hoger geplaatst persoon bij. Dan

worden we keurig en officieel welkom geheten en dat allemaal omdat we als referentie professor Saito van KAGRA hebben, die ons per mail uitnodigde naar de JVS te komen. Riens en Jurgen hadden eerder op de dag meer moeite met gratis binnenkomen en hebben uiteindelijk gewoon betaald (slechts 1000 yen, ongeveer 8 euro).

We worden begeleid naar de stand van ULVAC, leverancier van vacuümcomponenten en -systemen, en krijgen allemaal een tasje met promotiemateriaal van de standhouder. We worden rondgeleid over de stand en volgens mij hebben de Japanse begeleiders het idee dat we hen blijven volgen. Dat pakt dus weer even anders uit, al snel gaan we allemaal onze eigen Hollandse weg door de beurs (zie ook het artikel geschreven door Minte Mulder).

Er staan verschillende bedrijven met pompen, componenten, doorvoeren en systemen. Het blijkt dat de beurs eigenlijk gericht is op de binnenlandse markt. Standhouders die goed Engels spreken zijn schaars, maar zoals alle Japanners zijn ze erg vriendelijk en behulpzaam.

Tussen de stands door zijn open ruimtes waar de lezingen plaatsvinden. Ongebruikelijk voor ons, maar misschien is het hier de normaalste zaak van de wereld. De lezingen zijn misschien interessant, maar het blijft moeilijk, dat Japans voor ons Nederlanders. Een koffiehokje is in geen velden of wegen te bekennen. De beurs is niet echt groot, ondanks dat hij is samengevoegd met een beurs op het



Uitzicht op een van de bundellijnen van de KEK Photon Factory.



Het jaarlijkse groot onderhoud aan de scrollpompen van de synchrotron van KEK.



Dirk met Miki Satoshi bij KEK.

gebied van coaten. In anderhalf uur hebben we alles gezien en daarna gaat ieder zijn weg: een avondje Tokio ontdekken.

## KEK

Op 6 september bezoekt een deel van de groep KEK (National Laboratory for High Energy Physics). KEK is opgericht in 1971 als overkoepelend instituut voor elementaire-deeltjesfysica. KEK heeft twee campussen, één in Tsukuba en één in Tokai. Beide campussen hebben de beschikking over een breed spectrum aan apparatuur en versnellers. Op het grote terrein bij Tsukuba hebben we er één bezocht, de Photon Factory, onderdeel van het Institute of Materials Structure

Science. Hier worden op atomair niveau structuren onderzocht van zowel levende systemen als natuurlijke en kunstmatige materialen. De Photon Factory is een 2,5 GeV synchrotron met elektronen als versnelde deeltjes (In Tokai worden protonen versneld). De fotonen (synchrotronstraling) worden gebruikt in de diverse opstellingen / bundellijnen die aan de ring zijn gekoppeld om onderzoek te doen.

In eerste instantie was het bezoek aan KEK gecancelled. Er was geen antwoord gekomen op onze aanvraag voor een groepsbezoek. Maar toen Dirk Pootjes dit hoorde, contacteerde hij de dag voor het bezoek Miki Satoshi, die bij een Japanse firma werkt die hij vertegenwoordigt in Nederland. Miki is toevallig vandaag aanwezig bij KEK en via hem kunnen wij uiteindelijk toch binnenkomen. Als het ware via de achterdeur.

Deze Japanse firma is op dat moment bezig met hun jaarlijkse groot onderhoud aan alle droge scrollpompen bij KEK. Ongeveer een man of tien zijn daar ter plekke bezig. Doodse stilte bij het uitvoeren van den arbeid! Dus, geen muziek, zwijgzaam, geen herrie.

In de experimenteerhal zien we verschillende gebruikersopstellingen. Het ziet er allemaal perfect uit. Blijkbaar hebben zij daar in Japan nog genoeg geld voor. Verder verschilt er weinig met soortgelijke faciliteiten in Europa.

Door de tijdsdruk van het programma kunnen we er maar een dik uur blijven. Gelukkig hebben we toch voldoende tijd om 'vacuüm te snuiven' en dat allemaal uiteindelijk mogelijk gemaakt door Dirk.

## JAXA

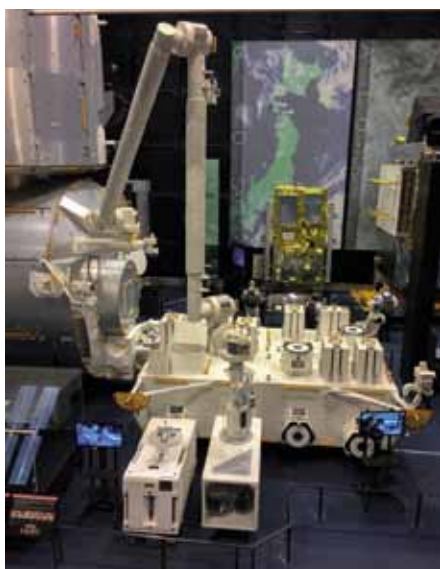
Het andere deel van de groep gaat op donderdag 6 september naar JAXA, de Japanse evenknie van NLR in Nederland. De laboratoria kunnen we niet bezoeken, dus we moeten ons beperken tot de tentoonstelling. Deze geeft een goed beeld van de Japanse activiteiten in het heelal vanaf de jaren zestig. Er worden 1-op-1 schaalmodellen geëxposeerd van vrijwel alle satellieten die ooit door Japan de ruimte ingeschoten zijn. De allereerste satelliet is niet veel groter dan een basketbal en goed voor 'eenvoudige' communicatie zoals telex. Ook zijn er latere satellieten te zien van duizenden kilo's, met de afmetingen van een vakantiewo-



Major Tom uit Nederland bij JAXA.



Een vakantiewoning in de ruimte.



Robotarm en werkplateau aan de buitenkant van ISS.

ning, voor alle denkbare communicatie en datatransport. Daarnaast worden de activiteiten van Japan in het ISS natuurlijk ruimschoots belicht.

## SMC

Donderdagmiddag worden we verwacht bij een fabriek van SMC [6] in de buurt van Tsukuba. Sylvester Engelen van SMC in Nederland (speciaal afgereisd naar Japan) en twee collega's van SMC Japan ontvangen ons op een treinstation niet ver van ons hotel. Zij hebben een bus geregeld om naar de fabriek te reizen. SMC is een groot bedrijf dat vooral pneumatische producten maakt, zoals actuatoren en kleppen, maar het is ook actief op het gebied van sensoren, temperatuur-



Sylvester Engelen vertelde over de hoog-vacuümproducten van SMC.



Groepsfoto bij de fabriek van SMC in de buurt van Tsukuba.

regelingen en hoog-vacuümproducten. Vooral dat laatste is natuurlijk interessant voor ons. Het bedrijf heeft verscheidene fabrieken over de hele wereld, waaronder vijf in Japan.

Bij de rondleiding die we krijgen in de fabriek wordt het indrukwekkende formaat ervan duidelijk. In deze fabriek worden vooral delen gemaakt van pneumatische cilinders en schokdempers voor allerlei toepassingen, maar ook vacuümkleppen. Voorbewerkte stukken aluminium worden aangeleverd en met behulp van CNC-machines tot een product verwerkt. Indrukwekkend om te zien is een 700 tons hydraulische pers waarmee uit een blok aluminium een pneumatische cilinder geperst wordt.

Ook krijgen we de productie van *vacuum disk bellows* te zien. Hierbij worden rvs-ringen aan elkaar gelast door middel van elektronenstraallassen. Na de productie wordt een lektest uitgevoerd.

Hoog-vacuümproducten zoals kleppen worden voor assemblage schoongemaakt in een *cleaning room* waarna ze in een

cleanroom worden geassembleerd en getest. Een hoogstaand product van SMC is de XGTP slit valve. Deze klep zorgt voor minder contaminatie doordat deze met een lagere persluchtdruk gebruikt kan worden, waardoor de afdichting minder hard wordt ingedrukt wat weer minder deeltjes afgeeft aan het vacuüm. De deeltjesafgifte wordt zo met een factor vijf verminderd.

Na het bezoek worden we door Sylvester namens SMC Nederland uitgenodigd voor een etentje in Tokio. En niet zomaar een etentje in een restaurant, maar op een boot die vanaf de rivier naar de baai van Tokio vaart, waar we een schitterend uitzicht hebben op de nachtelijke skyline van de miljoenenstad, onder het genot van sushi en andere Japanse lekkernijen. Een prachtig hoogtepunt van onze reis.

## Turbopompen bij Edwards

Vrijdag 7 september worden wij strikt om 14.00 uur ontvangen bij Edwards [7] in Yachiyo/Chiba door één dame en drie heren van deze MagLev-turbopom-



Varen door de baai van Tokio, op uitnodiging van SMC, een hoogtepunt van de reis.

penfabriek waar maandelijks circa 1200 pompen worden geproduceerd.

De sales manager begroet ons in het Nederlands met “goedemorgen”. Hij heeft het Nederlands dat we hem op de Japan Vacuum Show geleerd hebben goed onthouden. Daarna volgen eerst veiligheidsinstructies.

De CEO, Hideki Enosawa, verzorgt de introductie. Hij is verbaasd over de grootte van de groep. Vele Japanners beheersen het Engels maar matig, dus ook hij leest voor van de sheets. Hij vertelt over de magnetisch gelagerde turbopomp waarbij geen mechanisch contact aanwezig is. Dit type lagering zorgt voor minder trillingen, een lager geluidsniveau en minder onderhoud en geen smering van lagers. Deze turbopomp met een pompsnelheid van 1300 l/sec wordt gebruikt in de volgende industrietakken: halfgeleider, LCD, zonnecellen, coating en elektronenmicroscopie.

Seiko Seiki is in 1957 opgericht met de fabricage van magnetisch gelagerde (Mag-Lev) turbomoleculairepompen en het bedrijf is daarna overgenomen door Edwards. Edwards zelf is een bijna 100 jaar oude firma die in 2014 is opgegaan in de Zweedse Atlas Copco groep. Deze groep heeft haar productie verspreid over ruim twintig landen met een totaal van 44.000 medewerkers. Een grote organisatie dus waarvan wij vandaag maar een klein deel te zien krijgen. Naast de locatie in

Yachiyo heeft Edwards in Japan ook nog een fabriek in Ina (Nagano) en drie verkoopkantoren en negen service centers. In Korea staat de grootste fabriek (CheonFactory). De CEO sluit af met een flitsende promotiefilm met typisch Japanse ‘watervalmuziek’ op de achtergrond.

Rients vervolgt de sessie met een presentatie over het reilen en zeilen van de NEVAC. Hij maakt daarbij reclame voor de vakcursussen en het cursusboek van onze vereniging. De CEO is zeer geïnteresseerd in de niveaus die aangeboden worden.

Vervolgens gaan we in drie afzonderlijke groepen door de fabriek. Iedere groep wordt begeleid door een manager die de Engelse taal machtig is en een medewerker die de technische achtergrond heeft om een goede uitleg te verzorgen. De manager verzorgt de vertaling.

Duidelijk is te zien dat de 1300 l/sec turbopomp hier de belangrijkste pomp in de fabriek is. We mogen foto’s maken van showmodellen van de diverse producten. Als wij een showmodel ontdekken met het dubbel uitgevoerd Holweck-principe, wordt ons vriendelijk verzocht geen foto’s te maken en geen vragen te stellen. Blijkbaar stuiten we hier op een nieuwe ontwikkeling die nog niet gepatenteerd is. We krijgen een kijkje in de keuken bij de assemblage van magnetische lagering met sensoren en het balanceren van het rotorgedeelte. Daarnaast toont men ons een turbopompbehuizing waarbij het bovenste gedeelte direct voorzien is van een balgconstructie, dit ter voorkoming van trillingen.

Als buitenstaanders willen onze twee introducees wel eens een pomp aanraken. Maar dat gaat zomaar niet. Er worden



Groepsfoto bij Edwards.





Afscheidsdiner van Shinkansen-allure.

witte handschoenen bijgehaald en zo kunnen de dames de turboschoepen van de pomp betasten. Na het turbo aaien mochten de handschoenen als souvenir mee naar huis.

Van de gloednieuwe wasstraat in de clean room mochten we ook foto's maken, weliswaar met weerkaatsing van de glasramen en Japanse teksten.

Na de rondleiding gaan we terug naar de meeting room. Daar staat voor ons een kop koffie klaar. Tot nu toe hebben we bij bedrijven alleen maar water gekregen. Voor iedereen is er ook een goodiebag met reclamemateriaal en een mooie vierkleurenpen. In de hal wordt een groepsfoto gemaakt voor het grote Edwards logo. Daarna wandelen we terug naar het treinstation. Een leerzame middag in een schone, opgeruimde Japanse fabriek.

### NEVAC-Shinkasendiner en thuisreis

Vrijdagochtend is iedereen vrij en druk bezig met het inslaan van souvenirs. Maar Claud heeft als reisleader nog een klusje te klaren: het maken van een reservering bij een restaurant voor het traditionele NEVAC-afscheidsdiner. Donderdag in het centrum van Tsukuba was dat niet gelukt. Restaurants waren ofwel te klein, ofwel volgeboekt, of de manager was er niet zodat er geen zaken gedaan konden worden. De oplossing ligt in dit geval niet ver van het hotel. Daar is een vrij grote sushibar waar de hapjes per

Shinkansen-treinmodel over een lopende band naar de tafels worden aangevoerd. Het restaurant heeft voor die avond nog genoeg plaats. Het enige probleem is dat de medewerkster zegt dat de reservering alleen gemaakt kan worden na het downloaden van een Japanse app. Na protest en blijven glimlachen en het afgeven van een visitekaartje met daarop de datum en het aantal personen is ze toch bereid de reservering te noteren. Zo kunnen we de laatste avond de reis gezamenlijk afsluiten onder het genot van lekkere Japanse hapjes en biertjes. Het is de gewoonte dat alle lege bordjes en kommen op tafel blijven staan, dus daar worden al snel verschillende torens en bruggen van gebouwd. Uit blikken van andere gasten maken we op dat hier eerder nog nooit zo hard is gelachen. De obers moeten uiteindelijk ook enorm giechelen om onze (voor Nederlandse begrippen lage) rekening: zo'n lange bon hebben ze nog nooit uitgedraaid!

Het grootste deel van de groep vertrekt de volgende ochtend met een bus naar het Narita-vliegveld van Tokio. Op zaterdagmiddag 8 september landen ze weer op Schiphol, waarna het nog uren duurt voordat eenieder thuis is omdat... de treinen niet willen rijden. Een ondenkbare situatie als je net uit Japan komt waar je de klok gelijk kunt zetten op de trein.

De zeven achterblijvers hebben een iets groter probleem: zij zouden vliegen vanaf

Osaka, maar Kansai is nog steeds buiten gebruik. Uiteindelijk reist iedereen weer naar Tokio, waar de groep opsplijt in en kleine groepjes een alternatieve vlucht krijgt. De laatste drie reizigers dreigen door KLM via Hong Kong getransporteerd te worden, juist op het moment dat de volgende tyfoon Mangkhut daar op volle sterkte raast. Gelukkig komt onze nationale trots nog tijdig tot inzicht en regelt een ommetje van 5000 kilometer via Singapore, zodat iedereen op dinsdag 18 september, weliswaar anderhalve dag later dan gepland, weer veilig thuis is.

Dit verslag is samengesteld uit stukjes geschreven en foto's gemaakt door de deelnemers: Claud Biemans, Jaap Brand, Martijn Dijstelbloem, Harry van Driel, Riens de Groot, Nicole van Gumster, Ben Hagelüken, Conny Hagelüken-Paping, Cristian van Helvoirt, Theo Klinkhamer, Minte Mulder, Berend Munneke, Dirk Jan Pootjes, Eddy Rietman, Frans van Roosmalen, Martijn de Roos, Tom Schouten, Gerrit van der Straaten, Harry Timersma, Jurgen Tomassen, Karine van der Werf, Ronald Wolbeer

### Referenties

- 1 [www.asm.com](http://www.asm.com)
- 2 [gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en](http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en)
- 3 [www.jeol.co.jp/en](http://www.jeol.co.jp/en)
- 4 [www.kek.jp/en](http://www.kek.jp/en)
- 5 [global.jaxa.jp](http://global.jaxa.jp)
- 6 [www.smc-pneumatics.nl](http://www.smc-pneumatics.nl)
- 7 [www.edwardsvacuum.com](http://www.edwardsvacuum.com)

# Nieuws van de Japan Vacuum Show

Minte Mulder

Op woensdag 5 september 2018 waren we met de studiegroep Japan op bezoek bij de Japanse Vacuümshow in Yokohama. Deze tentoonstelling was voornamelijk nationaal geïntereerd. Dat betekende dat de informatie veelal in het Japans was met voor ons onleesbare teksten. Toch was er voldoende informatie op vacuümtechnisch gebied om kennis op te doen. In het navolgende iets meer informatie over een paar vermeldenswaardige vernieuwingen in de vacuümtechniek.

## SC-10 Hybrid Smart Vacuum Gauge [1]

Drukgebied 1 atm -  $1 \cdot 10^{-7}$  Pa en restgas-analyse.

Een door de Japanse firma Vista-Vac op de markt gebrachte all-in-one (combinatie) drukmeter, waarbij meer meetprincipes zijn ondergebracht op één aansluitflens. De SC-10 bestaat onder andere uit de CC-10 Wide Range Gauge, een kwartskristal-frictiemanometer ( $10^5$  -  $10^{-1}$  Pa) en een koude-kathodemano-



meter ( $10^{-1}$  -  $10^{-7}$  Pa) opgebouwde meetkop. Interessant extra aan de SC-10: in het drukgebied beneden circa 50 Pa kan via een vacuümvenster en een CCD het golflengtespectrum van de Penningontlading in de koude-kathodemano- meter worden geanalyseerd en zo kan een indruk worden verkregen van de gassamenstelling in de meetcel.

De frictiemanometer is ontwikkeld door de Japans wetenschapper Masahiro Hirata (1983) en bestaat in essentie uit niets anders dan een simpel stemvorkvormig kwartskristal, zoals gebruikt in een polshorloge. Het kristal wordt als onderdeel van een elektronische hoogfrequente trillingskring in resonantie gebracht. De drukafhankelijke wrijvingsweerstand van het omringende gas vertaalt zich in een met de druk variërende impedantie. Deze impedantie wordt elektronisch ge-

meten en omgezet naar een drukschaal. Qua meetbereik en stabiliteit vormt het instrument een aantrekkelijk alternatief voor de alom bekende Piranimanometer. Voor nadere informatie over het meetprincipe en de werking van de frictiemanometer wordt verwezen naar het recentelijk verschenen boek *Vacuum Science and Technology* (Suurmeijer et al, 2016). Zoals reeds opgemerkt is de SC-10 niet alleen een totaaldrukmeter, maar beneden circa 50 Pa ook bruikbaar als partiële drukmeter. Dit gebeurt door de vanuit de Penningontlading geëmitteerde straling naar golflengte te analyseren via de CCD-detector achter een vacuümvenster. De in de ontlading aanwezige gasen stralen ieder met hun specifieke golflengte(s). Uit het golflengtespectrum kan daarom de gassamenstelling worden afgeleid, waarmee dus een spectrale restgasanalysator wordt verkregen.

Een restgasanalysator gebaseerd op het quadrupoolprincipe (QMS) kan worden gebruikt vanaf circa  $10^{-3}$  Pa. Bij hogere druk gaan oplaadverschijnselen optreden in de ionisatie ruimte van de ionenbron en kan er van een nauwkeurige gasanalyse geen sprake meer zijn. Een QMS is dus bij drukken boven circa  $10^{-3}$  Pa ongeschikt voor het meten van een betrouwbaar gasspectrum. Met een SC-10 kan daarentegen tot circa 50 Pa een goede indicatie worden verkregen van de gassamenstelling in een vacuümstelsel.

De SC-10 vormt om deze reden een goede aanvulling op een QMS tot een maximale druk van circa 50 Pa.

Via geschikte software (P-LOGGER) kan de CC-10 of SC-10 worden aangesloten op een pc. Aan de hand van een staafdiagram of een set van druk-tijd-diagrammen kan zo bij een relatief hoge druk inzicht worden verkregen betreffende de gassamenstelling in het vacuümstelsel. Een bijkomend voordeel van deze drukmeter is dat reeds in een vroeg stadium uit de gemeten verhouding stikstof/zuurstof kan worden vastgesteld of er een lek in het systeem zit. Dit lek kan eenvoudig via sproeien met He worden gevonden. In geval van lekkage zal bij sproeien immers de partiële heliumdruk in het druk-tijd-diagram toenemen.

Omdat in de CC-10 geen gebruik wordt gemaakt van een gloeidraad, is het instrument redelijk resistent tegen vervuiling. Aangezien echter de op het kwartskristal in de frictiemanometer aangebrachte elektrodes met bijbehorende bedrading zich alle in de meetruimte bevinden, is de bestendigheid tegen corrosieve en/of condenseerbare gassen/dampen echter beperkt. Vooral bij aanwezigheid van chemische bestanddelen waarbij sterke contaminatie optreedt, is voorzichtigheid geboden. In geval van ernstige vervuiling kan de drukmeter echter vrij eenvoudig worden gereinigd.

Meer gegevens verkrijgbaar bij: Vista Vacuüm Technology Solutions, (in Europa vertegenwoordigd door de Italiaanse firma VS & S). De CC-10 wordt ook geleverd door Televac en Tokyo Electronics (TOEL); en twee varianten van de kwartskristal frictiemanometer door Canon-Anelva.

[www.vista-vac.com/pg185.html](http://www.vista-vac.com/pg185.html)

### Opdampen door middel van een elektronenbundel (E-gun)

Het voordeel van het opdampen met een E-gun is dat de elektronenbundel goed gefocuseerd kan worden en het verdampte materiaal vrij uitzicht heeft op het op te dampen substraat. Ook de depositiesnelheid kan, door de elektronenstroom te variëren, nauwkeurig worden ingesteld, zodat een nauwkeurig gedefinieerd laagje materiaal kan worden opgedampt. Dit zal door gebruik te maken van een zogenoemde *liner* enigszins worden vertraagd, maar nog altijd is de depositiesnelheid goed instelbaar. De E-gun zelf wordt watergekoeld zodat verontreiniging vanuit de kroes verwaarloosbaar klein is.

Doordat de elektronenbundel direct op het te verdampen materiaal valt, zal boven het impactpunt een verhoging van dampdichtheid zijn van het op te dampen materiaal. Deze dampconcentratie zal leiden tot verstrooiing van elektronen en ionisatie van het op te dampen materiaal. Met als mogelijk gevolg: doorslag en mogelijke oplading van het substraat. Dit neveneffect vormt een ernstig nadeel van E-beam-opdampen. De gevormde ionen kunnen worden ingebouwd in de op te dampen laag, hetgeen met name bij halfgeleiders en isolerende materialen problemen kan geven.

Oplaadproblemen kunnen worden vermeden door gebruik te maken van een opdampschuitje. Door weerstandverhitting kan het in het schuitje aanwezige materiaal worden verdampt. De depositiesnelheidsregeling is traag en er zal veelal contaminatie optreden vanuit het gebruikte schuitje. Dit is daarom een minder nauwkeurige manier van opdampen.

Op de Vacuümshow werd door de firma JEOL een opdampmethode getoond waar het op te dampen materiaal werd verwarmd door middel van elektronenbombardement op de *onderkant* van de opdampkroes.

Van dit geheel was op de posters helaas alleen uitleg beschikbaar in het Japans. Nadere verzoeken om inlichtingen wer-



Opdampen door middel van weerstand verhitten.



E-gun turret-principe.

den afgedaan met de nietszeggende opmerking dat de opdampmethode bedoeld was “voor de binnenlandse markt”. Ook kregen we geen gegevens mee. Aan

de hand van een paar zelfgemaakte foto's zet ik de voor- en nadelen van deze bron ten opzichte van de E-gunmethode op een rijtje.



Opdampmaterialen	Toepassingsvoorbeeld
MgF <sub>2</sub> , LiF, CaF <sub>2</sub>	AR (ultraviolet tot infrarood)
YF <sub>3</sub>	AR, infrarood doorlatend membraan
LaF <sub>3</sub>	AR, laserspiegels
WO <sub>3</sub>	Electrochrome film
SiO	AR (infrarood), beschermende film
Si, Ge	infrarood doorlatend membraan
Al, Ag, Cu	elektrodefilm, reflecterende film

Opdampbron zoals getoond door JEOL op de JVS met daarbij een tabel van mogelijk op te dampen materialen, vertaald uit het Japans.

1. Groot voordeel: er is geen sprake van ionisatie in de 'opdampwolk' boven de kroes, hetgeen grote voordelen biedt bij het opdammen van (half)geleidende substraten. In deze zin kan de methode vergeleken worden met een opdammschuitje.
2. Ik verwacht dat door de grote massa van de kroes de depositiesnelheid slecht en traag te regelen zal zijn. Wel zullen door een groot smeltbad hoge opdampsnelheden mogelijk zijn.
3. Er was niet af te leiden van welk materiaal de kroes zelf gemaakt was. Wel bleek het mogelijk om materiaal op te dampen tot een smeltpunt van 1500 °C.

## Werkgroep VCCN

De Vereniging Contamination Control Nederland (VCCN) is begin van dit jaar gestart met de werkgroep 'Nano, Micro, Productreinheid'. Deze werkgroep heeft als doel een richtlijn op te stellen hoe schoon te produceren voor de micro- en nano-industrie. De richtlijn heeft als doel de gehele keten te beschrijven: om te beginnen met hoe de eindgebruiker de vacuümreinheidseis moet opstellen, realistisch en meetbaar. En van materiaalselectie tot hoe het product uiteindelijk te verpakken. De insteek is te kijken of vacuümreinheid via de cleanroomnorm 14644-9 (deeltjescontaminatie) en 14644-10 (chemische contaminatie) te specificeren is en ook aan te tonen. De richtlijn wordt dus van belang voor zowel de opdrachtgever/afnemer als de leverancier van het product.

Freek Molkenboer

## Einstein Telescoop en vacuümtechniek

Op 27 september vond de Big Science Industriedag plaats bij VDL Science & Technology in Eindhoven. Het middagprogramma was gewijd aan de ontwikkeling van de Einstein Telescoop (ET, zie ook *NEVAC blad* 2018-1) en ET Pathfinder, een R&D-faciliteit waar de technologieën voor de Einstein Telescoop ontwikkeld worden. Een belangrijk deel van het beschikbare geld zal besteed worden aan vacuümtechniek. Frank Linde (Nikhef) gaf een presentatie over zwaartekrachtsgolven, ET, ET Pathfinder, en de rol van de industrie daarbij. Zijn presentatie staat online:

<https://bit.ly/2ERfgNf>

Meer informatie bij Jan Visser,  
ILO voor de Einstein Telescoop,  
[janvs@nikhef.nl](mailto:janvs@nikhef.nl)



4. Er kan gebruik worden gemaakt van liners zodat meerdere materialen opgedampt kunnen worden vanuit een en dezelfde bron. Wel zal een liner de instelling nog trager maken.
5. Wanneer aan de dikte van de op te dampen laag hoge eisen gesteld worden, lijkt mij deze bron ongeschikt vanwege de traagheid van de regeling van de kroestemperatuur en daarmee van de opdampsnelheid. Of deze JEOL-opdampmethode een verbetering is ten opzichte van een wolfraamschuitje, zal moeten blijken.

Volgens mij iets om over na te denken.

Minte Mulder  
Mulvac

Training en Technisch Advies  
[mintemulder17@gmail.com](mailto:mintemulder17@gmail.com)

## Referentie

- 1 Het verslag over de SC-10 Smart Vacuum Gauge is tot stand gekomen met medewerking van Bert Suurmeijer, hoofdauteur van het boek *Vacuum Science and Technology* (2016) en van de binnenkort te verschijnen geheel vernieuwde edities van het *Basisboek Vacuümtechniek* (HBO/academisch niveau) uit 2000 en het aloude MBO-boek *Vacuümtechniek* uit 1989.

# Your European Vacuum supplier



**VACUUM TECHNOLOGY**  
**Hositrad**

De Wel 44  
3871 MV Hoevelaken  
Holland

Postbus 114  
3870 CC Hoevelaken  
Holland

phone (+31) 33 - 2537210 - fax (+31) 33 - 2535274  
info@hositrade.com - www.hositrade.com

# Vacuümtechniek in de technische speeltuin van ARCNL

Claud Biemans

**Reinout Jaarsma werkt sinds 2015 bij het Advanced Research Center for Nanolithography (ARCNL) als onderzoekstechnicus *high-harmonic generation and EUV science*. Eind mei zoek ik hem op in het tijdelijke gebouw op het Amsterdam Science Park, waarnaast het nieuwe onderkomen van ARCNL vrijrijst. Het onderzoekscentrum bestaat sinds oktober 2014 en is een publiek-private samenwerking tussen de UvA, VU, NWO en ASML. Er wordt fundamenteel wetenschappelijk onderzoek gedaan naar onderwerpen die ASML in staat stellen verdere stappen te maken bij de ontwikkeling van lithografiemachines voor chips.**

Na zijn studie aan de Leidse instrumentmakers School (LiS), richting metaal, begon Reinout zijn eigen bedrijf in 3D-printen. “Toen ik me realiseerde dat daar geen markt in zat, ben ik gaan solliciteren. Ik hoorde dat er een functie was op de werkplaats van AMOLF en ik

werd uitgenodigd. Ik vertelde wat ik leuk vond: programmeren, elektronica, eigenlijk alles. Toen vonden ze dat de werkplaats niet echt iets voor mij was, want daar krijg je een tekening en dat ga je dan maken. Ik werd toen wel doorverwezen naar ARCNL. Diezelfde week heb ik daar

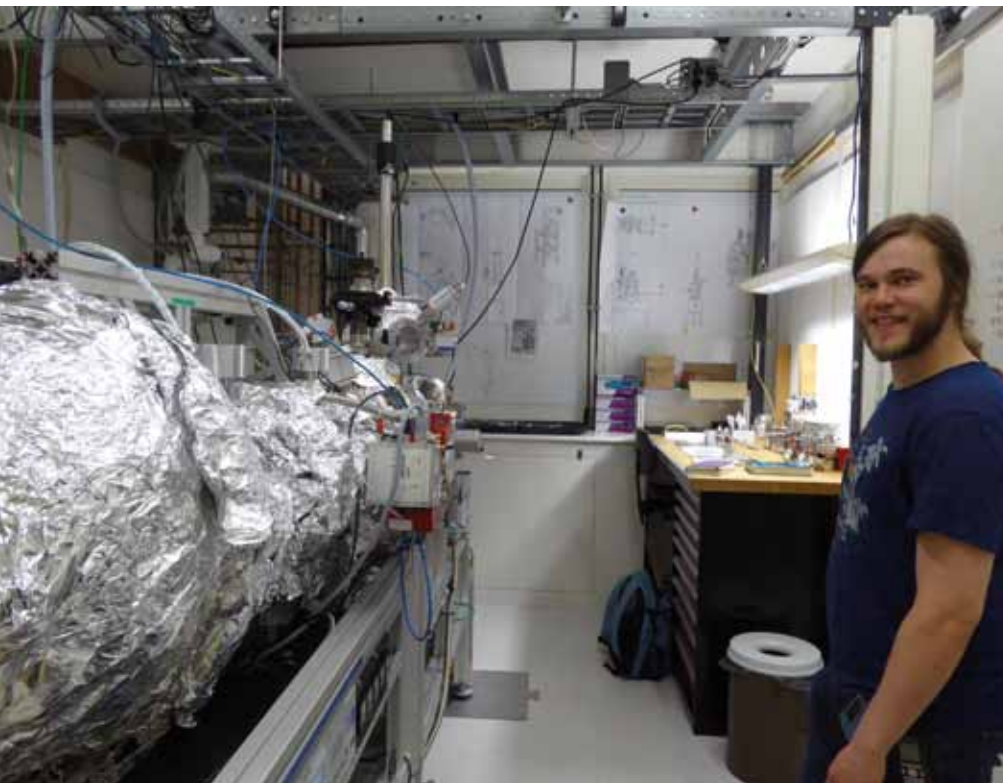
een gesprek gehad met dr. Ottoson en toen ben ik meteen aangenomen. Dat was goed om te horen. Hier ben ik eigenlijk de brug tussen de wetenschapper en de werkplaats.”

“Ik werkte met Ottoson samen aan de ontwikkeling van een röntgenfoto-elektronspectroscop (XPS). Na drie maanden moest de hele XPS klaar zijn en resultaten geven. Daar heb ik mijn schouders onder gezet. Dat ging wel ten koste van mijn hbo-studie die ik er nog naast deed. Maar het apparaat staat er wel, we kunnen er metingen mee doen. Na een jaar is Ottoson weggegaan en sindsdien heb ik het een beetje overgenomen en ben ik metingen gaan doen voor AMOLF en ARCNL. Naast de XPS ben ik ook verantwoordelijk voor het opbouwen van het *high-harmonic generation* laboratorium. Dat wordt binnenkort het hart van ARCNL.”

## Steile leercurve

De cursus EVT kwam voor Reinout als geroepen. “Ik heb op de LiS een maandje cryogene labtechniek gehad, maar toen ik hier begon bij ARCNL wist ik niet eens wat een turbopomp was. Het was wel een steile leercurve, zeker ook met de deadline van de XPS erbij. Want ik werk hier met een van onze grotere vacuümsystemen. Ik begreep dat al mijn collega's de cursus vacuümtechniek hadden gedaan. Daarom heb ik ook deelgenomen. Alles in een korte tijd, dat was zwaar.”

“Voordat ik begon met de cursus was ik wel getraind door mijn collega's, met name Arend-Jan van Calcar. Als er iets onduidelijk was, stopte hij even met werken en legde hij het uit. Dat is ook de reden dat ik met weinig voorkennis in zo'n



Reinout Jaarsma bij de XPS waarmee hij metingen doet voor ARCNL en AMOLF.

korte tijd de XPS heb kunnen bouwen, ik kon mijn vragen aan hem kwijt.”

Met XPS kan de samenstelling van oppervlakken van materialen onderzocht worden. De energie wordt gemeten van elektronen die uitgezonden worden als een materiaal ioniseert onder invloed van zachte röntgenstralen. Zo kunnen bijvoorbeeld veranderingen van de chemische structuur en samenstelling van fotoresists en perovskiet-zonnecellen onderzocht worden.

### Differentiaal gepompte lens

Reinout neemt me mee naar de ruimte in het gebouw van AMOLF waar de XPS staat: “Dit is mijn technische speeltuin. XPS is gebaseerd op het foto-elektrisch effect. De röntgenstralen worden opgewekt door hoogenergetische elektronen die op een stuk aluminium gericht worden. Vervolgens filteren we daar met een kwartsspiegel de alfa-K-lijn uit (1,486.7 eV). Die hoogenergetische fotonen vallen op het sample. Daar komen elektronen vanaf en die gaan door de differentieel gepompte stage. Vervolgens belanden ze in de *hemispherical deflection analyser* en krijg je een bindingsenergiespectrum. Daarmee kun je definiëren welk atoom het is. Door de oppervlakte van de pieken te nemen, kun je ook de verhouding van elementen zien, als je rekening houdt met de ionisatiewaarschijnlijkheid van de onderzochte elementen.”

“Het nadeel is natuurlijk dat je elektronen uit je sample slaat. Die moeten ergens weer vandaan komen. Als je sample een isolator is, is er sprake van oplading en klopt er niets van het spectrum. Dat kun je oplossen door middel van een *neutralizer gun*. Je kunt argon negatief laden en sproeien over het oppervlak van het sample. Zo vul je de elektronen aan.”

“In de XPS zelf hebben we  $10^{-9}$  mbar, maar in mijn kamer met het sample kan ik 20 mbar hebben. Daar kan ik ook water in spuiten. Dat klinkt heel tegenstrijdig, water in een vacuüm. Maar het kan, omdat er een differentiaal gepompte (elektrostatische) lens tussen zit en daar staan vier turbo's en vier dikke scrollpompen

## Twee onderzoekstechnici met een 9 voor het examen EVT

Dit jaar waren er twintig kandidaten voor het examen Vacuümtechniek (VT) en dertien voor Elementaire Vacuüm Techniek (EVT). De beste cijfers voor de examens, gehouden onder auspiciën van de NEVAC, zijn gehaald door twee onderzoekstechnici. Léon Römers (DIFFER) en Reinout Jaarsma (ARCNL) slaagden beiden met een 9 voor EVT. Tijdens de interviews, afgelopen zomer, vertelden ze wat ze van de cursus vonden en hoe ze de vacuümtechnische kennis toepassen in hun werk.

aan te pompen. In de lens zitten pinholes, waar niet al het gas doorheen komt, dat wordt afgebogen naar de turbo's.”

Reinout laat het spectrum zien van een platinapellet die gebruikt wordt voor opdampen. “We konden met de XPS zien dat er zuurstof gebonden zit aan het platina. Platina is dan wel een edelmetaal, maar inmiddels weten we dat het zo edel niet is, het kan gewoon reageren als je de juiste condities creëert. Om de kristalstructuur te verbeteren is deze pellet verwarmd nadat die getrokken is, zodat die een beetje flexibel werd, om er vervolgens pellets van te knippen. Door die warmtebehandeling kreeg blijkbaar zuurstof de kans om te reageren met het oppervlak.”

Een paar maanden na het NEVAC-examen is Reinout bezig met het calculeren van een heel vacuümsysteem voor een wetenschappelijke groep van ARCNL. “Dat is een differentiaal gepompt systeem waar we twee supersone gasjets van maximaal 10 bar inspuiten. Het gas wordt in een cel gespoten en direct afgepompt met een grote schroefpomp. Deze cel zit met twee pinholes verbonden aan de volgende stage, waar een turbo het verder afpompt. Vervolgens is die kamer verbonden met een capillair om goedkoop nog een drukval te creëren. Achter het capillair zit gevoelige apparatuur die bij een druk van maximaal  $10^{-6}$  mbar functioneert. Op basis van mijn berekeningen ben ik nu pompen aan het aanschaffen.”

### Het begrijpen van je drukmeting

Reinout heeft goede ervaringen met de cursus EVT gegeven door docenten Dick Langeveld en David Schijve. “Het lag me, dus ik vond het gemakkelijk. Het belangrijkste dat ik leerde was alle basiskennis van vacuüm. Een kernpunt van de vacuümcursus is niet zozeer wat je meet, maar *hoe* je meet. Een voorbeeld uit de cursus was de situatie met twee verschillende drukmeters op een vacuümketel waar helium in zit. De ene drukmeter is een Pirani en de andere een Bayard-Alpert (B&A, zie ook het artikel van Theo Mulder in dit nummer). Ze geven allebei een foute drukwaarde aan. Hoe kan dat? Dat komt door de manier waarop er wordt gemeten; andere eigenschappen van het gas spelen een rol in de drukmeting. Een Pirani werkt op warmteverlies. Helium geleidt warmte goed, dus de Pirani geeft een druk aan die hoger is dan in werkelijkheid. Daarentegen werkt de Bayard-Alpert door middel van ionisatie. Helium is lastig te ioniseren dus de Bayard-Alpert zegt dat de druk lager ligt dan in werkelijkheid. Dat soort contrasten leer je interpreteren, het begrijpen van je drukmeting.”

Als hij een tip voor de cursus mag geven, zegt hij: “Durf interactie aan te gaan. Dat geeft meer energie. Alleen stilzitten en luisteren, daar kakt iedereen van in. Meer interactie maakt de boel leuker en je leert er meer van.”

# Hightechproducten maken met een klein team

Claud Biemans

**Léon Römers is fijnmechanisch onderzoekstechnicus bij DIFFER. Dat houdt in dat hij, samen met vijf anderen, in de werkplaats onderdelen maakt, of samenstellingen daarvan voor opstellingen en apparatuur in het laboratorium. Na zijn opleiding hts fijnmechanische techniek wilde hij het liefst met zijn handen werken.**

Römers: “Mijn opleiding past niet helemaal bij mijn functie. Gewoonlijk wordt je op de hts opgeleid voor een leidinggevende functie. Als je dan net van school komt, ben je 22. Dan moet jij oudere mensen vertellen hoe ze dingen, die je zelf nog nooit gedaan hebt, efficiënter en beter kunnen doen. Ik dacht: dat gaat niet werken. Ik wilde de dingen graag zelf in de vingers krijgen. Dat is me altijd goed bevallen en ik heb altijd in mbo-functies gewerkt. Je neemt de hbo-opleiding natuurlijk wel mee als een stuk bagage. De meeste collega's hebben een mbo-oplei-

ding gedaan, of de Leidse instrumentmakers School. Ik kruip wat eerder in de boeken, lees een handleiding, of zoek even iets op op internet. Een collega pakt het dan wat praktischer aan. Ik denk dat we elkaar goed aanvullen. Het is leuk om samen de goede richting op te gaan.”

## De achtergrond van vacuümtechniek

Vanuit de werkplaats was Léon wel bekend met vacuümtechniek, zoals het maken van vacuümaansluitingen en afdichtingen. “Iedereen die hier werkt heeft ermee te maken. Niet dat wij vacuümop-

stellingen opbouwen en bedrijven, maar wij weten wel hoe schoon en nauwkeurig dingen moeten zijn. Je weet ook wat de kwetsbare delen zijn, hoe een afdichting moet werken en waar je voorzichtig mee moet zijn. Eigenlijk was de wens om wat meer te weten van de achtergrond van vacuümtechniek. Dat was de reden om de cursus te doen. Het hoofd van de afdeling stimuleerde ons: het zou prettig zijn als nog wat mensen die cursus zouden hebben.”

In eerste instantie begon Léon met de cursus VT. “Door de dikte van het boek, de moeilijkheidsgraad van de sommen en het daarna niet meer zullen toepassen daarvan, heb ik de overstap gemaakt naar EVT. Ik dacht ook dat VT me thuis te veel tijd zou kosten om er echt goed in te duiken. Gelukkig was de overstap geen probleem. Het examen ging prima. Ik heb er alsnog best veel tijd ingestoken. Misschien is het cijfer 9 daarnaar, maar het kan ook zijn dat het me gewoon goed af ging.”

## Persoonlijk of klassikaal

“De docent was Theo Mulder. Ik vond zijn manier van lesgeven aansprekend. Hij vertelt over up-to-date techniek, maar ook de geschiedenis heeft zijn interesse. Het is leuk om achtergronden te horen van zaken die eens hebben gespeeld en tot verbeteringen hebben geleid. De opzet is heel breed en daarom ook geschikt voor het gezelschap dat de cursus volgde. Wanneer mensen specifiek vragen hadden ging Theo daarop in. Als hij merkte dat de interesse er bij de anderen niet was, dan deed hij dat persoonlijk. Maar andere vragen van cursisten werden klassikaal behandeld en dan leerde iedereen er wat van.”



Léon Römers in de werkplaats van DIFFER.



“Wanneer ik nu door het laboratorium loop, herken ik veel meer componenten in opstellingen. Ik zie waar kleppen en vacuümmeters zitten en welke pompen er zouden kunnen zijn. Met de cursus heb je een stuk extra informatie over waarom dingen zo zijn. Dan kun je dus ook gelijk je vraagtekens erbij zetten: waarom hebben ze dat zo gedaan? In het lab krijg ik dan altijd uitleg. Van elkaar leer je steeds iets meer en met zijn allen komen we verder.”

### Korte lijnen

Het is begin augustus en het is rustig in het gebouw van DIFFER. Léon is bezig met allerlei kleine klusjes. “De laboratoria zijn nu, na de verhuizing vanuit Rijnhuizen, bijna klaar met inrichten. Het wachten is op wat meer werk, bijvoorbeeld voor een oude opstelling die nu hierheen gehaald en gemodificeerd wordt.” De naam van die opstelling was PLEXIS en deze vormt nu de basis voor Upgraded Pilot-PSI. In die opstelling kan er met ionenbundel-analyse gekeken worden wat er precies in een materiaal gebeurt tijdens blootstelling aan een intens plasma. Dit plasma is vergelijkbaar met de omstandigheden zoals deze heersen in een kernfusiereactor.



Dunne bladveer, gemaakt met een draadvonkmachine.

Römers: “Vroeger werkte ik voor kleine bedrijfjes en dan maakte je iets waarvan je geen idee had waar het voor was. Dat is hier anders, de lijnen zijn erg kort. Met zijn allen maken we een product en we zien direct resultaat omdat het in eigen huis gebruikt wordt.”

Léon laat de werkplaats zien, waar twee splinternieuwe freesmachines staan. “Die geven ons veel meer mogelijkheden dan de oude machines bij Rijnhuizen”, zegt hij. Ook laat hij een zelfgemaakte dunne bladveer zien, gemaakt met een draadvonkmachine, een nieuwe techniek voor DIFFER. “Iedereen in de werkplaats doet eigenlijk alles. Voorzichtig aan specialiseren mensen zich wel een beetje in computergestuurd freeswerk, laswerk,

solderen, en laserlassen. Maar er is altijd overlap met het werk van een ander, zodat je makkelijk kunt bijspringen als dat nodig is.”

Léon werkt veel samen met Ronald Wolbeer die ook in de werkplaats bezig is. Zijn specialisme is vacuümsolderen. “Dat werk stelt vaak nogal wat eisen, dus dan overleggen we over hoe hij iets wil hebben om het te kunnen solderen. Als het dan bij Ronald vandaan komt, zit het vacuümdicht in elkaar. Dat is best wel bijzonder, slechts weinig bedrijven in Nederland kunnen dat op die manier. Het is mooi dat we, met de middelen en mensen die we hier hebben, hightech-producten kunnen maken.”

## 60 jaar IUVSTA

Tijdens het eerste International Congress on Vacuum Technology in Namen in juni 1958 werd besloten een internationale organisatie op te richten voor vacuümgerelateerde wetenschap en technologie. Het werd de International Organization for Vacuum Science and Technology (IOVST), die in 1962 werd omgevormd in de International Union for Vacuum Science, Technique and Applications (IUVSTA).

Het doel van de organisatie is informatie verspreiden over en opleidingen bevorderen in vacuüm-gerelateerde wetenschap en technologie; het organiseren van internationale congressen. Dit alles gebeurt in samenwerking met nationale en internationale organisaties. Inmiddels zijn dertig nationale vacuümverenigingen aangesloten bij IUVSTA, waaronder de NEVAC.

Het 60-jarig bestaan is dit jaar in juni gevierd tijdens het European Vacuum Congress in Genève. Ook verscheen er een boek over de geschiedenis van de IUVSTA, waarin bovendien een korte geschiedenis is opgenomen van alle deelnemende vacuümverenigingen. Ingmar Swart verzorgde de update van de bijdrage over de NEVAC. Dit boek is online beschikbaar: <http://iuvsta.org/flipbook>



# Geschiedenis van een politiek onhandige doorzetter

Claud Biemans

Vorig jaar verscheen het als boek uitgegeven proefschrift over het leven en werk van een van de oprichters van de NEVAC, Jaap Kistemaker. Abel Streefland maakte er een lekker leesbaar, goed gedocumenteerd en bij vlagen spannend verhaal van. Het boek beslaat de periode vanaf 1945, als Kistemaker promoveert op werk in het Kamerlingh Onnes Laboratorium in Leiden, tot 1962, als hij stopt als projectleider van de ontwikkeling van ultracentrifuges voor het verrijken van uranium-235.

Lange tijd was over deze periode weinig bekend. Kistemakers archief verhuisde na zijn pensionering in 1982 naar Urenco in Almelo. De ultracentrifugetechnologie is sinds 1960 geheim, maar Streefland kreeg toegang tot dit archief en de studie is vooral gebaseerd op documenten die hij hier aantrof. Verder vond Streefland in het archief van AMOLF een door Kistemaker in 1991 geschreven boekje over de geschiedenis van de ultracentrifuge

in Nederland. Publicatie was, tot woede van Kistemaker, tegengehouden door Urenco.

Kistemaker was de hoofdrolspeler in de geschiedenis van uraniumverrijking in Nederland. Het boek schetst alle technologische, organisatorische, financiële en politieke achtergronden die hierbij een rol speelden op het internationale toneel tijdens de Koude Oorlog. Als je de laatste pagina omslaat, besef je hoe bijzonder

het is dat het gelukt is de ultracentrifugetechniek te ontwikkelen en bedrijfsmatig te exploiteren in Nederland.

Het begon allemaal in 1947, toen Kistemaker aan het werk ging bij professor Bakker op het Zeemanlaboratorium in Amsterdam. Zijn taak was het ontwikkelen van een apparaat voor het scheiden van isotopen. In de projectaanvragen werd niet gezegd dat met dit apparaat ook uraniumisotopen gescheiden konden worden, maar dat was van het begin af waarschijnlijk wel het idee. In het apparaat werden isotopen geïoniseerd en daarna door een magneetveld afgebogen. Vanwege het verschil in massa volgen verschillende isotopen een iets andere baan, waardoor ze gescheiden kunnen worden opgevangen [1]. Dit principe lijkt eenvoudig, maar in de praktijk leverde dat lastige problemen op. Het was lastig een geschikte ionenbron te ontwikkelen en er werd ook gewerkt aan een sterke vacuümpomp met een capaciteit van 5000 liter per seconde. Ook moest er een magneet gebouwd worden van een kwart cirkel met een straal van twee meter en een veldsterkte van 250 mT.

Het project werd zo groot dat het in 1949 verhuisde naar een eigen ruimte aan de Hoogte Kadijk, in het gebouw van de Elektrische Centrale van het Gemeente-Energiebedrijf van Amsterdam, waar gelijkstroom met een hoog voltage beschikbaar was voor het aandrijven van de separator. Na jaren van ontwikkeling lukte het in 1952 voor het eerst om isotopen te scheiden. Maar het apparaat was pas in 1953 geschikt voor het verrijken van uranium: de productie van 10 milligram had wel drie dagen en nachten geduurd.



Foto van de isotopenseparator uit het Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde, 1954.



**Jaap Kistemaker en uraniumverrijking in Nederland, 1945-1962**

Abel Streefland  
Uitgeverij Prometheus, 2017

### Grote budgetten

Kistemaker was er in die jaren steeds in geslaagd grote budgetten voor zijn project te krijgen van Stichting FOM. Hij was een moderne uitvinder in hart en nieren en ondanks dat hij politiek vaak niet erg handig opereerde, kreeg hij het voor elkaar dat zijn laboratorium inkomsten ging genereren uit de verkoop van isotopen. Er kwam echter een internationale kink in de kabel. In het kader van het Atoms for Peace-programma, uitgeroepen door de Amerikaanse president Dwight D. Eisenhower, kwam in 1955 verrijkt uranium uit de VS op de markt en de prijzen kelderden. Dat betekende het economische einde van de magnetische separator voor uraniumverrijking.

In 1954 had Kistemaker echter in Hamburg op een congres gehoord over de ultracentrifugetechniek, die toen in de kinderschoenen stond. Hij had daar zelfs een simpel apparaat gezien. In 1955 zette Kistemaker vol in op de ontwikkeling van deze technologie voor uraniumverrijking. De benodigde budgetten werden

nog groter en de technische uitdagingen ook: hoe kun je een grote, zware centrifuge aandrijven en lageren en hoe kom je voorbij de eigenfrequenties van het apparaat? Dit project stond jaren op losse schroeven, maar toch kreeg Kistemaker de eerste uraniumverrijking in 1960 voor elkaar. Het principe was bewezen, maar er stonden nog jaren van verdere ontwikkeling op het programma. Het project groeide door en in 1962 besloot Kistemaker te stoppen als projectleider. Hij keerde terug naar het laboratorium op het instituut dat hij AMOLF noemde en waarvan hij de eerste directeur werd. De geschiedenis in het boek stopt in 1962, het jaar waarin Kistemaker de NEVAC oprichtte. Helaas is hierover in het boek niets te vinden.

### Referentie

- 1 Dit principe is beschreven door J. Kistemaker, C.J. Zilverschoon en J. Schutten, 'De electromagnetische scheiding van stabiele isotopen. De Amsterdamse isotopen separator', *Ned. T. Natuurk.* 20, januari 1954, p.5.

## NEVAC-prijsvraag: win 1000 euro

Studenten en promovendi kunnen in 2019 weer 1000 euro winnen voor het beste ingezonden artikel – met een omvang van ongeveer 2000 woorden – over eigen onderzoek waarin het gebruik van vacuümtechniek wordt toegelicht. Stuur het artikel uiterlijk 1 februari 2019 naar [redactie@nevac.nl](mailto:redactie@nevac.nl). De winnaar mag een lezing geven tijdens de NEVAC-dag in het voorjaar van 2019.

Er wordt één winnaar aangewezen door de jury, maar alle gepubliceerde artikelen van studenten en promovendi worden door de NEVAC beloond met 250 euro. Niet-Nederlandstalige studenten mogen een Engelstalig artikel insturen.

## NEVAC-dag 2019, NEVAC-website

Op dit moment wordt er gewerkt aan het programma van de NEVAC-dag in 2019. In december is er meer bekend en krijgt u deze informatie toegestuurd. Er wordt nu ook gewerkt aan de vernieuwing van de website van de vereniging, [nevac.nl](http://nevac.nl). Hierop vindt u alle actuele informatie die gerelateerd is aan de NEVAC.

## IUVSTA Science and Technology Prize

De IUVSTA heeft een Call for Nominations uitgestuurd voor het nomineren van kandidaten voor twee driejaarlijkse prijzen:

### 1. IUVSTA Prize for Science

Een prijs voor experimenteel of theoretisch onderzoek in vacuüm gerelateerde wetenschap, techniek of toepassingen.

### 2. IUVSTA Prize for Technology

Een prijs voor nieuwe vacuüm-technologie en -instrumentatie die internationaal van belang is.

Deadline voor de nominaties:

25 januari 2019.

Meer informatie:

<http://iuvsta.org/iuvsta-prizes/#prize-for-science>

# Op zoek naar UHV

Theo Mulder

Na de Tweede Wereldoorlog gingen de ontwikkelingen in de vacuümtechniek verder. De ionisatiemanometer had zijn plaats gekregen in de vacuümtechniek en pompen waren verbeterd. Het onderzoek op het gebied van oppervlakken kwam op gang en de vraag naar een beter vacuüm nam toe. Men had het idee dat lagere drukken dan  $10^{-8}$  Torr bereikbaar waren, maar het probleem was dat men het niet kon meten en dus ook niet bewijzen.

Op de Physical Electronics Conference van MIT in 1947 deed professor Wayne B. Nottingham de suggestie dat de laagste meetgrens van de ionisatiemanometer vermoedelijk te wijten was aan de drakonafhankelijke stroom van foto-elektronen van de ionencollector ten gevolge van zachte röntgenstraling. Deze stroom was niet te onderscheiden van de stroom door opvallende positieve ionen. Er zijn toen wat voorstellen gedaan om dit ver-

der te onderzoeken en Nottingham heeft natuurlijk zelf ook een poging gedaan aan dit nadeel te ontkomen. G.H. Metson van het Britse Post Office Research Station werkte in 1949 ook aan dit probleem en kwam eveneens tot de conclusie dat röntgenstraling de oorzaak kon zijn.

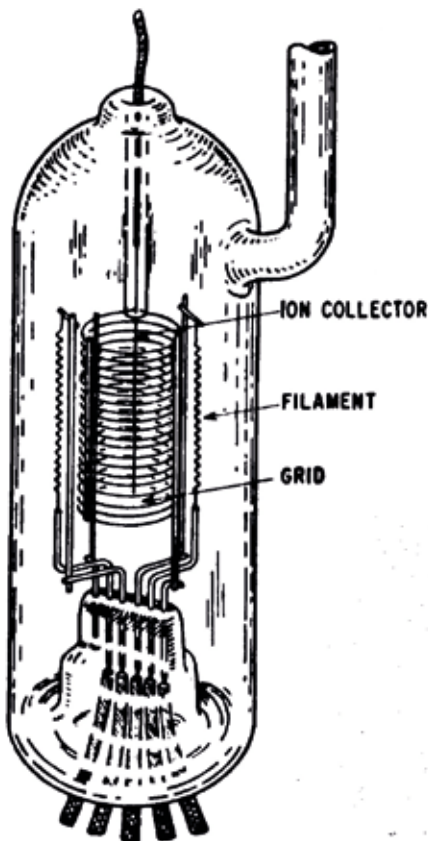
## De uitvinding van de B&A

Het was in de herfst van 1949 dat de jonge student Robert Bayard zich meldde bij

professor Daniel Alpert van de Westinghouse Research Laboratories teneinde een onderzoek te doen voor zijn afstudeeropdracht aan de Universiteit in Pittsburgh. Alpert kwam met het voorstel de veronderstelling van Nottingham betreffende de röntgenstraling te verifiëren. “Als deze veronderstelling juist is, bouw dan een experimentele opstelling om dit te bewijzen”, was de opdracht aan Robert Bayard.

Nu was de conventionele ionisatiemanometer opgebouwd als een gewone trioderadiobuis met een centrale kathode, daaromheen een rooster en als laatste een cilindrische anode, die als collector diende. Het oppervlak van de collector is daardoor nogal groot, zodat er veel röntgenstraling op kan vallen. Robert Bayard stelde voor deze collector te vervangen door een heel dunne draad, zodat het oppervlak minstens een factor 100 kleiner werd. Een tweede idee was het omwisselen van de plaats van de kathode en de collector, de draadcollector in het centrum van het rooster en de kathode erbuiten.

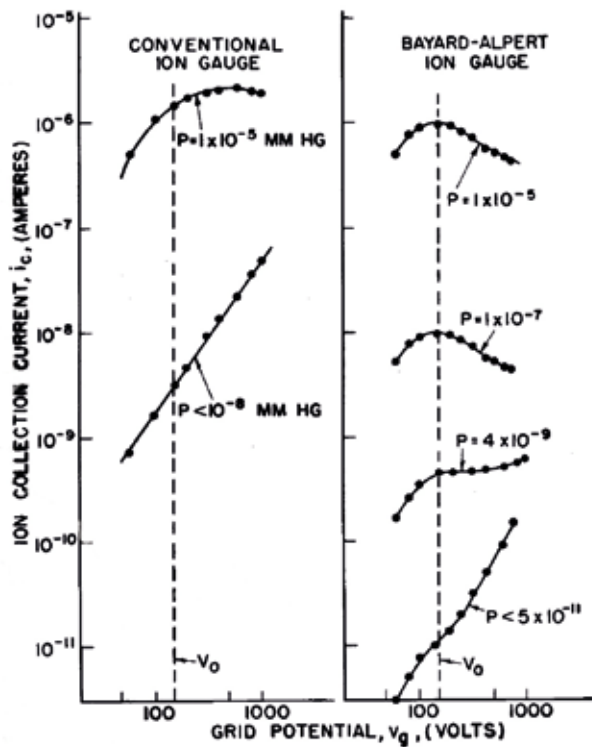
Gelukkig beschikte men in het Westinghouse Research Laboratorium over een pompopstelling die zeker UHV-omstandigheden zou kunnen bereiken en daar werd dan ook, naast een “gewone triode-ionisatiemanometer”, de nieuwe manometer van Robert Bayard aangesloten. Nadat de gehele opstelling was uitgestookt en ook de elektroden van beide ionisatiemanometers uitvoerig waren ontgast door een elektronenbombardement, werden de metingen gestart. Daarbij werd de versnelspanning van de elektronen gevarieerd van 50 tot 1000 volt. Door het inlaten van gas kon bij verschillende drukken de collectorstroom uitgezet worden tegen de roosterspanning.



De B&A van Robert Bayard.



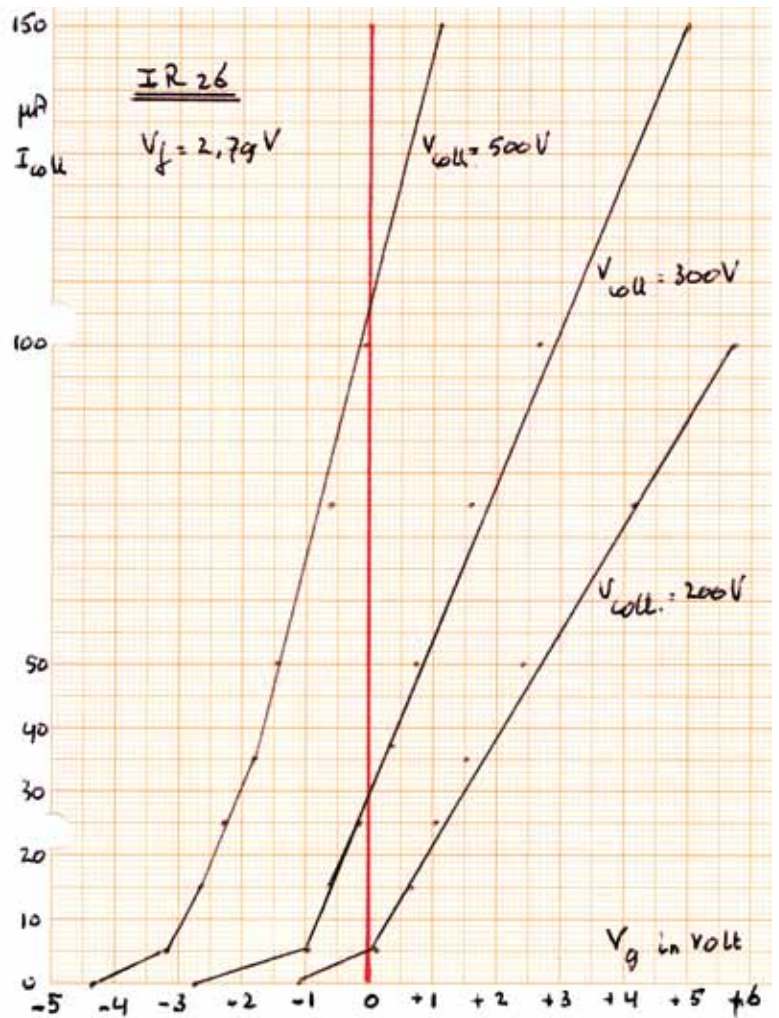
Een ouderwetse triode ionisatiemanometer.



De collectorstroom tegen de versnellsnapping.

Daaruit bleek overduidelijk dat bij heel lage drukken de collectorstroom van de gewone triode- ionisatiemanometer toenam bij hoger wordende roosterspanning door de foto-elektronen tengevolge van de röntgenstraling. Bij de nieuwe ionisatiemanometer was dit niet het geval, deze bleef bij steeds lagere drukken het te verwachten patroon volgen. Enigszins beduusd over deze resultaten kwam Robert Bayard bij Daniel Alpert met de mededeling dat de hypothese van Nottingham inderdaad juist moest zijn. "Of je metingen zijn onjuist, óf je hebt zojuist de beste ionisatiemanometer van de wereld uitgevonden", was het antwoord van Alpert. Deze resultaten werden op 13 april 1950 gepubliceerd en voor de vacuümtechnische wereld was dit dé doorbraak naar UHV. Heden ten dage is de Bayard & Alpert-ionisatiemanometer (B&A) een van de twee meest gebruikte hoogvacuümeters. De andere is de Penningmanometer, maar dat is een ander verhaal.

De ouderwetse triode ionisatiemanometer is vanwege zijn lage aanschafprijs nog enige tijd op de markt gebleven, maar medio de jaren zestig van het toneel verdwenen.



$I_{collector}$  tegen  $V_g$  van IR 26.

**Test**

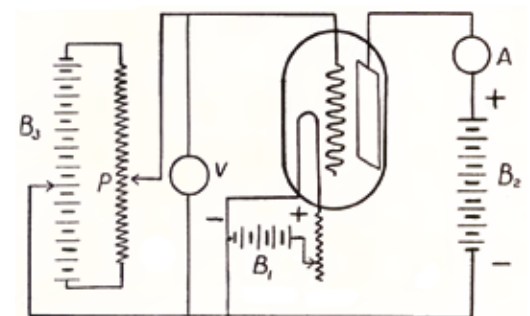
Zijn de radiotechnische eigenschappen van de huidige B&A nog te vergelijken met die van de ouderwetse triode? Schrijver dezes heeft dit uitgeprobeerd.

Er zijn twee afgesmolten glazen B&A-buizen aanwezig, beide voorzien van een goed vacuüm. De ene is de overbekende grote "glazen fles" van Amerikaanse origine, de andere een IR 26 van Leybold, voorzien van gettermateriaal.

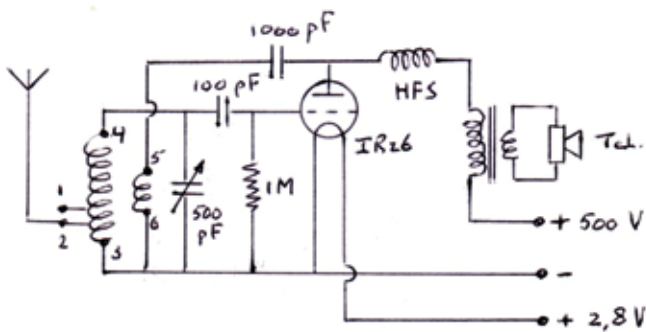
Volgens opgave uit een catalogus is de gloeispanning van de Amerikaanse B&A 5 volt bij een gloeistroom van 4 ampère. Dit is 20 watt en de glazen buis wordt dan ook heel erg heet. Bij deze gegevens bedraagt de emissiestroom 20 mA bij een roosterspanning van 200 volt.

Daarentegen vraagt de IR 26 slechts 3 volt gloeispanning bij 1,5 ampère om hierbij 10 mA emissiestroom te geven bij een roosterspanning van 200 volt. Van deze

laatste buis is de collectorstroom gemeentegen tegen de spanning op het rooster volgens de schakeling van E.H. Armstrong. De metingen zijn verricht met een collectorspanning van 200, 300 en 500 volt. Hoewel de vorm van de curves overeenkomt met die van een normale triode-radiobuis, is toch het grote verschil, dat de opgenomen collectorstroom in  $\mu A$  wordt gemeten in plaats van mA. Dit is te



Scheme of Circuit for Delineating the Characteristic Curve of a Three-electrode Valve. (E.H. Armstrong.)



Schema en foto van de gebouwde ontvanger met IR 26.



wijten aan het zeer kleine oppervlak van de collector.

Vervolgens is geprobeerd een detector-schakeling te maken. Met een Amrohafstemspeel, type 402 N en een hoogohmige uitgangstransformator voor de koptelefoon werkt deze schakeling in-

derdaad op de middengolf. Maar het resultaat is niet daverend, door de bijzonder kleine collectorstroom en de geringe steilheid hiervan is deze ontvanger niet erg gevoelig. Bovendien zijn er nog maar weinig sterke middengolfzenders. Maar het werkt wél!

In het komende nummer volgt de laatste aflevering van deze rubriek, over de nieuwste B&A-ontwikkelingen.

#### Literatuur:

- Bayard R.T, Alpert D. Extension of the low pressure range of the ionization gauge. *Rev.Sci.Instr.* 1950.

## EVC-15

De European Vacuum Conference, georganiseerd door de Swiss Vacuum Society met steun vanuit CERN, vond plaats van 17-22 juni in Genève [1]. Tevens werd het 60-jarig bestaan van de IUVESTA gevierd. De conferentie werd bezocht door een aantal NEVAC-leden en bestond uit lezingen, postersessies, een bescheiden vacuümbeurs en vooral wetenschappelijk en informeel overleg door vakgenoten uit de hele wereld. De status van het verbeteren, creëren, meten en controleren van vacuüm kwam aan bod.

Enkele highlights: VACOM presenteerde een nieuwe manier om UHV/XHV-drukken te meten via tijdgebonden accumulatie in een iontrap (hete kathode). Via een Time of Flight kunnen verschillende massa's gemeten worden en is een RGA-meting mogelijk, bijvoorbeeld specifiek voor een helium lektest zonder een elektronenmultiplier. In China bestudeert men de ontwikkeling van een Multiple Cavity Dry Scroll Vacuum Pump om met een lager toerental (minder slijtage) en vermogen een betere pompsnelheid te verkrijgen.

Er was een speciale sessie voor vacuüm in deeltjesversnellers [2]. Naast de historie van het toepassen van NEG-materiaal bij CERN voor het reduceren van gasdichtheid kwamen de laatste ontwikkelingen om buizen met

een kleine diameter-lengte-verhouding te voorzien van NEG-coating aan de orde (de trend is kleinere diameters, bijv. 8 mm). Er kan een aluminium staaf of buis gebruikt worden, waarop achtereenvolgens een coating via NEG-sputteren, en via electroforming een koperen buis groeit met geïntegreerde vacuüm flensen. Hierna kan het aluminium chemisch verwijderd worden. Het modifieren van oppervlakken om elektronendesorptie van de wanden te voorkomen door textuur of coating kreeg ook aandacht. Japanse onderzoekers willen UHV-drukken creëren voor J-PARC door turbo-moleculaire pompen te gebruiken en het aluminium rotormateriaal te vervangen door het sterkere titanium. Een andere interessante ontwikkeling is het toepassen van geheugenmetaal bij CERN voor snelle vacuümverbindingen in een stralingsomgeving.

Rients de Groot

#### Referenties:

- 1 *Book of abstracts EVC-15*: [www.evc15.org/pdf-files/BoA.pdf](http://www.evc15.org/pdf-files/BoA.pdf)
- 2 *CERN Courier* 1 juni 2018: [cerncourier.com/cerns-prowess-in-nothingness](http://cerncourier.com/cerns-prowess-in-nothingness)



# Agenda

22-23 januari 2019  
Physics@Veldhoven

18-22 februari 2019  
17th IUVESTA School, Nano-Optics  
Braga, Portugal

26-28 maart 2019  
ITER Business Forum, Antibes Juan les Pins, Frankrijk

5 april 2019  
Fysica, Science Park Amsterdam

7-10 mei 2019  
aiv xxiv Conference  
Giardini Naxos, Italië

15 mei 2019  
Nationaal Symposium Contamination Control,  
1931 Congrescentrum 's-Hertogenbosch

24-28 juni 2019  
87th IUVESTA Workshop: Nanostructured surfaces,  
Trzebnica, Polen

1-5 juli 2019  
21st International Vacuum Congress, Malmö,  
Zweden

21-24 juli 2019  
19th International Conference on Atomic Layer  
Deposition (ALD 2019) & Atomic Layer Etching Work-  
shop (ALE 2019)  
Washington, Verenigde Staten

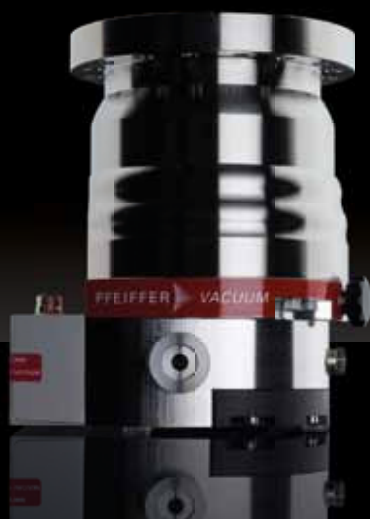
23-27 september 2019  
PLATHINIUM (PIAsma THin film INternational Union  
Meeting)  
Antibes, French Riviera

10 oktober 2019  
Nationale Cleanroom Dag,  
Congrescentrum Spant!, Bussum

20-25 oktober 2019  
AVS 66th International Symposium & Exhibition  
Columbus, OH, Verenigde Staten

Links naar websites: zie de agenda op [www.nevac.nl](http://www.nevac.nl)

**PFEIFFER**  **VACUUM**



## HIPACE® 300 H

The turbopump with highest compression for light gases

- Specifically designed for light gases
- Ideal for HV and UHV applications
- Best UHV pressures even in combination with diaphragm pumps

Are you looking for a perfect vacuum solution? Please contact us:  
**Pfeiffer Vacuum Benelux B.V.** · T +31 345 478 400 · F +31 345 531 076 · [office@pfeiffer-vacuum.nl](mailto:office@pfeiffer-vacuum.nl)  
[www.pfeiffer-vacuum.com](http://www.pfeiffer-vacuum.com)



# HAXPES Lab - A window to the bulk

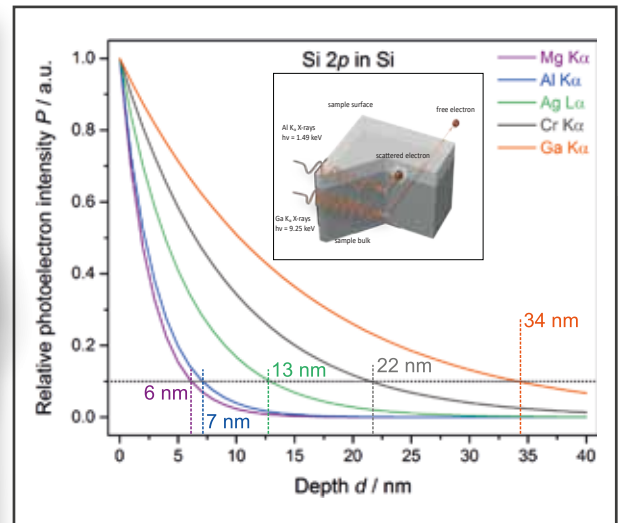


Figure 1. HAXPES using the Ga source offers 5x greater information depth, providing bulk sensitivity that is unavailable using conventional XPS.

- Robust laboratory based HAXPES solution
- Time scales comparable to synchrotron experiments
- Five times higher information depth than AlK $\alpha$  X-Rays
- High flux monochromated Hard X-rays at 9.25 keV
- Access to deep core levels
- Non-destructive measurements of buried interfaces
- Bulk sensitive photoemission spectroscopy

Scienta Omicron's HAXPES Lab brings hard X-ray photoelectron spectroscopy (HAXPES) capability directly to the local laboratory environment. This novel system probes bulk sample properties and accesses deep core level electrons via photoelectron spectroscopy (XPS) without the need for a synchrotron end station.

For further questions please contact us:  
[info@scientaomicron.com](mailto:info@scientaomicron.com)

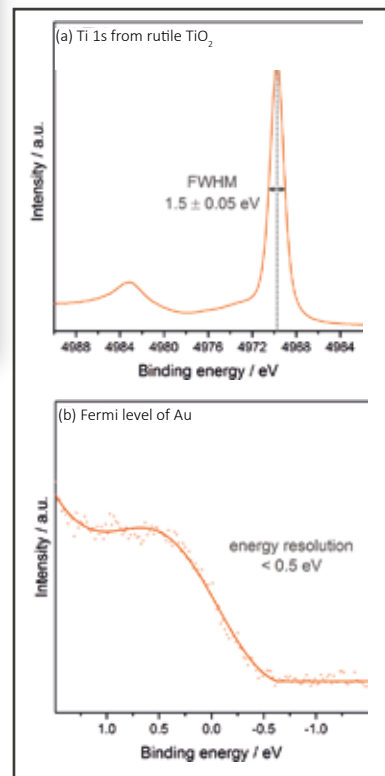


Figure 2 (a) HAXPES Lab provides unprecedented access to deep core levels, as shown in this example of a Ti 1s spectrum.

(b) Fermi edge of Au shows total instrument resolution < 0.5 eV.

