

NEVAC

jaargang 63 nummer 2 september 2025



NEDERLANDSE
VACUÛMVERENIGING

blad

**Verslag NEVAC-dag 2025:
Van quantumbits
tot vacuümmetrologie**

**High-Purity
vacuümcomponenten
voor UCV, UHV en XHV**

**Loopbaan in vacuüm:
Theo Mulder**



Verenigingsgegevens

Ereleden

L.G.J.M. Hassink
† G. Ikkink
† Prof.dr. J. Kistemaker
† Ir. J.H. Makkink
Prof.dr.ir. S.J. van der Molen
Th. Mulder
Dr.ir. E.P.Th.M. Suurmeijer
Prof.dr. J.F. van der Veen
Dr.ir. J. Verhoeven

Bestuur

Freek Molkenboer, voorzitter
Adrie Mackus, vicevoorzitter
René Erkelens, penningmeester
Pieter Heidema, secretaris

Verenigingssecretariaat

Pieter Heidema
secretaris@nevac.nl

Ledenadministratie

René Erkelens
penningmeester@nevac.nl

Penningmeester NEVAC

IBAN: NL50 INGB 0001 8515 29
o.v.v. penningmeester NEVAC
René Erkelens
penningmeester@nevac.nl

Contributies

Contributie € 30,- per jaar
Studenten/promovendi € 5,- per jaar
Bedrijfsleden € 175,- per jaar

Inlichtingen over opleidingen en examens

Dr. Gesa Welker
g.welker@gmx.net

Vacuümboeken uitgegeven onder
auspiciën van de NEVAC:



Vieren!

Een jaar geleden schreef ik mijn eerste redactionele stuk, toen naar aanleiding van mijn benoeming tot voorzitter. Nu zijn we een jaar verder en hebben we een nieuwe vicevoorzitter, Adrie Mackus, en een nieuw erelid, Sens Jan van der Molen.

Mijn vorige stuk had als titel 'De toekomst', deze keer is het 'Vieren!' – omdat we veel te vieren hebben. Naast een nieuw bestuurslid en een nieuw erelid vieren we ook dat we een succesvolle NEVAC-dag hadden, mede omdat de NS-staking geen al te grote gevolgen had. Een uitgebreid verslag staat natuurlijk in dit nummer.

We vieren ook dat we in de afgelopen jaren veel achter de schermen hebben gedaan. Ons huishoudelijk reglement en de statuten zijn helemaal rond. Hoewel dit saai klinkt, is het belangrijk voor elke vereniging.

Onze zichtbaarheid is enorm vergroot: we staan nu bijvoorbeeld elk jaar op het Clean Event en de Precisiebeurs van het Mikrocentrum. We zijn ook benaderd met de vraag of we wilden meewerken aan een kinder-tv-programma. Uiteindelijk is dit niet doorgegaan, maar misschien komt het volgend jaar alsnog.

Verder vieren we dat we een nieuwe traditie zijn gestart: het uitreiken op de NEVAC-dag van NEVAC-diploma's aan de geslaagden voor het EVT- en het VT-examen.

Deze maand is mijn benoeming tot, zoals dat heet, *president-elect* van IUVSTA. IUVSTA is de *International Union for Vacuum Science, Technique and Applications* – simpel gezegd, de vereniging boven de nationale vacuümverenigingen. Na het eerste triënnium zal ik *president* worden, om daarna nog drie jaar *past-president* te zijn. Goed om te weten is dat de NEVAC mede aan de wieg stond van IUVSTA en dat deze internationale vereniging al eerder een Nederlandse voorzitter heeft gehad: dr. Albertus Venema, van 1974 tot 1977. Zo valt er nu op dat vlak ook weer wat te vieren.



Freek Molkenboer
Voorzitter NEVAC

Inhoud

- 2 Van de redactie
Vieren!
- 4 Verslag NEVAC-dag 2025
Van quantumbits tot
vacuümmetrologie
- 9 High-Purity
Vacuümcomponenten
voor UCV, UHV en XHV
- 14 Van het bestuur
Vrijwilligers gezocht
- 15 Einstein Telescoop
In vacuüm krijg je het pas
koud
- 19 Loopbaan in vacuüm
Theo Mulder –
Enthousiaste zendamateur,
vacuümtechniekverkoper
en docent



- 24 Beste geslaagde
Frits van der Velde
(Rijksuniversiteit
Groningen)
- 27 Verslag Clean Event 2025
Gedeelde grades
- 30 Stel je voor
John Stegeman (ASML)
- 33 Nieuws
NEVAC-bezoek aan Demaco

35 Agenda

- 9 Kwaliteitscontrole op
deeltjesverontreiniging door
black-light-inspectie.
(Bron: VACOM)

Cover

Vacuümkamer gebruikt bij het ontwikkelen van betrouwbare en schone vacuümkalibraties die VSL tot 10^{-8} mbar herleidbaar wil gaan aanbieden; lees het verslag van de NEVAC-dag op pag. 4 e.v. (Foto: Marcel Cloo)

Colofon

Uitgever
NEVAC
www.nevac.nl

Redactie
Rients de Groot
Aart Kleyn
René Koops
Hans van Eerden (eindredacteur)
redactie@nevac.nl

Grafische vormgeving en druk
Snep

ISSN 0169-9431

Abonnement (voor niet-leden)
Binnenland € 100,- per jaar
Buitenland € 150,- per jaar

Advertentie-exploitatie
NEVAC
René Erkelens
penningmeester@nevac.nl

Kopij
Inzenden naar redactie@nevac.nl.

Lidmaatschap en abonnement
Opgeven bij de ledenadministratie,
penningmeester@nevac.nl.

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

Verschijningsdata 2025
April / September / December

Sluitingsdatum kopij
NEVAC blad 2025 nr. 3:
31 oktober 2025

Van qubitbits tot vacuümmetrologie

Op vrijdag 6 juni vond de NEVAC-dag 2025 plaats aan de Universiteit Twente. De aanwezigen werden getraakteerd op mooie verhalen over de rol van vacuüm in uiteenlopende toepassingen, van uraniumverrijking en dunnelaaggroei tot detectie van zwaartekrachtgolven. Ook vacuümmetrologie en een efficiënt alternatief voor de traditionele bake-out kwamen aan de orde. Naast de uitreiking van de NEVAC-prijs was dit keer voor het eerst op de NEVAC-dag de uitreiking van diploma's aan de geslaagden van de vacuümcursussen. Zo kreeg het jaarlijkse partijtje van de Nederlandse vacuümgemeenschap een extra feestelijk tintje.



Figuur 1. De NEVAC-dag kende een mooie opkomst.

De NEVAC-dag 2025 was op de Universiteit Twente in Enschede, in het bijzonder bij het MESA+ instituut voor nanotechnologie. Er was een goede opkomst (Figuur 1), al kwamen niet alle ongeveer 100 aangemelde personen opdagen, onder meer als gevolg van een NS-staking. Na de opening door NEVAC-voorzitter Freek Molkenboer en dagvoorzitter Kai Sotthewes (assistent professor aan de UT) kwam Hans Hilgenkamp, wetenschappelijk directeur van MESA+, aan het woord.

Drukmeter zegt 'error'

Hilgenkamp was blij dat er ondanks het "vacuum op het spoor" een mooie opkomst was en gaf een introductie van het instituut. MESA+ telt zo'n 600 onderzoekers en beschikt over een geavanceerd NanoLab, onderdeel van de landelijke NanoLab-infrastructuur, die

participeert in een groot aantal Groeifonds-programma's. Het nanotechnologisch onderzoek concentreert zich op tien expertisegebieden, van 2D-materialen en quantumtechnologie tot geïntegreerde fotonica en batterijtechnologie. Bij veel onderzoeken komt vacuüm om de hoek kijken, reden waarom het instituut heel veel investeert in vacuümcapaciteit. "We love vacuum", aldus Hilgenkamp (Figuur 2). Wat precies

het hoogste vacuüm is dat in de opstellingen wordt gehaald, is niet bekend; het zal in de orde van 10^{-11} mbar of nog iets lager liggen. "De drukmeter geeft 'error', zo laag is de druk." De ambitie van MESA+ is om het onderzoek naar hogere TRI's (*technology readiness levels*) door te trekken. Dat betekent dat meer pilotlijnen zullen worden gebouwd, waar ongetwijfeld weer veel vacuüm in zal zitten.

Centrifugescascades

Vervolgens begon het lezingenprogramma met eerste spreker Arjan Bos, senior advisor



Figuur 2. Hans Hilgenkamp, wetenschappelijk directeur van MESA+: "We love vacuum."



Figuur 3. Arjan Bos, senior advisor Advanced Fuels bij Urenco, sprak onder meer over de rol van vacuüm(systemen) bij uraniumverrijking.

Advanced Fuels bij Urenco in Almelo (Figuur 3). Urenco gebruikt centrifugetechnologie voor de productie van verrijkt uranium en isotopen voor medische en quantumtoepassingen. Het verrijkingsproces vindt bij zeer lage druk plaats in zogeheten centrifugescades. Elke centrifuge draait op zeer hoge snelheid in een vacuümomgeving, terwijl Urenco bij het opereren van de cascades meerdere (vacuüm)systemen gebruikt voor procesbeheersing. Bos gaf een interessant overzicht van de geopolitieke en technologische ontwikkelingen rond uraniumverrijking, zonder daar – vanwege de vereiste vertrouwelijkheid – al te diep op in te gaan.

Grensverleggende technologie

Sander Smink, assistant professor bij MESA+ en mede-organisator van de NEVAC-dag, sprak daarna over een grensverleggende technologie. Dat betrof thermische laserepitaxie (TLE) voor het laten groeien van dunne lagen (films) door materiaaldepositie. Deze groei vormt een essentiële pijler voor een breed scala aan technologische toepassingen gebaseerd op materiaalwetenschap. Denk aan het stapelen van quantummaterialen, het optreden van nieuwe fases of dikte-afhankelijke fenomenen, en het creëren van nieuwe functionaliteit in devices. Bij TLE wordt materiaal verdampt vanuit elementaire bronnen door hun oppervlak te verhitten met continue, krachtige lasers. Dat gebeurt lokaal, waardoor het proces zeer efficiënt is en zeer hoge temperaturen haalbaar zijn. De lokale verwarming van

zowel het substraat als de bron door externe energiebronnen maakt het mogelijk bij zeer lage druk ($< 10^{-10}$ hPa) te deponeren.

Smink verklaarde het principe van TLE en besprak het ontwerp van de benodigde vacuümsystemen. Ook ging hij in op de eisen voor de verschillende onderdelen van het depositiesysteem: kamer, substraat met verhitte bronnen (bij laser-thermische verwarming kan het materiaal zelf als smeltkroes dienen) en gasinlaat. Met diverse experimentele resultaten liet hij zien dat TLE de grenzen van filmgroei verlegt. Dit is te danken aan het hogere druk- en temperatuurbereik van TLE ten opzichte van concurrerende technieken als MOCVD (*metal-organic chemical vapour deposition*), sputteren en PLD (*pulsed laser deposition*). Dat vertaalt zich onder meer in zeer gecontroleerde groei van (complexe) oxides, een ultra-



Figuur 5. De voorzitter spreekt kersvers erelid Sense Jan van der Molen (rechts) toe.



Figuur 4. Silke Peeters met de NEVAC-prijs die ze uit handen van NEVAC-voorzitter Freek Molkenboer heeft ontvangen.

schoon karakter van de gecreëerde oppervlakken en de beschikbaarheid van elk element uit het periodiek systeem. Een aansprekend voorbeeld was het ultraschoon groeien van Ta/Al₂O₃ voor supergeleidende quantumbits.

NEVAC-prijs

Er zijn ook andere manieren om quantumbits (qubits) te maken, zo bleek aan het eind van de ochtend, bij de uitreiking van de NEVAC-prijs 2025 (Figuur 4). Deze prijs, voor het beste ingezonden NEVAC blad-artikel van het afgelopen jaar geschreven door een student of promovendus, ging naar Silke Peeters. Zij is promotieonderzoeker in de onderzoeksgroep Atomic Scale Processing, faculteit Applied Physics van de Technische Universiteit Eindhoven. Peeters kreeg de prijs toegekend voor haar artikel “Plasma-geassisteerde atoomlaagdepositie van supergeleidende metaalnitriden voor quantumtechnologieën”. Aansluitend op de uitreiking gaf ze een presentatie over haar werk. Net als de jury vond Peeters zelf het verfrissend om haar wetenschappelijke verhaal in het Nederlands te vertellen, waardoor dit voor een breder publiek toegankelijk werd.

Door de ontwikkeling van quantumcomputers gloort een ongekende revolutie in rekenkracht. Echter, de nanometerschaalstructuren die nodig zijn om de vereiste qubits en quantumcircuits de juiste functionaliteit te geven, behoeven zeer zuivere materialen en nauwkeurige aangroei. De vacuümtechniek plasma-geassisteerde atoomlaagdepositie (*plasma-enhanced ALD*, PEALD) blijkt een veelbelovende methode te zijn, zoals ze liet zien voor de aangroei van supergeleidende TaN- en NbTiN-lagen met beheersing van de materiaaleigenschappen. PEALD is een noodzakelijke uitbreiding van de ‘quantumge-



Figuur 6. Wouter Stiphout van nationaal metrologie-instituut VSL sprak over het streven om betrouwbare en schone vacuümkalibraties tot 10^{-8} mbar herleidbaar te gaan aanbieden.



Figuur 7. Opperste concentratie bij, van links naar rechts, dagvoorzitter Kai Sotthewes, spreker Thom Bijsterbosch en mede-organisator en spreker Sander Smink.

reedschapskist', aldus Peeters. Zij zag veel kansen voor samenwerking tussen ALD-/vacuümexperts en quantumtechnologen om de toepassing van PEALD verder te brengen. Voor meer diepgaande informatie, zie haar artikel in het vorige nummer van het NEVAC blad.

Erelid

Tijdens de aansluitende lunch kon de bedrijvenmarkt met stands van NEVAC-leden worden bezocht. Daarna was er een parallelprogramma met een labtour en de Algemene Ledenvergadering (ALV) van de NEVAC. Ter afsluiting van de ALV werd het erelidmaatschap van de NEVAC toegekend aan Sense Jan van der Molen, hoogleraar Fysica van de gecondenseerde materie aan de Univer-

siteit Leiden (Figuur 5). Dat gebeurde op voordracht van enkele ereleden, onder wie Bert Suurmeijer, hoofdauteur van diverse vermaarde vacuümboeken. Van der Molen had juist daarvoor als vice-voorzitter afscheid genomen van het NEVAC-bestuur. Het erelidmaatschap kwam hem volgens de toelichting van Suurmeijer toe omdat hij als voorzitter in de periode 2021-2024 de NEVAC op diverse manieren nieuw leven heeft ingeblazen.

Labtour

De labtour bij MESA+ stond in het teken van de vacuümtechnologie die bij het onderzoek wordt gebruikt in uiteenlopende apparaten, opstellingen en toepassingen. Van rastertunnelmicroscopie (STM) en lage-energie elektronenmicroscopie (LEEM) voor oppervlaktestudies tot gepulste laserdepositie (PLD) en atmosferische foto-elektrische spectroscopie (XPS). Van trilingsvrij koelen voor de Einstein Telescoop (zie ook de presentatie hieronder) tot het bereiken van extreem lage temperaturen.

Betrouwbare kalibratie

Het middagprogramma werd geopend door Wouter Stiphout, scientist Mass and related Quantities bij VSL (Figuur 6). Hij houdt zich sinds anderhalf jaar bij VSL, het

ationale metrologie-instituut, bezig met vacuümmetrologie. "Onze inzet is metrologie toegankelijk te maken in Nederland op het gebied van vacuüm. Meten is weten, maar dan wel op basis van internationaal afgesproken meetstandaarden." Stiphout verwees daarmee naar het SI-stelsel, dat zeven basiseenheden kent, die sinds de laatste herziening worden gedefinieerd door natuurconstantes, zoals de lichtsnelheid, de elementaire lading en de constante van Planck. Centraal in de metrologie staat het begrip herleidbaarheid. De kalibratie van instrumenten in het veld is herleidbaar naar secundaire standaarden bij kalibratielaboratoria, die op hun beurt herleidbaar zijn naar nationale meetstandaarden, in ons land beheerd door VSL, die op hun beurt herleidbaar zijn naar de SI-standaarden die het BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) beheert.

Voor de herleidbaarheid van de kalibratie van vacuüm werd tot nu toe gewerkt met statische of dynamische expansie, waarbij de te kalibreren druk gerelateerd is aan volume en temperatuur, respectievelijk volumeflow. NIST, het Amerikaanse VSL, heeft een nieuwe primaire standaard ontwikkeld voor metingen vanaf 1 Pa, FLOC (*fixed length optical cavity*), die werkt met een door een laser opgewekte staande golf in een holte. Druk(verandering) bepaalt hier de lichtsnelheid en daarmee de golflengte. De frequentie van de laser wordt vervolgens aangepast totdat er opnieuw een staande golf ontstaat. Het verschil in frequentie vertaalt zich dan in een drukmeting. VSL wil ook onderzoek gaan doen naar alternatieve meetstandaarden, maar allereerst ervaring opdoen met de nieuwe vacuümkalibratiefaciliteit, en via internationale vergelijkingen accreditatie aanvragen om betrouwbare en schone vacuümkalibraties tot 10^{-8} mbar herleidbaar aan te bieden. "In het bereik van 10^{-6} tot 10^{-7} mbar zitten we nu op 3-4% onzekerheid; dat willen we onder de 1% zien te krijgen."

Alternatief voor bake-out

De prikkelende titel van de dag – 'New bake-out alternative, more bang for



Figuur 8. Michiel van Limbeek, onderzoeker bij MESA+, vertelde over de vacuüm- en cryogene omstandigheden van hoge kwaliteit die de Einstein Telescoop vereist.



Figuur 9. Gesa Welker, voorzitter van de Opleidings- en Examencommissie, feliciteert een van de geslaagden; rechts examencoördinator Johan van der Cingel.

buck?’ – kwam voor rekening van Thom Bijsterbosch, cleanliness engineer bij Settels Savenije (Figuur 7). Hij schetste eerst de beperkingen van de traditionele bake-out voor het reinigen van onderdelen ten behoeve van ultrahog vacuüm. Het verhitten en weer afkoelen vergt veel tijd en energie, en de methode is niet geschikt voor hittegevoelige materialen. Settels Savenije ging daarom op zoek naar een alternatief; directe aanleiding was de bake-out van een grote vacuümkamer, een blok roestvaststaal van liefst 1.300 kg. “Dat moest efficiënter kunnen.”

Het alternatief is gebaseerd op chemische, in plaats van thermische, afbraak van organische verontreiniging. Koolwaterstoffen C_xH_y reageren met ozon (O_3) onder invloed van ultraviolet licht tot koolzuurgas (CO_2) en water (H_2O). “Dit heeft onder

meer als voordeel dat de lange koolwaterstoffen als eerste worden ‘opgegeten’; die zijn bij de traditionele bake-out juist de lastigste. De effectiviteit is nu al vergelijkbaar met die van de bake-out, terwijl de nieuwe methode drie tot vijf keer sneller is en tien keer zo energie-efficiënt. Bovendien is deze methode geschikt voor in-situ reiniging van bijvoorbeeld grote vacuümkamers die niet in een bake-out-oven passen.” Bijsterbosch werkt nu met zijn collega’s aan het kwalificeren van deze UV-reiniging voor grade 1 (het hoogste reinheidsniveau in de normering van ASML; zie ook het verslag van het Clean Event 2025 in dit nummer). Op het aanstaande Clean Event, voorjaar 2026, hoopt hij daarover te rapporteren.

Einstein Telescoop

Uitsmijter van het lezingenprogramma was Michiel van Limbeek, onderzoeker

bij MESA+ (Figuur 8). Hij vertelde over de Einstein Telescoop die Europa gaat bouwen. Een mogelijke locatie voor dit ondergrondse observatorium voor zwaartekrachtgolven, met interferometerarmen van 10 km lang, is Zuid-Limburg en aangrenzend Belgisch en Duits gebied. De Einstein Telescoop vereist vacuüm- en cryogene omstandigheden van hoge kwaliteit. Die zijn nodig om een 1.000 maal hogere precisie te verkrijgen dan die van de vorige generatie detectoren (LIGO in de VS en Virgo in Italië). Zij melden sinds 2015, honderd jaar na Albert Einstein’s voorspelling van het fenomeen, waarnemingen van zwaartekrachtgolven – de Einstein Telescoop zal dieper het heelal kunnen inkijken tot dicht bij de oerknal. Voor meer informatie, zie Van Limbeek’s artikel elders in dit nummer.

Diploma-uitreiking

De dag werd besloten met een diploma-uitreiking voor de NEVAC-examens Vacuümtechniek en Elementaire Vacuümtechniek; de eerste keer dat dit op een NEVAC-dag plaatsvond (Figuren 9 en 10). Van de ongeveer vijftig geslaagden van de afgelopen examenronde waren er zo’n tien aanwezig om een diploma in ontvangst te nemen. Gesa Welker, voorzitter van de Opleidings- en Examencommissie, was blij dat deze openbare uitreiking het belang van opleiding en examinering op vacuümgebied en de inzet van de NEVAC daarvoor beter zichtbaar maakte. Richting de geslaagden benoemde ze het belang van de NEVAC als netwerkorganisatie op het gebied van vacuüm.

NEVAC-voorzitter Freek Molkenboer deed nog een oproep aan de aanwezigen om zich te melden als vrijwilliger binnen NEVAC-verband. Ook attendeerde hij hen op het APPEC-forum, eind november in Maastricht, over het belang van vacuüm en cryogenica voor *big science*. Vervolgens sloot hij officieel af, waarna er gelegenheid was voor een tweede ronde van de labtour en een borrel. Daarmee kon een geslaagde NEVAC-dag het weekend inluiden.



Figuur 10. De geslaagden met hun diploma.

RGA Series Residual Gas Analysers

Mass spectrometers for vacuum, gas, plasma and surface science



TDSLab Series

Advanced thermal desorption systems

The TDSLab Series represents the cutting edge of thermal desorption technology, designed to deliver unparalleled precision and versatility across a wide range of applications.

HALO 201

For residual gas analysis

Suitable for vacuum fingerprint analysis, leak detection and trend analysis.



3F-PIC

Pulse ion counting detection for fast event studies

Ultra-fast pulse ion counting detection provides seven decade continuous dynamic range with optimum sensitivity at UHV/XHV.

3F Series RGA

Triple filter mass spectrometers for analytical applications

Triple filter technology provides extended mass ranges, increased mass resolution, enhanced sensitivity and improved contamination resistance for more demanding analytical applications.

High-Purity vacuümcomponenten voor UCV, UHV en XHV

High-Purity vacuümcomponenten zijn essentieel voor de realisatie van complexe systemen in onderzoek en industrie. De ontwikkeling en productie ervan vereisen een diepgaand begrip van de onderlinge fysische, chemische en productieprocessen. In dit artikel wordt een holistische benadering gepresenteerd die OEM'ers en fabrikanten een robuust kader biedt om te voldoen aan de almaar toenemende eisen in UCV-, UHV- en XHV-toepassingen.

Klaus Bergner, Kay Marschall, Sally Händschel, Christian Worsch en Michael Flämmich

Auteurs

De auteurs werken allen bij VACOM, een toonaangevende specialist in vacuümtechnologieën. Dit omvat de productie van High-Purity vacuümcomponenten, precisereinigingsdiensten voor externe partners, cleanroomassemblage en eindkwalificatie van assemblages, evenals vacuümmeettechnologie.

Dit artikel is een weergave van de presentatie van Klaus Bergner, CTO van VACOM, tijdens de IUVSTA-workshop 'Ultra-clean vacuum', die begin dit jaar in Delft werd gehouden. Zie het verslag in het vorige nummer van het NEVAC blad.

info@vacom.de
www.vacom.net

Definities

Vacuümtechnologie als faciliterende technologie

Vacuümtechnologie is een integraal onderdeel geworden van vele industriële en wetenschappelijke toepassingen. In de halfgeleiderproductie, deeltjesfysica, oppervlakteanalyse, ruimtevaarttechnologie en quantumoptica is het vaak onzichtbaar,

maar cruciaal voor succes – het is een 'verborgen' technologie en tegelijkertijd een faciliterende technologie (*enabler*). Alleen door gecontroleerde vacuümomstandigheden kunnen veel processen überhaupt worden gerealiseerd of tot een geschikt kwaliteitsniveau worden opgevoerd. High-Purity vacuümcomponenten zoals flenzen, vacuümkamers, elektrische en optische interfaces, en afdichtingen zijn speciaal ontworpen om te voldoen aan de extreme eisen van deze toepassingen. De belangrijkste factoren hierbij zijn niet alleen lage lekkages, maar ook minimale ontgassing, hoge chemische zuiverheid en een geschikte oppervlaktebehandeling.

High Purity: reinheid als technische vereiste
In de context van vacuümtechnologie staat 'High Purity' voor bijzonder schone componenten met een lage verontreinigingsgraad. Dit omvat twee werkgebieden:

- Deeltjesverontreiniging:

Vaste deeltjes die via procesrestanten, slijtage of luchtverontreiniging in het systeem kunnen terechtkomen. Een interessant fysisch fenomeen is dat kleinere deeltjes een grotere mobiliteit vertonen naarmate ze kleiner worden, maar tegelijkertijd moeilijker uit het systeem te verwijderen zijn.

- Filmische verontreiniging:

Moleculaire restanten, met name van organische aard, die kunnen leiden tot ontgassing en chemische reacties in het systeem. Figuur 1 toont een illustratie.

Drukbereiken

Afhankelijk van de toepassing en de technische uitdaging wordt een indeling gemaakt met verschillende drukk bereiken. Deze verschillen niet alleen in de absolute drukwaarden, maar ook in de fysische mechanismen die verantwoordelijk zijn voor de bijdragen van het restgas in het systeem. Terwijl macroscopi-



Figuur 1. Componenten direct afkomstig van de mechanische productie kunnen een typische filmische verontreiniging hebben van $1 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^2$. Na hoogwaardige reiniging kan deze waarde worden teruggebracht tot $3 \cdot 10^{-9} \text{ g/cm}^2$. Dit komt overeen met het verschil tussen het uitsmeren over een voetbalveld van twee glazen bier dan wel twee losse druppels bier.



Figuur 2. Typische processtroom voor het realiseren van UCV-componenten vanuit het perspectief van de fabrikant.

sche lekkage en oppervlaktedesorptie domineren in het hogere drukbereik, treden effecten zoals diffusie vanuit het bulkmateriaal steeds vaker op in extreem-lage drukbereiken. Tegelijkertijd nemen de eisen aan materialen, afdichtingssystemen en uitgassingsgedrag exponentieel toe.

- HV (hoog vacuüm): 10^{-3} tot 10^{-7} mbar
- UHV (ultrahoog vacuüm): $< 10^{-8}$ mbar
- XHV (extreem hoog vacuüm): $< 10^{-11}$ mbar
- UCV (ultraschoon vacuüm): 10^{-3} tot $\sim 10^{-8}$ mbar

UCV is een speciaal geval in het HV- of lagere UHV-bereik met extreme zuiverheidseisen. De werkdruk in UCV is hetzelfde als in HV. In beide gevallen domineert de uitgassing van water. Het verschil met UCV is dat de uitgassing uitsluitend afkomstig is van water en slechts zeer kleine hoeveelheden afkomstig zijn van koolwaterstoffen. Het voldoen aan de UCV-eisen vormt vaak de basis voor het behalen van het UHV- en XHV-bereik.

Effecten van deeltjes en uitgassing

Deeltjes en filmische verontreiniging vormen twee van de grootste uitdagingen voor UCV-toepassingen. De effecten variëren van meetbare prestatieverliezen tot onomkeerbare schade aan componenten en systemen. Dergelijke verontreiniging is met name kritisch in de halfgeleiderproductie, optica, hoogspanningstoepassingen en wetenschappelijke experimenten, waar zelfs de kleinste fouten tot verkeerde interpretaties kunnen leiden.

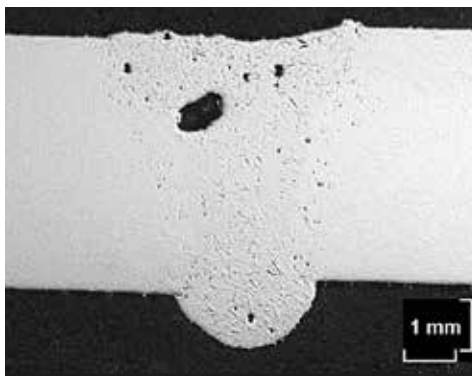
Verontreiniging door deeltjes kan leiden tot een aanzienlijk rendementsverlies bij de halfgeleiderproductie, omdat deel-

			Class S	Purity Class 1	Purity Class 2	Purity Class 3	Purity Class 4	Purity Class 5
Accumulated molecular contamination*		g/cm²	< 1E-5	< 2E-8	< 7E-9	< 5E-9	< 5E-9	< 3E-9
Outgassing (after 10h) for simple geometries	Stainless steel, Titanium, Nickel	H ₂ O [mbar·l/(s·cm²)]	n/s	n/s	< 2E-9	< 4E-10	< 4E-10	< 2E-10
		C ₂ H ₄ (45...100) [mbar·l/(s·cm²)]	n/s	n/s	< 5E-12	< 4E-12	< 4E-12	< 2E-12
		C ₂ H ₆ (101...200) [mbar·l/(s·cm²)]	n/s	n/s	< 6E-13	< 3E-13	< 3E-13	< 1.5E-13
	Aluminum, Copper	H ₂ O [mbar·l/(s·cm²)]	n/s	n/s	< 2E-9	< 1E-9	< 1E-9	< 5E-10
		C ₂ H ₄ (45...100) [mbar·l/(s·cm²)]	n/s	n/s	< 7E-12	< 6E-12	< 6E-12	< 3E-12
		C ₂ H ₆ (101...200) [mbar·l/(s·cm²)]	n/s	n/s	< 6E-13	< 4.6E-13	< 4.6E-13	< 2.3E-13
RGA certificate		no	no	optional	optional	yes	yes	
Heavy metals	[at% at surface]	n/s	n/s	n/s	n/s	< 0.1	< 0.1	
Particles **	[Surface cleanliness class]	SCC 100	SCC 10	SCC 1	SCC 1	SCC 1	SCC 1	
Recommended for use in cleanroom class***		-	ISO 7	ISO 5	ISO 5	ISO 5	ISO 5	
Cleanroom suitable packed		no	twofold	twofold	twofold	twofold	threefold	
Note		"free of oil and grease"	cleanroom suitable	low particle generation	low outgassing and low particle generation	Semiconductor Applications	the top class	

* Hydrocarbons
 ** Purity Class 1 - 4: SCC 01 according to the customer request
 *** Cleanroom compatibility better than ISO 1 according to the customer's request
 * Optionally, customers can order a residual gas analysis with RGA protocol for various Purity Classes (PC). The selection available for this is made directly on the product via the Purity Classes filter when ordering in the shop.

The TSC of cleaning apply

Figuur 3. VACOM's eigen specificatie van reinheidsklassen (Purity Classes) voor het vastleggen van vergelijkbare productnormen tussen fabrikanten en gebruikers. Op basis hiervan kan de reinigingsstrategie worden gedefinieerd om de uiteindelijke reinheid van de componenten te garanderen.



Figuur 4. Dwarsdoorsnede van twee lasnaden. Links een vacuümcompatibele lasverbinding, die wordt bewaakt door een geschikt procesbewakingssysteem. Rechts diverse holtes en lasinsluitingen, die bij de toepassing tot uitgassing leiden (virtueel lek).

tjes structurele defecten in de halfgeleidercircuits veroorzaken. In optische systemen, met name in de lasertechnologie, kunnen aanhechtende deeltjes zogenaamde hotspots creëren, die leiden tot lokale oververhitting en uiteindelijk tot vernietiging van gevoelige optische coatings. In elektrische en elektronische vacuümsystemen bestaat ook het risico dat geleidende deeltjes kortsluiting of elektrische bogen veroorzaken.

Filmachtige verontreinigingen hebben vaak een subtieler effect, maar zijn daarom niet minder gevaarlijk. In transmissie-elektronenmicroscopen, vooral bij lage versnellerspanningen, veroorzaakt uitgassing een verdonkering van de te inspecteren monsters (beeldverdonkering), waardoor verder gebruik van de monsters wordt verhinderd. In wetenschappelijke meetsystemen kunnen zelfs de kleinste moleculaire residuen leiden tot meetafwijkingen of -instabiliteiten en zo onjuiste aannames over de onderzochte fysische of chemische systemen veroorzaken. Bovendien belemmeren organische films op optische oppervlakken de transmissie en reflectie – een kritiek punt in hogeprecisie-optica of in ruimtetoepassingen, waar elke vermindering van de optische efficiëntie onmiddellijke gevolgen heeft.

Deze voorbeelden illustreren dat de beheersing van deeltjes en uitgassing niet alleen een leuke bijkomstigheid is, maar

een technische noodzaak om de functionaliteit en reproduceerbaarheid van moderne vacuümprocessen te waarborgen.

Verschillende perspectieven: OEM'er en fabrikant

OEM-perspectief: de vraag naar perfecte integratie

Vanuit het perspectief van een OEM'er (*original equipment manufacturer*) zijn High-Purity componenten een werk gereedschap dat naadloos moet passen in een hoger systeem. Dit gaat niet alleen om pure functionaliteit, maar ook om factoren zoals geometrische pasnauwkeurigheid, materiaalcompatibiliteit, temperatuurgedrag, elektromagnetische compatibiliteit, mechanische stabiliteit en natuurlijk de naleving van basisvacuümvereisten. Aan al deze vereisten moet ook onder economische randvoorwaarden worden voldaan. Uiteindelijk kunnen de verwachtingen van een OEM'er ten aanzien van de componentenfabrikant worden samengevat in een eenvoudige formule: "Zorg dat het werkt. Steeds opnieuw."

Perspectief van de fabrikant: realiteit van technische haalbaarheid

Vanuit het perspectief van de fabrikant vormt de productie van High-Purity vacuümcomponenten een complexe uitdaging waarbij verschillende disciplines met elkaar verbonden moeten zijn. De centrale vraag is: hoe kunnen de vereiste

prestaties en zuiverheid betrouwbaar en herhaalbaar worden bereikt onder de reële omstandigheden van industriële productie? Het antwoord op deze vraag begint bij de selectie van geschikte productiestrategieën en eindigt met een consistente, goed doordachte kwaliteitsborging in alle procesfasen (Figuur 2).

Werkwijze voor High-Purity componenten

Succesvol management bij de productie van High-Purity vacuümcomponenten is alleen mogelijk via een holistische aanpak. De volgende basisprincipes moeten in acht worden genomen: 'Schoon ontwerpen, Schoon plannen, Schoon maken, Schoon bewijzen, Schoon houden' ('Design clean, Plan clean, Make clean, Proof clean, Keep clean').

Schoon ontwerpen

De eerste stap, 'Schoon ontwerpen', betekent dat alle relevante fysische variabelen zoals lekkage, permeatie, uitgassing, geleidingswaarden en pompsnelheden vanaf het begin in het ontwerp moeten worden opgenomen. Een geoptimaliseerde componentgeometrie moet niet alleen vacuümtechnisch functioneren, maar moet ook zo zijn ontworpen dat deze effectief kan worden gereinigd. Zo moeten bijvoorbeeld geventileerde schroeven worden gebruikt om virtuele lekken te voorkomen. Ook de toegestane aspectverhouding tussen de boordiameter en -lengte moet worden aangehouden, omdat anders een volledige reiniging van de boorkanalen niet langer kan worden gegarandeerd.

Schoon plannen

De stap 'Schoon plannen' vormt de basis voor het uiteindelijke reinigingsresultaat. De planning begint met het vaststellen van een uitgassingsbudget voor het gehele systeem en alle componenten. Pas nadat deze streefwaarden zijn vastgesteld, kan worden besloten welke materialen moeten worden gebruikt en welke behandelstappen nodig zijn. O-ringen van verschillende materialen, zoals FKM of NBR,

hebben bijvoorbeeld sterk uiteenlopende permeatie- en uitgassingsnelheden, wat een directe impact heeft op de systeemprestaties. Het gebruik van gestandaardiseerde reinheidsklassen (Figuur 3) zorgt voor duidelijkheid in de communicatie en maakt streefwaarden zoals uitgassingsnelheden, moleculaire contaminatie of deeltjesreinheid specifiek meetbaar en vergelijkbaar. Dit maakt het mogelijk om in een vroeg stadium te bepalen welke reinigings- en testprocessen nodig zijn om de gewenste prestaties te garanderen.

Schoon maken

Deze stap beschrijft de daadwerkelijke productie van de componenten. Alleen gekwalificeerde en gecontroleerde grondstoffen mogen hierbij worden gebruikt om ongewenste verontreiniging vanaf het begin uit te sluiten. De productie vindt meestal plaats met behulp van subtractieve processen zoals frezen of draaien, waarbij uitsluitend geschikte, reinigings-

vriendelijke koelsmeermiddelen worden gebruikt. De componenten worden vervolgens verder verwerkt door middel van lassen of andere verbindingprocessen. Ook hier zijn alleen goedgekeurde vulmaterialen toegestaan. Stabiele processen zijn noodzakelijk om virtuele lekken in lasnaden te voorkomen (Figuur 4).

Na de mechanische verwerking vindt een specifiek reinigingsproces plaats. Dat bestaat uit verschillende fasen, die in verschillende combinaties worden toegepast, afhankelijk van de initiële verontreiniging en het gewenste eindresultaat: van voorreiniging tot precisie- en kritische reiniging tot en met ultrakritische reiniging. Technologieën zoals ultrasoonreiniging, oplosmiddelreiniging, sproei-reiniging, cyclische nucleatie, plasma- of ozonreiniging, droogijstralen en thermische behandelingen worden toegepast. VACOM biedt in dit kader de unieke mogelijkheid om alle beschikbare reini-

gingsprocessen in eigen huis te hebben. Een team van contaminatiespecialisten zorgt ervoor dat het gewenste reinigingsresultaat wordt bereikt, zelfs met diverse materialen of coatings.

Schoon bewijzen

Deze stap verwijst naar de controle en documentatie van de reinigingsresultaten. De gebruikte detectiemethoden zijn afhankelijk van het type verontreiniging. Optische deeltjestellers, vloeistofdeeltjestellers, deeltjesmeetkaarten (PMC's) en *black-light*-inspectie (Figuur 5) worden gebruikt om deeltjes te detecteren. Filmmische verontreiniging wordt gemeten met behulp van visuele inspecties onder helder licht (*bright light*) of UV-licht en restgasanalyses. Voor restgasanalyses zijn verschillende meetmethoden beschikbaar, die zich kenmerken door hun doorvoersnelheid en meetgevoeligheid. Meestal wordt de doorvoer-, accumulatie- of stijgsnelheidsmethode gebruikt.



Figuur 5. Kwaliteitscontrole op deeltjesverontreiniging door *black-light*-inspectie bij VACOM. Resterende deeltjes zullen onder deze omstandigheden oplichten.



Figuur 6. Een drievoudig verpakte vacuümassembly bij VACOM, klaar voor verzending naar de klant.

Schoon houden

De laatste stap, 'Schoon houden', zorgt ervoor dat de bereikte zuiverheid behouden blijft. Dit begint met een gecontroleerde omgeving zoals een cleanroom en eindigt met de verpakking (Figuur 6). Er worden alleen gekwalificeerde

verpakkingsmaterialen gebruikt die zelf geen verontreiniging afgeven en herbesmetting voorkomen. Een correcte behandeling van de componenten is net zo belangrijk: de verpakking mag alleen worden geopend in een cleanroom of een 'grijze' ruimte en componenten mo-

gen alleen met handschoenen worden aangeraakt.

Samenvatting

Vacuümc componenten met een hoge zuiverheidsgraad zijn essentieel voor de realisatie van complexe systemen in onderzoek en industrie. De ontwikkeling en productie ervan vereisen een diepgaand begrip van de onderlinge fysische, chemische en productieprocessen. De hier gepresenteerde holistische benadering biedt OEM'ers en fabrikanten een robuust kader om te voldoen aan de steeds hogere eisen in UCV-, UHV- en XHV-toepassingen. Door de toenemende miniaturisatie, stijgende energie-efficiëntie en groeiende gevoeligheid van moderne systemen zal het belang van vacuümc componenten met een hoge zuiverheidsgraad in de toekomst alleen maar toenemen.

ACCLON

TECHNOLOGIES

**Dé professional voor
vacuümpompen &
gloveboxen**

**DOOR INNOVATIE OP
WEG NAAR EEN
DUURZAME TOEKOMST**

Scan voor contact

Nijverheidsweg 34 | NL-3274 KJ HEINENOORD | +31 (0) 85 273 7267 | www.acclon.nl | info@acclon.com

Vrijwilligers gezocht

In het verleden organiseerde de NEVAC buitenlandse excursies, bijvoorbeeld naar Japan en de Verenigde Staten. De verslagen van deze reizen zijn nog steeds terug te vinden in het archief van onze NEVAC bladen. In de praktijk kost het organiseren van zulke reizen echter veel tijd; daarvoor hebben we een toegewijde vrijwilliger nodig. Op dit moment is die er helaas niet. Uiteraard kunnen geïnteresseerde vrijwilligers zich melden!

Om toch excursies aan onze leden aan te bieden, zijn we gestart met het organiseren van binnenlandse excursies. We beginnen met een bezoek aan Demaco op 24 oktober en we zijn al in gesprek voor een tweede bedrijfsbezoek later dit jaar. De details over deze excursies zullen op onze website verschijnen, en we sturen ook een aankondiging via de mail. Mocht je nog nooit een mail van de NEVAC hebben ontvangen, stuur dan even een bericht naar de penningmeester (penningmeester@nevac.nl), zodat we je contactgegevens kunnen toevoegen.

Tijdens de algemene ledenvergadering is Sense Jan van der Molen afgetreden als vicevoorzitter. Adrie Mackus is als vicevoorzitter toegetreden en zal over twee jaar het voorzitterschap van de NEVAC op zich nemen. Zoals ook in het verslag van de NEVAC-dag staat, hebben we op voordracht van enkele ereleden aan de leden voorgesteld om Sense Jan van der Molen te benoemen tot erelid van de NEVAC. Deze voordracht is met applaus aangenomen.

Een vereniging kan niet functioneren zonder vrijwilligers. We zijn daarom op zoek – naast de al genoemde organisator van buitenlandse excursies – naar mensen voor de volgende functies:

- Lid kascommissie:
Een activiteit die slechts één keer per jaar een paar uur kost (2 à 3), maar van groot belang is voor de vereniging.
- Lid redactie NEVAC blad:
Als redactielid denk je mee over de inhoud van het NEVAC blad en review je artikelen vóór publicatie, samen met de andere redactieleden. We zijn op zoek naar versterking, omdat twee redactieleden recent zijn gestopt.
- Bemensing beursstand (Ask the Expert):
De NEVAC staat met een stand op de Precisiebeurs en het Clean Event. Veel leden bezoeken deze beurzen al. We zouden het waarderen als je een paar uurtjes onze stand kunt bemensen, vragen over vacuümtechniek kunt beantwoorden en mogelijk nieuwe leden kunt werven. Aanmelden kan via de secretaris (zie het colofon op pag. 2).
- Vrijwilligers voor de Opleidings- en Examencommissie:
Deze commissie vormt een belangrijke pijler van onze vereniging. Voor meer informatie, neem contact op met de voorzitter, Gesa Welker (zie het colofon op pag. 2).

Tijdens de ALV kwam de vraag naar voren of het bestuur wil nadenken over het moment waarop we de ALV houden. Het is al langer duidelijk dat we op de



In het NEVAC blad van november 2018 werd uitgebreid verslag gedaan van de Japan-reis, met onder meer een bezoek aan de zwaartekrachtgolfdetector KAGRA. Op de foto de tunnel met een vacuümbuis van de detector.

NEVAC-dag als het ware onze eigen concurrentie organiseren door gelijktijdig rondleidingen aan te bieden. Dat maakt het lastig voor leden om aan beide onderdelen deel te nemen. We vinden het belangrijk dat de ALV op de NEVAC-dag plaatsvindt, maar dat zal een puzzel blijven; wordt vervolgd.

Tot slot willen we graag nog kort ingaan op de Opleidings- en Examencommissie. De afgelopen jaren zijn hier grote stappen gezet en als bestuur hebben we de banden met de commissie aangehaald. Dat was nodig en is goed gelukt. Een mooi resultaat hiervan was de diploma-uitreiking op de afgelopen NEVAC-dag, direct na de laatste presentatie. Voor de examenkandidaten is het natuurlijk veel leuker om hun diploma uitgereikt te krijgen voor een groot publiek, en het biedt meteen de kans om kennis te maken met de vereniging. Deze nieuwe traditie willen we voortzetten. Dat betekent waarschijnlijk wel dat de NEVAC-dag in de toekomst niet meer in mei zal plaatsvinden, maar – zoals dit jaar al – in juni.

In vacuüm krijg je het pas koud

De toekomstige Einstein Telescoop moet nog nauwkeurigere metingen aan zwaartekrachtgolven opleveren. Voordat het zover is, staan er nog flink wat technologische uitdagingen in de weg. Een daarvan is het creëren van het benodigde ultrahoogvacuüm.

Michiel van Limbeek

Auteur en verantwoording

Michiel van Limbeek is gepromoveerd in de thermische stromingsleer op het Leidenfrost-effect. Aan de Universiteit Twente (UT) doet hij onderzoek naar warmtetransport in de context van koelingscycli. Hij is betrokken bij de cryogene infrastructuur en leidt in de UT-vakgroep Energy, Materials & Systems (EMS) de ontwikkeling van de sorptiekoelers voor ETpathfinder. Dit artikel is november 2024 verschenen in het Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde, in het themanummer over vacuüm, dat met inbreng van de NEVAC is ingevuld.

www.utwente.nl/en/tnw/ems
www.etpathfinder.eu
www.ntvn.nl

Sinds de eerste waarneming van gravitatiegolven, in 2015 door de LIGO-observatoria, is er binnen de fysica wereldwijd grote belangstelling voor grotere en nog nauwkeurigere instrumenten. De Europese Unie bereidt de constructie van de volgende generatie gravitatiegolven-telescoop voor: de Einstein Telescoop (ET). De bedoeling is de precisie met een factor duizend te verbeteren ten opzichte van de huidige detectoren door onder meer het trillingsvrij ophangen en afkoelen van de spiegels waaruit de interferometers zijn opgebouwd. Om achtergrondtrillingen te onderdrukken,

komt de telescoop ongeveer driehonderd meter onder de grond te liggen. Verder zullen meerdere detectoren, werkend op verschillende golflengten, worden gecombineerd (zie Figuur 1). Een van de mogelijke locaties is het gebied ten zuiden van Maastricht: het grensgebied van België, Duitsland en Nederland.

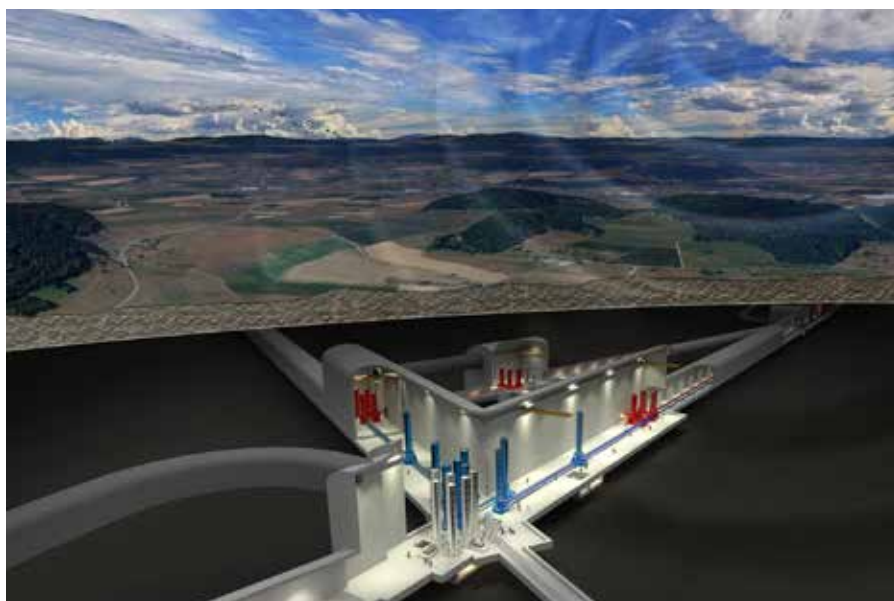
ETpathfinder

Om de nieuwe technologie alvast te ontwikkelen, wordt sinds een paar jaar de Einstein Telescope Pathfinder (ETpathfinder, ETPF) opgebouwd in Maastricht. Om in de toekomst op grote schaal te kunnen produceren voor de ET, worden

nu al meerdere technologieën in samenwerking met de industrie doorontwikkeld. Vacuümtechnologie is nodig om verstrooiing van het laserlicht te onderdrukken, de optica schoon te houden en akoestische bronnen weg te nemen. Het gaat hier om de grootste ultrahoogvacuümruimte ter wereld: de ET is grofweg een gelijkzijdige driehoek met zijden van tien kilometer. Niet verwonderlijk dus dat binnen het ETPF-programma industrie en academici samenwerken om de productie van al die kilometers hoogwaardige vacuümbuizen en verdere vacuümtechnologie te realiseren.

Thermische ruis wegnemen

Het vacuüm van de ET dient nog een extra doel, namelijk het bereiken van de vereiste lage temperaturen om thermische ruis in de optica weg te nemen. Om koelvermogen te creëren, wordt vaak een thermodynamische cyclus gebruikt. Een gas wordt eerst gecomprimeerd op



Figuur 1. Schematische weergave van de Einstein Telescoop. Meerder interferometers (rood, blauw en zilver) zijn in de tunnels geplaatst. De tunnelbuizen liggen in een gelijkzijdige driehoek van tien kilometer ongeveer driehonderd meter onder de grond. De ongeveer twintig meter hoge vacuümtorens bevatten de spiegels met hun ophangsystemen en zijn onderling verbonden met vacuümbuizen.

(Afbeelding: Marco Kraan/Nikhef)

een hoge temperatuur; de warmte die daarbij ontstaat, wordt aan de omgeving afgegeven. Door vervolgens het gas, dat onder hoge druk staat, gecontroleerd te laten expanderen, koelt het af en kan het daarmee warmte opnemen uit de omgeving. Dit kan worden gebruikt om bijvoorbeeld detectoren te koelen. Echter, de meeste (cryogene) koelmethode maken gebruik van mechanische principes om het gas te comprimeren. De mechanische compressors vormen een bron van trillingen.

Sorptietechnologie

Marcel ter Brake deed bij de Twentse vakgroep EMS jarenlang onderzoek naar het combineren van sorptietechnologie om gassen trillingsvrij te comprimeren, waarbij geactiveerd kool op lage temperatuur gassen bindt. Door de kool vervolgens te verwarmen, komt het gas vrij. Door twee terugslagkleppen te gebruiken, kan hiermee druk worden opgebouwd, vergelijkbaar met hoe ons eigen hart bloed rondpompt. Een consortium van Demcon kryoz, Cooll en EMS gebruikt dit concept voor de bouw van trillingsvrije koelers, die de optica van ETPF tot 10 K gaan afkoelen en zo de thermische ruis in de detectoren wegnemen. De sorptiecompressor wordt hier gecombineerd met een restrictie om het vereiste koelvermogen te leveren, het zogeheten Joule-Thomson-effect. Het vacuüm is hierbij essentieel om de detectoren thermisch te isoleren en de optica naar deze lage temperaturen te krijgen.

Vacuümtechnologie verandert thermische vraagstukken

Als je iets wilt afkoelen, heb je ten eerste een koellichaam nodig en moet je het ten tweede goed isoleren. Door de warmtestroom vanuit de omgeving te limiteren, kost het koelen minder energie en kunnen lagere temperaturen worden bereikt. Vacuümtechnologie biedt hier op meerdere manieren uitkomst. Ten eerste gaat het verwijderen van lucht uit de opstelling warmtebelasting door convectie tegen. Ten tweede voorkomt

vacuüm het ontstaan van warmtebelasting door latente warmte ten gevolge van neerslaande of condenserende gassen. Verder is vacuüm nodig omdat vocht uit de lucht voor roest kan zorgen of voor schade door kortsluiting in de elektronica. Een goed vacuüm betekent dat het initiële gas verwijderd is voordat men gaat koelen, en voorkomt ook dat nieuw gas van buitenaf kan toestromen.

Een derde warmtebron die wordt ondervangen door vacuümtechnologie is stralingswarmte. Cryogene technologie maakt vaak gebruik van zogeheten stralingsschermen. Dat zijn sterk spiegelende oppervlakken, zoals gepolijst staal of koper, die de hoogenenergetische warmtestraling van de omgeving weerkaatsen en zo voorkomen dat die op het koude object valt. Deze schilden nemen na verloop van tijd een temperatuur aan die ligt tussen die van de warme omgeving en van de koude opstelling. Zonder vacuüm slaan de gassen neer of condenseren ze op de koude oppervlakken. Dit verandert vervolgens hoe spiegelend de schermen zijn: de warmtebelasting kan door dit effect bijna een factor tien sterker worden.

Vacuümeisen voor de ET

Cryogene interferometrie voor detectie van gravitatiegolven vereist dat er geen restgas vastvriest op de spiegels van de interferometer. Slechts een enkele laag atomen op de spiegels kan het signaal al verstoren. Een cryogeen gekoelde spiegel een aantal maanden schoonhouden, vereist een lokale druk van 10^{-11} Pa rond het spiegeloppervlak en een druk beneden de 10^{-8} Pa in de armen van de interferometers. Voor zo'n hoog vacuüm moeten twee soorten verontreiniging worden bestreden. Men gebruikt vaak *multi-layer insulation* (MLI, dubbel-gealuminiseerd kaptonfolie) om cryogene onderdelen af te schermen van de omgeving op kamertemperatuur. MLI bestaat uit meerdere lagen reflecterende folie. De warmtestraling neemt omgekeerd evenredig af met het aantal lagen. Echter, MLI-folie

is hydrofiel – na beluchten zou het jaren duren om het geadsorbeerde water uit de folieoppervlakken weg te pompen tot een acceptabele restdruk.

Warmtetransport: hoe en wat?

Warmte kan op drie verschillende manieren worden uitgewisseld tussen twee objecten:

- **Geleiding:**
De wet van Fourier stelt dat de warmtestroom q gelijk is aan de negatieve gradiënt van de temperatuur maal de thermische geleidbaarheid k van het materiaal:

$$q = -k \nabla T$$

- **Convectie:**
Stromende gassen of vloeistoffen nemen energie op van het hete object, transporteren de energie en geven die af aan koudere objecten.
- **Straling:**
Ieder object wisselt fotonen uit met zijn omgeving door uitstraling en absorptie. De corresponderende warmtestroom hangt af van de grootte en emissiviteit van het oppervlak en schaal met de vierde macht van de temperatuur. De netto-warmtestroom tussen de objecten a en b hangt dus sterk af van het verschil in (absolute) temperatuur van de twee:

$$Q_{a \rightarrow b} \sim (T_b^4 - T_a^4)$$

Door stralingsschermen tussen objecten a en b te plaatsen, kan de warmtestroom op b sterk worden verminderd.

De tweede bron van verontreiniging op de spiegels is het uitgasen van materialen. Voor spiegeltemperaturen beneden de 10 K dient men met name het uitgasen van waterstof te vermijden, de meest

hardnekkige bron van gas uit staal. In de huidige gravitatiegolfdetectoren (LIGO, Kagra, Virgo, GEO600) zijn de drukken in de torens waarin de spiegels hangen ongeveer een factor miljoen te hoog om die lage temperaturen te bereiken. Stralingsschermen rond de cryogene spiegels brengen dan uitkomst. Die reduceren de thermische straling op de spiegels met een factor tienduizend. Het restgas uit de torens en de bundelpijp moet op de schermen vastvriezen in plaats van op de spiegel, om de benodigde factor miljoen in drukwinst te realiseren. Daarnaast moeten de schilden zelf zeer weinig uitgassen.

In ETPF (Figuur 2) ontwikkelen we deze technologie in een uitgebreid programma. We modelleren de migratie van alle moleculen en de thermische straling tussen alle oppervlakken in de interferometer. Verder nemen we de interacties mee, zoals adsorptie en desorptie, permeatie in polymeren, monolaagopbouw, et cetera. Ten slotte vergelijken we de modellen met de werkelijkheid door de uitgassing van onderdelen te meten als functie van de temperatuur (na beluchten) van alle componenten die in het vacuümsysteem worden ingebracht.

De cryokoeler van EMS vereist niet overal een ultrahoogvacuüm: door de compressor in een apart vacuüm te plaatsen, zijn

hier materialen die nog een beetje uitgasen afdoende. Daarnaast is eventueel onderhoud plegen ook een stuk eenvoudiger als alleen het vacuüm van de compressor verbroken wordt. Via vacuümdoorvoeren kan het gas door dunne gasleidingen van en naar de Joule-Thomson-koeler worden getransporteerd om bij de spiegels het koelvermogen te leveren.

Vacuümtechnologie in een bredere context

De extreme eisen van de ET zijn niet altijd nodig. Vacuümtechnologie heeft veel bredere toepassingen in het dagelijks leven. Zoals de spiegels van de ET schoon en vrij van trillingen moeten blijven, zo slaagt ook de productie van chips met de nieuwste EUV-machines alleen in een ultrahoogvacuüm. Andere hightech-toepassingen zijn de productie van zonnepanelen, flatscreens en dunne films. Verder krijgt het verduurzamen van de samenleving momenteel veel aandacht. De eindige hoeveelheid fossiele energie en de bij verbranding vrijkomende broeikasgassen zorgen ervoor dat men in iedere sector nadenkt hoe verantwoord met energieconsumptie en -productie om te gaan. Een van de trends hierbij is de overstap op vloeibare waterstof als energiedrager. Vloeibaar, want waterstof in gasvorm resulteert in zware constructies om de hoge drukken te weerstaan die

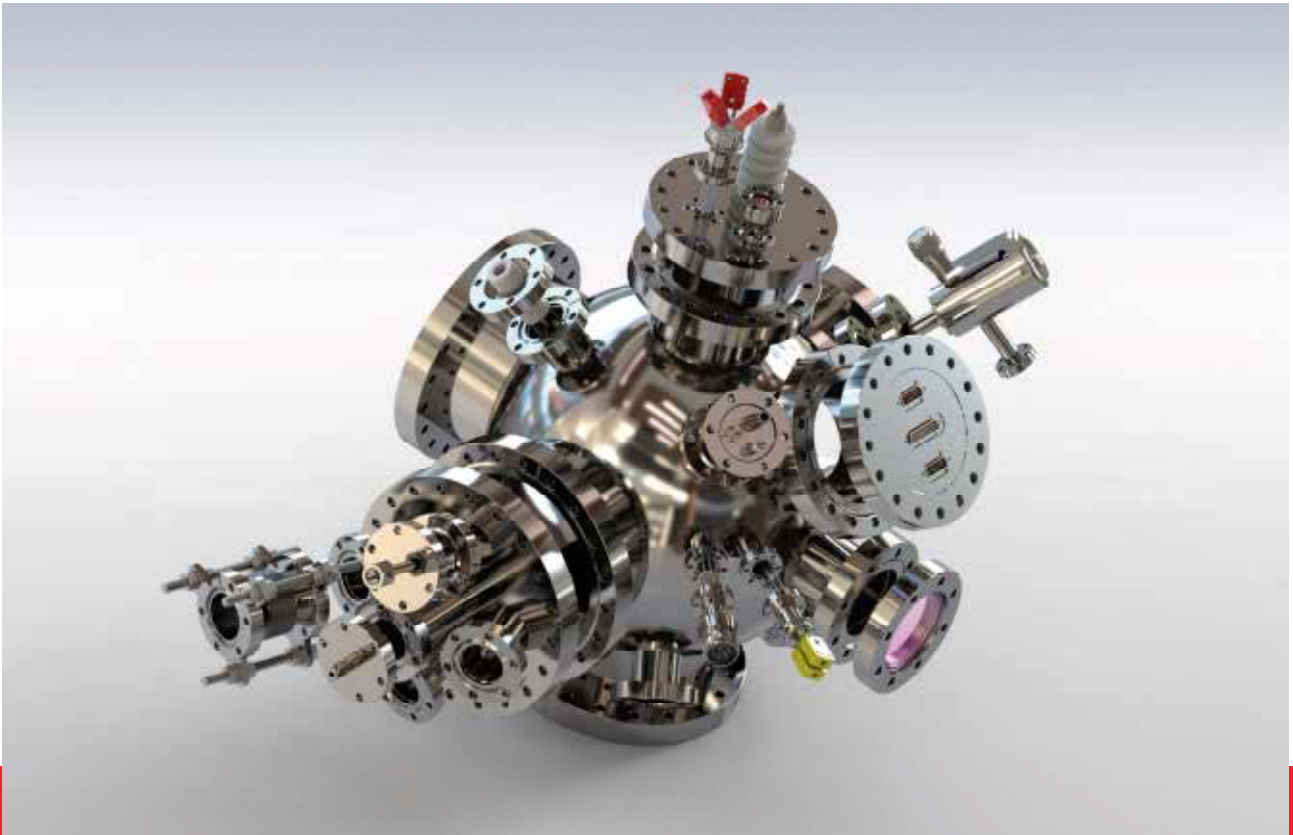
voor een met fossiele brandstoffen vergelijkbare energiedichtheid nodig zijn. De luchtvaartsector beweegt in de richting van elektrisch vliegen met vloeibare waterstof als energiedrager.

Supergeleiders, met voldoende koeling, kunnen worden gebruikt voor elektrische kabels en in motoren. Enkele jaren geleden is mede door de EMS-groep de eerste supergeleidende windmolen gebouwd met een groot vacuüm rondom de rotor. Supergeleiders werken alleen bij temperaturen onder zo'n 80 K. Bij hogere temperaturen worden ze normale geleiders of zelfs isolatoren. Waterstof is pas vloeibaar onder de kritische temperatuur van 33 K. Vacuümtechnologie is verder essentieel voor de cryotechnologie in MRI-systemen, zweeftreinen en toepassingen van cryogene vloeistoffen. Bij veel van deze toepassingen speelt vacuümtechnologie dus een belangrijke rol: het bereiken van lage temperaturen kost veel meer energie zonder een goed vacuüm, als het al mogelijk is. Vacuüm is dus een technologie die andere technologieën mogelijk maakt.

Met de Einstein Telescope PathFinder als voorbeeld zagen we dat cryogene systemen vaak onlosmakelijk verbonden zijn met vacuümtechnologie. Met het verwijderen van omgevingsgas verdwijnt een grote bron van warmtebelasting, zoals het goed isoleren van een huis zorgt voor lagere verwarmingskosten. Vacuüm kan nog een tweede doel dienen, zoals in het geval van de ET: niet alleen verstrooit het licht minder door de afwezigheid van gas en akoestische trillingen, het vacuüm voorkomt ook dat omgevingsgas op de koude optica neerslaat en het meetsignaal verstoort. Kortom, vacuümtechnologie zorgt op verschillende manieren voor goed functionerende optica. Met de introductie van vloeibare waterstof als energiedrager en nieuwe toepassingen van supergeleiders zal vacuümtechnologie in de toekomst meer en meer toepassingen vinden.



Figuur 2. Het ETPF-lab in Maastricht. De optica wordt trillingsvrij opgehangen in de torens, die met elkaar verbonden zijn door vacuümbuizen. De torens zijn minder hoog, omdat de spiegels kleiner zijn dan die gepland in de ET. (Afbeelding: ETpathfinder Team)



- Vacuum Components
- Custom Vacuum Chambers
- Custom Manipulators
- Mass Spectrometers and RGAs
- Mass Flow Control
- Plasma Treatment Systems
- PVD/CVD Systems

Specialized in Vacuum and Cryogenic Technology
with more than 50 years of experience

Theo Mulder (IKO, Leybold, NEVAC)

Enthousiaste zendamateur, vacuümtechniekverkoper en docent

Theo Mulder kreeg spelenderwijs de liefde voor techniek mee en werd een enthousiast zendamateur. Zijn professionele enthousiasme richtte zich al snel op de vacuümtechniek. Hij verdiepte zich in de historie van het vacuüm, ontwikkelde cursusmateriaal en schreef mee aan de befaamde vacuümboeken die voorbereiden op het NEVAC-examen. In 2006 kreeg hij voor zijn inzet het NEVAC-erelidmaatschap toegekend. Op hoge leeftijd geeft hij nog altijd cursus. “Ik vind het leuk om mensen te vertellen over vacuümtechniek en te horen over de vacuümproblemen die ze tegenkomen bij hun interessante onderzoeken.”

Theo Mulder is geboren en getogen in Amsterdam. Hij bezocht er de HBS en de HTS, waar hij zijn belangstelling voor techniek kon uitleven. Die had hij al op heel jonge leeftijd doordat hij op zijn verjaardagen van familie metaalbouwdozen kreeg van Trix, een soort Meccano. Al gauw kwam er elektriciteit, met een batterijtje, bij kijken en een neef kwam aanzetten met een natuurkundig boekje waarin het schema van een kristalontvanger stond. “Mijn vader heeft me toen meegenomen naar dé radiohandel van Amsterdam, Aurora, en kocht daar antenne-draad en een kristal voor me. Van een oom kreeg ik spoelen en een andere oom bouwde er een kristalontvanger mee. Dat zal vlak na de Tweede Wereldoorlog zijn geweest. Niet dat ik veel met die kristalontvanger kon, want de ontvangst was matig. Dus zei oom tegen mijn vader dat hij mij Het Jongens Radioboek erbij moest geven. Ik was toen een jaar of twaalf en was al wat handiger geworden; zo ging ik zelf aan de slag op de midden-golf met radiobuizen en anodebatterijen.”

Dat was het begin van Mulder's radio-hobby. “Op school kreeg ik vriendjes die hetzelfde deden en samen bouwden we



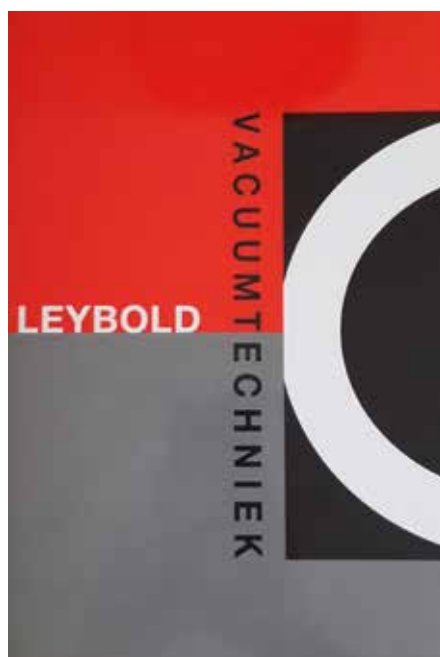
Theo Mulder

ontvangers voor de korte golf. Zo kregen we de stem van zendamateurs te horen en bouwden we ook zendertjes om draadloos contact met elkaar te hebben. Dat mocht natuurlijk niet zomaar en we zaten er de echte zendamateurs mee in de weg. Die dreigden ons aan te geven bij de RCD (Radio Controledienst, red.), dus werden we wat voorzichtiger en besloten we dat we dan maar officiële zendamateurs moesten worden. We deden examen, slaagden uiteindelijk en

nog altijd heb ik er een leuke hobby aan, knutselen met elektronica.”

Lineaire elektronenversneller

In die radiobuizen zat natuurlijk vacuum, maar daar was de jonge Mulder nog niet in geïnteresseerd. Op de HBS had hij in een practicum de proef van Torricelli uitgevoerd, verder ging het niet. In zijn opleiding Mechanische Technologie aan de HTS en daarna in zijn eerste baan, als inkoper bij IBM, zat helemaal geen vacuum. “Het werk bij IBM vond ik op een gegeven moment niet leuk meer en toen zag ik een advertentie staan van het toenmalige IKO, Instituut voor Kernfysisch Onderzoek, in Amsterdam. Daar werd het mijn job om mee te bouwen aan een lineaire elektronenversneller. Philips had daarvoor de buis gemaakt, met enkele secties van elk een meter. Die versnellerbuis was natuurlijk onder vacuum en ik kwam terecht op het vacuümlaboratorium. Daar heb ik allerlei vacuümproefjes gedaan en gewerkt met oliefusiepompen voor het hoogvacuüm en uiteraard een heliumlekzoeker. Dat ging wel eens een beetje verkeerd en dan zat de massaspectrometer onder de olie; moest je dat ding uit elkaar halen en



Lesmateriaal van Theo Mulder voor de vacuümcursus die hij vanuit Leybold gaf.

schoonmaken. Van een collega leerde ik hoe dat werkte. Voor de rest hadden we een Engelstalig boek over vacuümtechniek, dat ik doorbladerde, en praatte je er met collega's over. Dat is het begin van mijn loopbaan in vacuüm geweest. Ik vond het best interessant."

Vacuümsolderen

De lineaire versneller werd gebouwd en in gebruik genomen, maar was niet krachtig genoeg, vonden de fysici van het IKO. "Een van hen is toen naar Amerika gegaan, naar Stanford, waar ze een versneller van honderden meters lang hadden. Ter plekke heeft hij kans gezien om twee secties van elk drie meter die ze overhadden naar Nederland te krijgen. Daarmee hebben we een krachtiger versneller gebouwd, er getterionenpompen voor het vacuüm aan gemonteerd en uiteraard weer lekgezocht. Nog waren de fysici niet tevreden; het was nog te klein. Toen is men op het idee gekomen om een hele lange van 150 meter te gaan maken, maar daar was geen geld voor. Omdat die versneller de enige opstelling was waar vacuüm een rol speelde, hadden we niet veel meer te doen. We hadden nog wel een vacuümoven waarin we onder waterstofatmosfeer dunne materi-

alen, allerlei metalen en legeringen, aan elkaar soldeerden. Lassen ging daarmee niet, dus het was best leuk om bijvoorbeeld aan een dunwandige pijp een balg te solderen."

Eerste NEVAC-vacuümcursus gevolgd

Via Philips, dat toen nauwe connecties had met het vacuümlaboratorium van het IKO, kwam er een vragenlijst over interesse in een vacuümvereniging. Dat leidde uiteindelijk tot de oprichting van de NEVAC en een van de eerste dingen die de vereniging deed, was een vacuümcursus geven. "Twee collega's deden meteen die cursus en een jaar later, 1965 meen ik, heb ik die ook gevolgd. Uiteraard was daar een examen aan verbonden. Voor het schriftelijke gedeelte ben ik gelukkig geslaagd en een vacuümpracticum kon ik in Delft doen, op de natuurkunde-afdeling. Daar moest ik een diffusiepompsysteem opbouwen met een massaspectrometer eraan, zodat ik een massaspectrum kon maken en interpreteren. Zo heb ik het NEVAC-diploma gekregen."

Specials maken

Zoals gezegd was er bij het IKO niet veel werk meer voor Mulder. "Op een gegeven moment kreeg ik de uitnodiging om eens te komen praten bij de firma Leybold, leverancier van vacuümtechniek. De job van buitendienstmedewerker leek me wel wat en toen ben ik daar eind 1969 begonnen. Ik ging naar klanten om nieuwe dingen te laten zien en dan kwam ik ook allerlei problemen tegen in de vacuümtechniek die ik moest proberen op te lossen. Ik kwam hoofdzakelijk bij instituten en universiteiten; het leuke daarvan was dat je met studenten in aanraking kwam die nieuwe dingen onderzochten. Dat was bijzonder interessant. We verkochten toen alleen standaardcomponenten zoals vacuümpompen en meetinstrumenten. Maar mijn toenmalige directeur merkte dat er vraag was naar specials. Hij benaderde toen de firma Cryoson, die leidingen en vaten maakte voor het



Otto von Guericke, uitvinder van de vacuümpomp en burgemeester van Magdenburg.

(Schilderij door Anselmus van Hulle; bron: Wikipedia, Torsten Schleese)

transport van vloeibare stikstof. Zij konden natuurlijk ook wel een vacuüm-kamertje maken."

In een pand in Woerden ging Leybold aan de slag met het maken van specials. "We hebben er een paar draaibanken neergezet en knapen aan het werk gezet die ontzettend goed konden lassen. Ik ging dan naar klanten om een schetsje te laten maken van bijvoorbeeld een vacuümkamer die ze wilden hebben en dat gingen we dan maken. Dit werd Vacuum Specials, een afdeling van Leybold Nederland. We hadden natuurlijk die spullen ook bij de fabriek in Keulen kunnen laten maken, maar die rekende daar zo ontzettend veel geld voor dat we daarmee de concurrentie niet aankonden. Als eigenwijze Nederlanders gingen we het zelf doen en dat vonden ze in Keulen helemaal niet leuk. Maar wij voeren er wel bij. Dat is uitgegroeid tot wat nu het zelfstandige bedrijf Vacuüm Specials is, dat nog steeds in Woerden zit; zij maken nog altijd mooie spullen."

Initiatief tot geven cursus

Natuurlijk was er wel contact met Keulen, de hoofdvestiging van Leybold. "Als buitendienstmedewerkers werden

we regelmatig naar de fabriek geroepen om daar gedurende twee of drie dagen op de hoogte te worden gesteld van nieuwe ontwikkelingen. Dat was heel interessant.” Belangrijk voor Mulder’s ontwikkeling was ook dat de directeur van Leybold Nederland het plan opvatte om iets te doen voor klanten die met vacuüm werkten. “Dus organiseerde hij voor klanten een eendaagse cursus over vacuümtechniek, uiteraard gratis. Wij zaten daar als buitendienstmedewerkers bij omdat we de meeste klanten wel kenden. Die eerste keer was hartstikke leuk dat hij alles vertelde over het wel en wee van vacuümpompen, hoe ze in elkaar zaten en werkten. Hij had meer cursussen op stapel, kwam naar me toe en vertelde dat ik volgende week de cursus gaf. Oh, daar stond ik voor het blok. Ik had gelukkig goed opgelet hoe hij het had gedaan. Dat kon ik wel herhalen, al kon je me na afloop wel uitwringen, hoor. Maar goed, dat gaf niet. Ik vond het leuk om te doen, mensen iets vertellen over vacuümtechniek en over pompen en meetinstrumenten, wat ze wel en niet moesten doen.” Dat was begin jaren zeventig.

Mulder: “Op een gegeven moment stelde ik voor om al mijn collega’s naar een hoger niveau te tillen wat betreft hun kennis van vacuümtechniek. Samen met een collega heb ik toen het initiatief genomen om intern een NEVAC-cursus te geven. Dat was nog met een overheadprojector en sheets. Een aantal collega’s is ook opgegaan voor het examen en geslaagd. Zo is voor mij het geven van cursussen begonnen.”

Historie van vacuüm

Via een klant in Groningen werd Mulder uitgenodigd iets te komen vertellen over vacuüm. Eerst zou hij een andere bijeenkomst bijwonen om te proeven wat de bedoeling was. “Die ging over scheikunde en de spreker begon met te vertellen over hoe de scheikunde eigenlijk was ontstaan in de grijze Middeleeuwen. Dat vond ik interessant en een leuke entree voor zo’n verhaal. Dat

wilde ik ook bij mijn vacuümcursussen gaan doen. Dus ben ik gaan uitzoeken hoe de kennis over vacuüm is ontstaan. Ja, dan kom je uiteraard bij Otto von Guericke en Torricelli terecht.” Von Guericke was natuurkundige (en burgemeester van Maagdenburg) en vond onder meer de vacuümpomp uit.

Mulder kreeg het boek dat Von Guericke in 1672 in het Latijn had geschreven en dat later in het Duits was vertaald. “Daarin las ik over alle proeven die hij had gedaan. Met een pomp als een soort omgekeerde brandspuit zoog hij een biervat gevuld met water leeg. Hij hoorde hoe lucht tussen de duigen door naar binnen werd gezogen door de onderdruk die hij had gecreëerd. Maar dat kon beter, om het vacuüm goed te demonstreren. Daarom gaf hij een koperslager opdracht om twee halve bollen te maken van koper. Die heeft hij op elkaar gezet met een leren schijf ertussen; die had hij ingesmeerd met vet voor afdichting. Toen heeft hij die bol geëvacueerd en geprobeerd om de twee halve



Het Basisboek Vacuümtechniek, met Theo Mulder als co-auteur.

bollen uit elkaar te trekken met acht paarden aan de ene kant en acht aan de andere kant. Dat lukte niet, maar toen hij het kraantje dat erop was gezet opendraaide, stroomde de lucht naar binnen en vielen de bollen gewoon uit elkaar.”

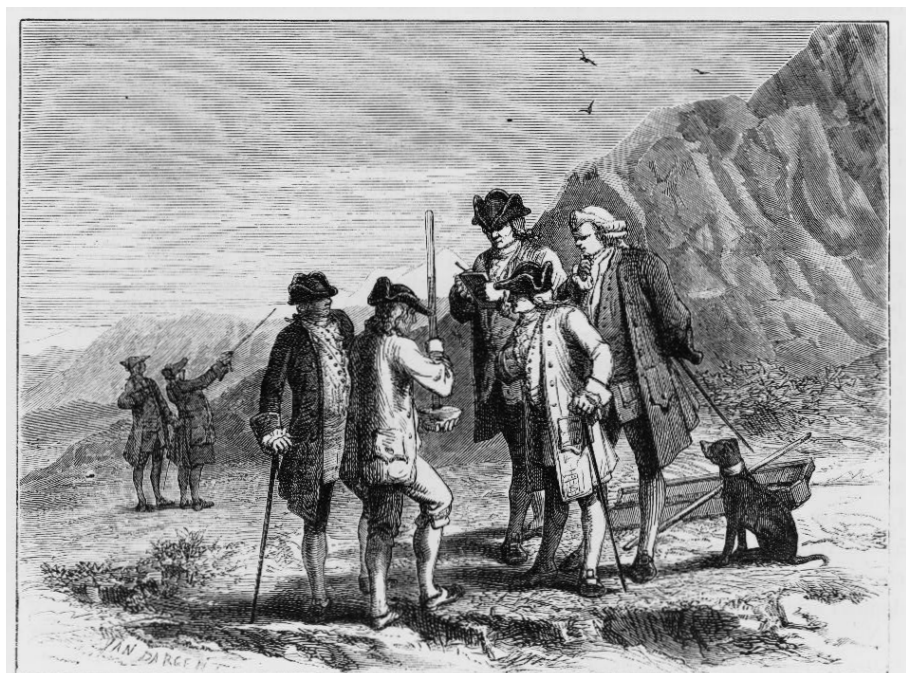


Fig. 18. — Périer mesurant la hauteur du tube de Torricelli sur le haut du Puy-de-Dôme (page 36).

Experiment met barometer door Blaise Pascal’s zwager Florin Périer bovenop de Puy de Dôme. (Gravure door Yan Dargent; bron: Wikipedia).

Maagdenburg

Mulder kreeg de vraag of hij zelf die Maagdenburger halve bollen kon laten maken. Dat kon hij wel en in verschillende uitvoeringen heeft hij ze nog vaak gebruikt voor een demonstratie van de kracht van vacuüm. Dat was onder meer bij het 25-jarig jubileum van de NEVAC, bij een recordpoging van een Delftse studentenvereniging voor het *Guinness Book of Records* en tijdens een Wetenschapsweek in België. Er werden

paarden voor gebruikt, maar ook auto's, tractoren en zelfs sleepboten. Vaak deed hij het in z'n eigen tijd, zeker nadat hij via zijn (andere) hobby, die van zend-amateur, contact legde met Maagdenburg, waar in 1986 Von Guericke's 300^e sterfjaar was herdacht. Mulder ging er op bezoek en werd lid van de *Otto von Guericke Gesellschaft*.

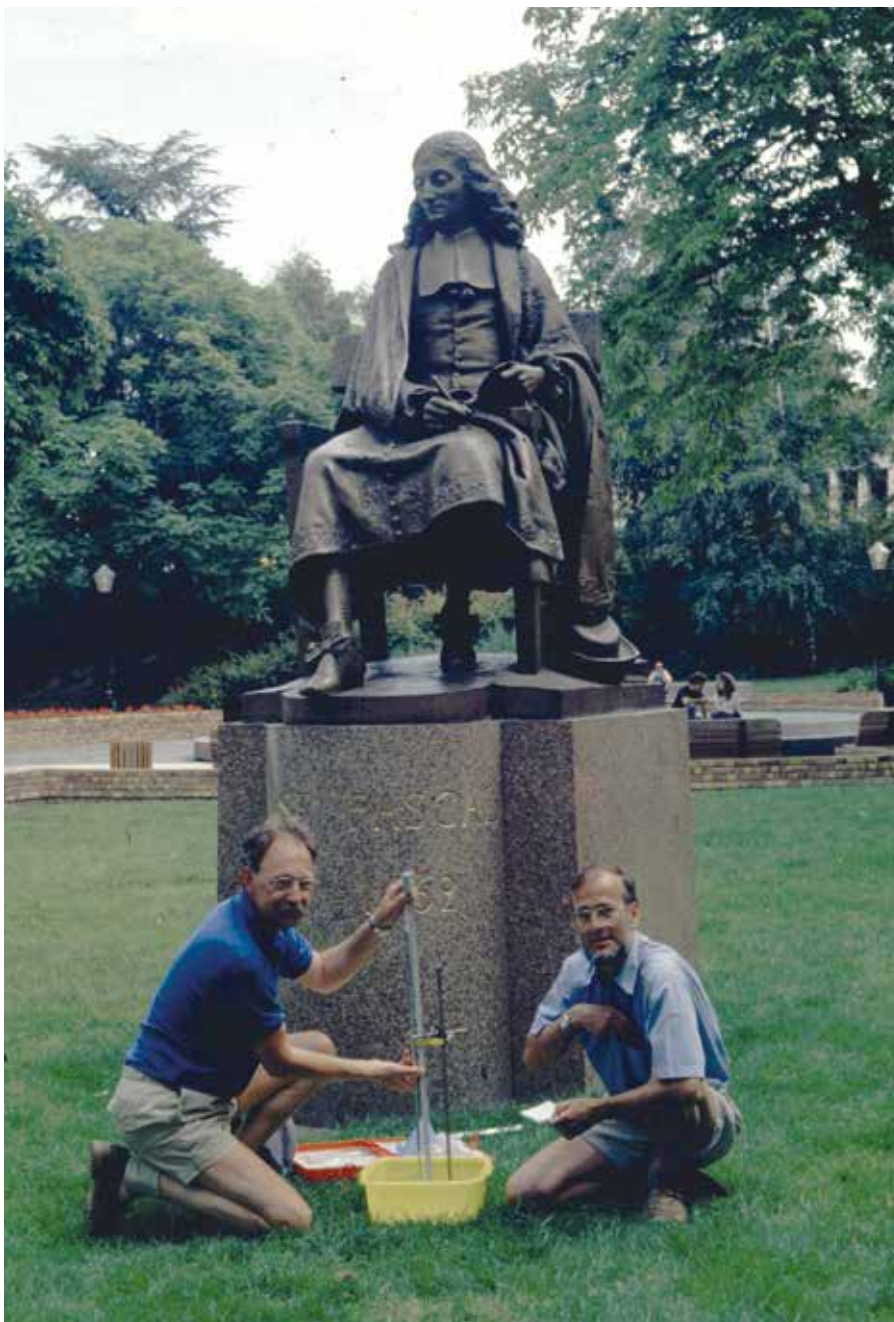
Ter gelegenheid van het 50-jarig bestaan van de NEVAC nodigde Mulder de *Ge-*

sellschaft uit om naar Nederland te komen. "Bij de viering heeft een aantal leden, gekleed in 17^e-eeuwse kostuums, originele proeven van Von Guericke uitgevoerd. Onder meer met een vacuümkanon, een lange pijp met een balletje erin die werd geëvacueerd. Nadat er weer lucht achter het balletje werd toegelaten, schoot dat weg. Dat was een proefje waar je mooi met middelbare schoolformules aan kon rekenen om de snelheid van dat balletje te bepalen, dus wilde ik het zelf ook gaan uitvoeren. Met een plastic pijp van de Gamma en een balletje van massief plastic dat een vriend had gemaakt, ging ik thuis aan de slag. Het projectiel schoot met een noodvaart weg; pas een jaar later vond ik het achter in de tuin terug. Later ben ik nog met lichtsensoren gaan experimenteren om de snelheid te meten, maar ik was er intussen wel achter dat het te gevaarlijk was om dat voor publiek te doen." Zo nam Mulder een tijdlang de historische context van vacuüm mee in de cursussen die hij gaf. Inmiddels is die historie allang opgenomen in het Basisboek Vacuümtechniek (BBVT).

Meeschrijven aan vacuümboek

De aanvragen van bedrijven voor cursussen bleven komen en op een gegeven moment kon Mulder die niet meer in de baas z'n tijd geven. Dus begon hij voor zichzelf als vacuümtechniekdocent in de avonduren. Hij gebruikte daarbij het boek dat Bert Suurmeijer en Jan Verhoeven hadden geschreven (zie ook de interviews met hen in eerdere nummers van het NEVAC blad). "Maar op een gegeven moment was dat zo verouderd dat ik daarover bij Bert begon te klagen. Uiteindelijk kwam hij bij mij terug en zei: 'Als jij mij nou helpt, dan gaan we eraan beginnen.' Dus toen ben ik gaan schrijven, om te beginnen over voorvacuümpompen. Ik leverde mijn bijdrage bij Bert in en met de andere bijdragen is dat het huidige BBVT geworden."

Van de firma Settels in Eindhoven kreeg Mulder ook de vraag om cursus te geven. "Ik zette mijn sheets over op Power-



Theo Mulder (links) en de natuurkundeleraar voeren de meting van de kolomhoogte in een kwikbuis uit bij het standbeeld van Blaise Pascal in Clermont Ferrand.

point en ging op hun verzoek over op Engels. Alle vaktermen waren natuurlijk bekend in het Engels en met mijn middelbare school Engels was het geen probleem. Zo kwam ik ook in contact met ASML, dat vroeg of ik de complete vacuümcursus bij hen kon geven in het Engels. De meeste deelnemers gingen ook het NEVAC-examen doen en gelukkig zijn ze tot nu toe allemaal geslaagd.”

In navolging van Blaise Pascal

Toen het medio jaren negentig nogal slecht ging bij Leybold, kon Mulder er met een redelijke regeling vertrekken. Hij ging elders aan de slag, onder meer bij SRON, het Nederlandse instituut voor ruimteonderzoek. “Ja, dat was allemaal vacuümgerelateerd werk. En ik ben verder gegaan met het geven van cursussen, maar dan weer overdag. Dat doe ik nu nog steeds. Ik vind het ontzettend leuk om te doen. Je mag iets over vacuüm vertellen en dan kom je ook nog eens in aanraking met mensen die soms vacuümtechnische problemen hebben. Niet dat ik dan meteen een kant-en-klaar antwoord heb, maar ik kan het probleem in ieder geval met mijn kennis van zaken benaderen: ‘Dit is interessant en heb je daar wel aan gedacht?’”

Ook verdiepte Mulder zich verder in de geschiedenis van de vacuümtechniek en bestudeerde hij uitvoerig Blaise Pascal. “Een van zijn wapenfeiten heeft natuurlijk te maken met de proef van Torricelli over de hoogte van de kolom in een kwikbuis. Torricelli dacht aan aantrekkende krachten van het vacuüm, maar Pascal had het idee dat het met de luchtdruk te maken had. Dus liet hij metingen met een barometer op verschillende hoogtes uitvoeren door zijn zwager, Florin Périer, in Clermont-Ferrand en boven op de Puy de Dôme, 1.468 meter hoog. Het verschil in kolomhoogte tussen beneden en boven bleek acht centimeter te zijn. Kwestie van verschil in luchtdruk aldus Pascal. Dat heeft hem beroemd gemaakt; niet voor niets is de eenheid van druk nu Pascal. Dat had ik helemaal uitgezocht



Theo Mulder (rechts) in de Ask the Expert-stand van de NEVAC op de Precisiebeurs 2023.

en ik dacht: ‘Als hij dat kon, kan ik dat ook.’ Via een bevriende glasblazer kreeg ik een glazen pijp en wat kwik. Samen met een natuurkundeleraar die hier ook mee bezig was, ben ik in de vakantie naar Clermont-Ferrand gereisd. Daar hebben we bovenop de berg de meting uitgevoerd en ook ergens beneden, daar waar we stomtoevallig een standbeeld van Blaise Pascal tegenkwamen. Toen hadden wij ook een verschil van acht centimeter. Dat hele verhaal heb ik nog in het NEVAC blad gepubliceerd.”

Over de NEVAC gesproken, Mulder is er nog steeds actief voor. In 2006 werd

hij benoemd tot erelid, met name vanwege zijn inzet op opleidingsgebied. “Dat was geweldig, ik vond het een eer.” Nu is hij nog altijd lid van de Opleidings- en Examencommissie. Ook bemant hij de Ask the Expert-stand van de NEVAC op evenementen en beurzen, waar hij over vacuüm praat en natuurlijk ook oud-collega’s tegenkomt. Terugkijkend is dat toch wat er voor hem uitspringt: “De lol van het contact met mensen, praten over hun vacuümproblemen en hun interessante onderzoeken. Want ik ben net zoveel geïnteresseerd in het vacuüm als in de toepassing daarvan.”

Frits van der Velde (Rijksuniversiteit Groningen)

“We doen nooit tweemaal hetzelfde, de opdrachten zijn altijd uniek”

Frits van der Velde haalde eerder dit jaar een 9,4 op het examen Vacuümtechniek (VT). Hij was daarmee voor dit vak de beste cursist, wat hij in 2019 trouwens ook al was voor Elementaire Vacuümtechniek (EVT). De 35-jarige Drentenaar werkt als onderzoekstechnicus in de researchlabs van de faculteit Science & Engineering van de Rijksuniversiteit Groningen. Hij verdeelt zijn werktijd tussen de onderzoeksgroep Physics of Nanodevices en het NanoLab Groningen, beiden geïnspireerd op nanotechnologie.



Senne Starckx

“Welcome to the Feringa Building. Home of Nobel Prize Winners.” Op de banners aan de bouwhekken is geen valse bescheidenheid te bespeuren. Of dat typisch Gronings is, weten we niet. In ieder geval heeft de universiteit voor het nieuwe gebouw van Natuurkunde en Scheikunde, dat half juni officieel werd geopend, duidelijk kosten noch moeite gespaard. Het gebouw is vernoemd naar Groninger Ben Feringa, Nobelprijs-laureaat Chemie 2016. Maar op de banners staat dus Nobelprijswinnaars, in meervoud. Pas later komen we erachter dat de Groningse hoogleraar Frits Zernike al midden vorige eeuw de hoogste wetenschappelijke onderscheiding kreeg (Nobelprijs Fysica). Naar hem is de campus genoemd waar de Feringa Building zich bevindt.

NanoLab

Het is echter voor een andere Frits dat we helemaal naar het noorden zijn gereden. Frits van der Velde werkt sinds 2021 als onderzoekstechnicus binnen de faculteit Science & Engineering. In het organo-

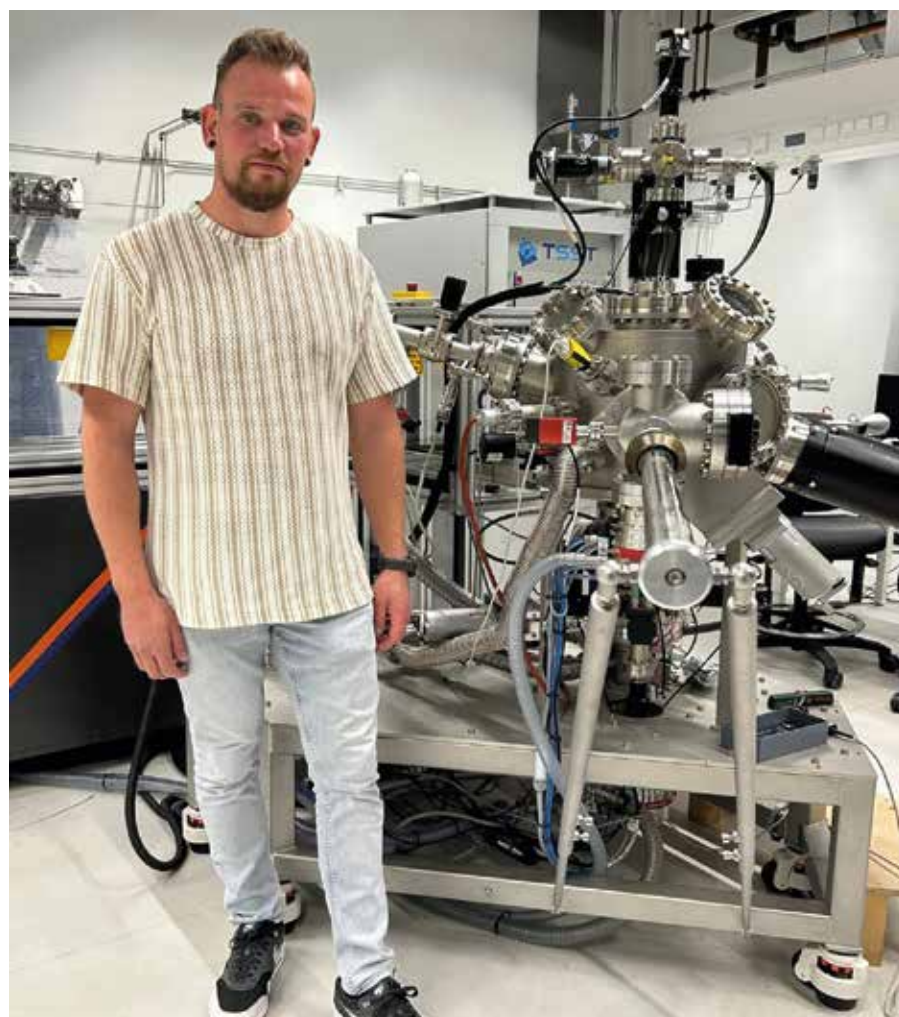
gram valt hij onder twee opdrachtgevers: de onderzoeksgroep Physics of Nanodevices enerzijds en het Zernike NanoLab Groningen anderzijds – daar is die andere Frits weer. Bij binnenkomst in het gebouw passeren we op de begane grond dat laboratorium, zeg maar de lokale afdeling van het Nederlandse samenwerkingsverband rond nanotechnologie (Figuur 1). De cleanroom ziet er gloednieuw en piekfijn uit. Van der Velde wijst naar enkele mants-hoge apparaten die luisteren naar namen als ‘*electron beam lithography*’ en ‘*laser-schrijver*’. “Dit is apparatuur die met een bundel elektronen of laserlicht zeer fijne patronen in een oppervlak etst, voor bijvoorbeeld het maken van nanostructuren op chips en andere halfgeleiders.”

Van der Velde's kantoor bevindt zich op een hogere verdieping. “Pas op dat je niet struikelt.” Het is er inderdaad manoeuvren tussen kleinere en grotere apparatuur verspreid over de vloer (Figuur 2). Als excuus voert onze gastheer de verhuizing van het oude naar het nieuwe gebouw

aan. “Dat was een hele operatie, want met hoogtechnologische apparatuur zoals in onze cleanroom moet je erg voorzichtig zijn. Voor die verhuizing was ik medeverantwoordelijk. Ik ben er toch een jaar mee bezig geweest. En we zijn er nog niet helemaal klaar mee, zoals je kunt zien.” Ook elders, in de labs en de cleanroom, moeten nog kleine dingetjes worden gedaan, zoals het plaatsen van naambordjes en het opstellen van werkprotocollen. Maar Van der Velde haalt ook al nieuwe apparatuur in huis. Zo is hij momenteel betrokken bij de aanbesteding van een nieuwe sputtermachine, die dunne laagjes materiaal op een oppervlak aanbrengt door met een plasma deeltjes van een target te ‘sputteren’ (afschieten), die vervolgens op het oppervlak neerslaan. Of er een link is met vacuüm? “Dit soort machines werken, net als de *electron beam lithography* van daarnet, alleen met het luchtledige. Anders zouden gasmoleculen in de lucht de deeltjesbundel verstrooien en chemische reacties veroorzaken met de materialen, waardoor het proces onmogelijk wordt.”



Figuur 1. Een kijkje in het NanoLab Groningen.



Figuur 2. Frits van der Velde naast een apparaat voor pulsed laser deposition.

Vragen van onderzoekers

In de groep Physics of Nanodevices is Van der Velde een van de vijf technici die ondersteuning bieden. “Dat gaat van complete systemen ombouwen en aanpassen tot kleine mankementen oplossen of verbeteringen aanbrengen. En we ontwerpen ook, met 3D-modelleringssoftware op de computer. Onderzoekers komen naar ons toe met vragen om iets te gaan bestuderen of bouwen. Met die vragen gaan wij, in samenspraak met hen, aan de slag. In deze groep ligt mijn specialisatie bij de mechanica.” De onderzoeksgroep wordt geleid door vier hoogleraren, wat zorgt voor uiteenlopende opdrachten. “Het is heel gevarieerd werk. We doen nooit tweemaal hetzelfde, want de opdrachten zijn altijd uniek.” Dat was vroeger anders.

Basiscursus

Tot september 2021 werkte Van der Velde bij Photonis in Roden, een bedrijf gespecialiseerd in de productie van beeldversterkers voor nachtzichtapparatuur. De Drentenaar (sinds enkele jaren woonachtig in Friesland) monsterde er vijftien jaar geleden aan, meteen na zijn MBO-opleiding Mechatronica. “Om van weinig licht veel licht te maken, heb je vacuüm nodig. Zo kwam ik in 2019 terecht in de cursus Elementaire Vacuümtechniek (EVT). Die cursus – waarbij Van der Velde trouwens ook al de hoofdvogel afschoot als beste deelnemer – werd toen onder andere gegeven door Johan Holstein. En daarmee was het zaadje voor een carrièrewending gelegd. Want vandaag is diezelfde Holstein leidinggevende van Van der Velde in de Feringa Building.

Bij Photonis werd van de technici min of meer verwacht dat ze deelnamen aan de cursus EVT. “Op school leer je eigenlijk niets over vacuüm. Maar bij de productie van beeldversterkers wordt het wel gebruikt. Bedrijven en industrie moeten hun werknemers dus zelf opleiden, via de NEVAC.” De middelbare cursus Vacuümtechniek (VT) bracht Van der Velde terug bij zijn vroegere werkgever. Want het was daar dat de cursus dit voorjaar werd gege-

ven, mede omdat er enkele cursisten bijzaten van Photonis zelf.

Meer de diepte in

Waar in de EVT-cursus de basis van de vacuümtechniek wordt behandeld (wat kan en mag je doen, wat niet, welke onderdelen en meetinstrumenten heb je allemaal nodig, ...), ging de vervolgcursus meer de diepte in. “Er werd ingezoomd op specifieke vacuümsystemen, waardoor je ook echt inzicht in de materie kreeg. Specifiek richt de VT-cursus zich op de berekening van geleidingsvermogens en effectieve pompsnelheden, evenals op het uitvoeren van drukkerekeningen waarbij factoren als gasinlek, gasafgifte en pompsnelheid worden meegenomen.”

Van der Velde volgde de cursus samen met een naaste collega, Hans de Vries, met wie hij ook een kantoor deelt. (Ook De Vries haalde trouwens een mooie score op het examen, helaas net niet genoeg om dit blad te halen.) “Met hem kon ik natuurlijk sparren over de cursus.” Wel wil de beste cursist een verbeterpuntje kwijt. “De VT-cursus is opgebouwd uit een deel Natuurkunde (het rekenen aan vacuümsystemen) en een deel basisbegrippen. Door de voortdurend evoluerende technologie had ik soms de indruk dat de cursus op dat vlak niet helemaal up-to-date was.”

Van der Velde kan zijn diploma's EVT en VT overigens ook gebruiken om persoonlijk klanten te werven. Sinds juli biedt hij

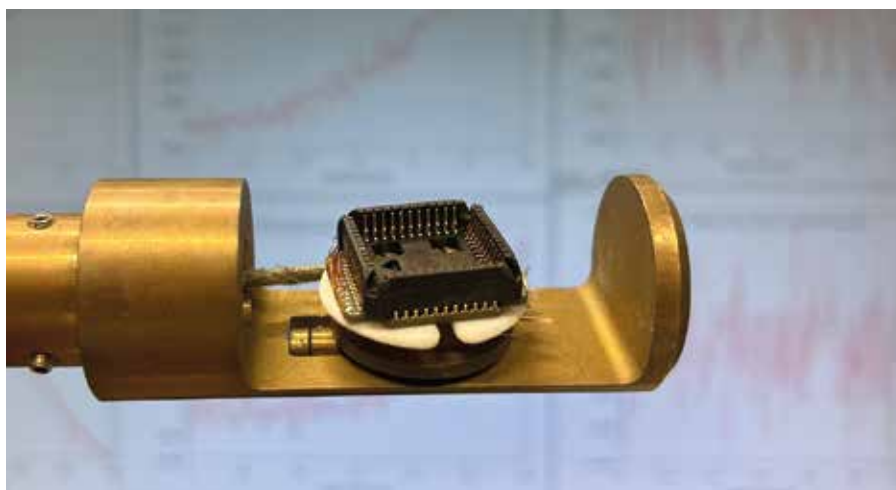
zijn expertise tevens als zelfstandig ondernemer aan, los van wat hij doet aan de universiteit. “Vanuit mijn eigen metaalwerkplaats bied ik een complete service aan, van 3D-ontwerp tot eindproduct.”

Nieuwe samplehouder

Voor we de Feringa Building weer verlaten, neemt de academische én ondernemende technicus ons nog mee naar een van de analyselabs. Hij toont er een badcryostaat, gevuld met vloeibare stikstof en helium. Hij koelt een supergeleidende magneet tot cryogene temperaturen. Het vloeibare stikstofbad vermindert de warmtebelasting, terwijl het heliumbad de magneet op de benodigde temperatuur houdt. Devices kunnen via een lange samplehouder worden ingebracht. Daarbij worden ze blootgesteld aan het veld van de supergeleidende magneet. Waar zit hier de link met vacuüm? Een isolatievacuüm rondom

de cryostaat voorkomt warmteoverdracht door convection en geleiding, waardoor het helium niet onnodig verdampt. Daarnaast zorgt het vacuüm in de sampleruimte ervoor dat via een naaldventiel de heliumflow is te regelen.

De samplehouder van de cryostaat doet echter niet wat de onderzoekers van Physics of Nanodevices willen dat hij doet. “Hij laat niet toe dat een sample in alle vrijheidsgraden kan roteren. Bovendien is de rotatiepositie door hysteresis in de overbrenging niet nauwkeurig reproduceerbaar, terwijl dit juist cruciaal is voor de herhaalbaarheid van experimenten.” En dus ontwierp Van der Velde, eerst met de computer en daarna helemaal ‘hands-on’, een nieuwe samplehouder (Figuur 3). Die is nu bijna klaar. Het is maar één voorbeeld van de unieke klussen die de onderzoekstechnici hier voor de kiezen krijgen.



Figuur 3. De nieuwe samplehouder die Frits van der Velde heeft ontworpen.

Gedeelde grades

Dit voorjaar vonden het Clean Event en de Manufacturing Technology Conference voor de tweede keer samen plaats in de Koningshof in Veldhoven. Het ontwikkelen van een kwalitatief hoogstaand product brengt immers steeds meer eisen, complexe stappen en uitdagingen met zich mee tijdens het productieproces, variërend van het voldoen aan reinheidseisen tot het bepalen van de meest geschikte productietechniek. Dit werd geïllustreerd door de openingspaneldiscussie – over het dichten van de kenniskloof voor productietechnologie. Een hoogtepunt van het Clean Event was de gezamenlijke presentatie van ASML en ZEISS SMT over de ontwikkeling van een gedeeld kader voor reinheidsspecificaties.

Verantwoording en informatie

Voor dit verslag is geput uit het Engelstalige verslag dat in het juninummer van Mikroniek is verschenen.

www.dspe.nl/mikroniek
www.mikrocentrum.nl/nl/cleanliness/clean-event
www.mtconference.nl
www.asml.com
www.zeiss.com

Het bereiken van optimale oppervlakte-eenheid is een van de cruciale stappen in hightech productieprocessen, waar-

door industriële reinheid en contaminatiebeheersing steeds belangrijker worden. OEM'ers worden zich steeds meer bewust van de relatie tussen kwaliteit en componentreinheid, aangezien een gebrek aan reinheid de prestaties van hun product negatief kan beïnvloeden. Het gehele proces moet daarom onder controle zijn, wat zich vertaalt in een verhoogde druk op de toeleverketen.

Twee evenementen

Het jaarlijkse Clean Event, georganiseerd door Mikrocentrum, richt zich op de beheersing van reinheid en contaminatie gedurende het gehele productieproces; slim productontwerp dat reinheid bevordert, en het beperken van contaminatierisico's

tijdens assemblage- en verpakkingsprocessen. De Manufacturing Technology Conference brengt engineers uit de industriële ontwerp- en maakwereld samen om kennis over maakbaarheid te delen. Het doel is om de relevante kennis van ontwikkelaars te vergroten en hen te helpen bij het vinden van mogelijkheden die ze voorheen niet kenden. De conferentie wordt georganiseerd door het Manufacturing Knowledge Centre in samenwerking met Mikrocentrum. Figuur 1 geeft een impressie van beide events.

De kenniskloof overbruggen

De twee evenementen begonnen met een gezamenlijke paneldiscussie (Figuur 2), onder leiding van Edwin de Zeeuw, managing director van Mikrocentrum. Deelnemers waren Lucie Behnke, projectleider bij ASML, Willem Jan ter Hoek, algemeen directeur van Ter Hoek Precision Solutions, Koen ten Hove, chief development officer bij Prodrive Technologies, en Olivier Rainaut, senior director R&D Life Science Electron Microscopy bij Thermo Fisher Scientific. Ze bespraken hoe de kenniskloof tussen engineering en productie kan worden overbrugd, met onderwerpen als maakbaarheid, precisie en reinheid.



Figuur 1. Impressie van het centrale plein in de Koningshof waar het Clean Event (rechts) en de Manufacturing Technology Conference bijeenkwamen. (Alle foto's: Bram Saeys)



Figuur 2. Een volle bak bij de paneldiscussie waarmee de twee events openen; rechts de deelnemers.

“Wij ontwerpen onderdelen”, zo trapte een panellid de discussie af, “maar we moeten al vroeg in de ontwerpfase rekening houden met de productiebeperkingen en -mogelijkheden. Ook moeten we bepalen hoe we moeten testen en hoe we de juiste tests moeten opzetten bij onze partners of hun leveranciers, zodat de onderdelen bij aankomst klaar zijn voor assemblage in onze fabriek. Hier zijn kennis en samenwerking essentieel.”

Het begint met het actief stimuleren van kennisdeling en outside-in-denken, terwijl tegelijkertijd het ‘niet hier uitgevonden’-syndroom wordt bestreden dat zo vaak op technische afdelingen heerst. “Het brengt mensen in de hele toeleverketen samen, idealiter fysiek, zodat ze dingen kunnen zien en aanraken, en bijvoorbeeld onderdelen kunnen bespreken direct bij de machine waarop ze worden geproduceerd.” Management speelt hierbij een cruciale rol, maar de intrinsieke motivatie van engineers is ook cruciaal, zo werd benadrukt. “Ik zou graag willen dat mijn engineers naar de werkvloer gaan om te zien hoe de dingen in de praktijk echt werken en om hun handen te gebruiken om iets te doen – en dat ze niet alleen op hun eigen kennis vertrouwen.”

De kloof overbruggen betekent ook context bieden. “Het waarom van dingen aankaarten. Je moet dus een cultuur creëren waarin het oké is om kennis te delen, gretig kennis te vergaren en telkens

weer de waarom-vraag te stellen.” Delen betekent ook leren. “Dit houdt in dat we mislukkingen als leerpunt gebruiken, mensen samenbrengen rond een probleem, niemand de schuld geven, maar gewoon uitzoeken wat er is gebeurd en hoe dit kan worden voorkomen – en op basis daarvan het proces verbeteren.”

Gedeelde grades

Tijdens het Clean Event gaven ASML en ZEISS Semiconductor Manufacturing Technology (ZEISS SMT) een gezamenlijke presentatie over de ontwikkeling van een gedeeld kader voor reinheids-

specificaties. Steffijn de Koning en Martin Nalbach, reinheidsarchitecten bij respectievelijk ASML en ZEISS SMT, vertelden hoe zij de harmonisatie van hun reinheidsnormen hebben aangepakt, onder het motto ‘twee bedrijven, één business’ (Figuur 3). Ze presenteerden ook een eerste versie van de geharmoniseerde norm voor hun gedeelde toeleverketen.

ZEISS SMT is ASML’s strategische partner voor lithografie-optiek. Het gaat om systemen voor belichtings- en projectie-optiek met lenzen voor de vorige gene-

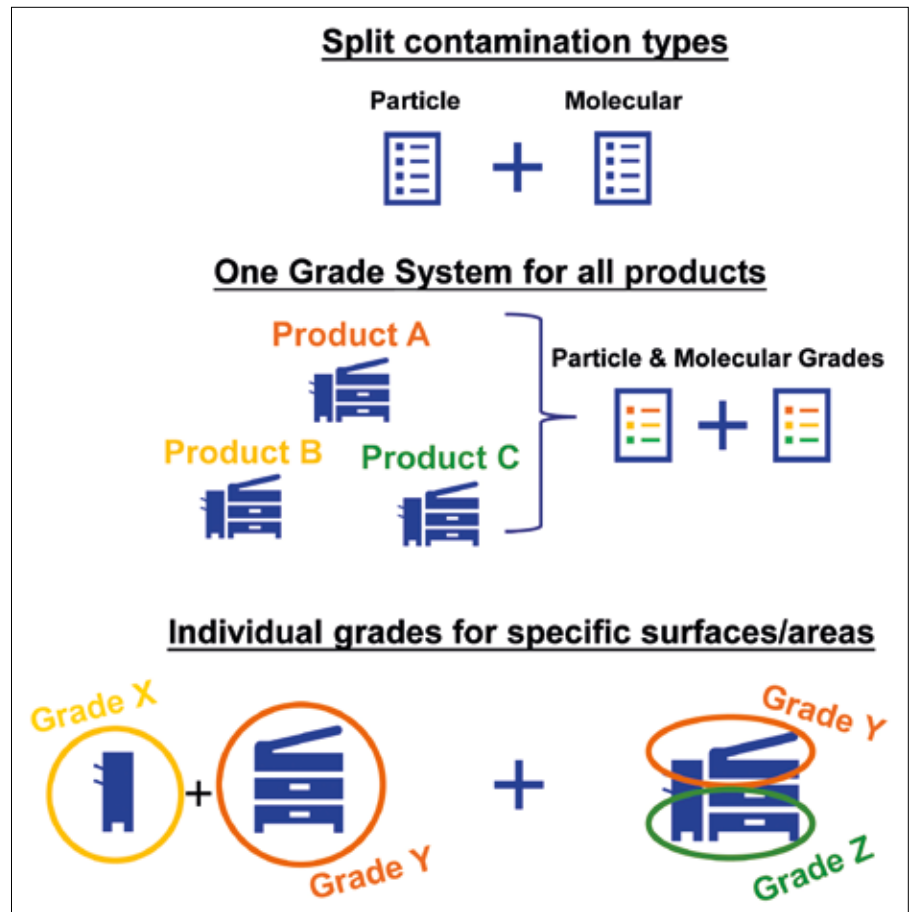


Figuur 3. Martin Nalbach (links) van ZEISS SMT en Steffijn de Koning van ASML presenteerden het gedeelde kader voor reinheidsspecificaties tijdens het Clean Event.

ratie lithografiemachines (DUV, diep ultraviolet) en spiegels voor de nieuwste machines (EUV, extreem ultraviolet). Om de levensduur van de optiek te behouden en transmissieverlies te minimaliseren, gelden strenge reinheidseisen voor de optische en mechanische componenten, zoals beschreven in de ZEISS SMT-reinheidsspecificatiedocumenten. Leveranciers van ZEISS SMT moeten aan deze eisen voldoen voor de componenten die zij produceren. Sommige leveranciers leveren ook rechtstreeks aan ASML, in welk geval zij zich moeten houden aan de reinheids-GSA (*General Standard of ASML*). Deze leveranciers moeten dus twee afzonderlijke procedures volgen voor de productie en reinheidskwalificatie van hun producten.

Deze procedures verschillen inderdaad. Zo zijn de ZEISS SMT-reinheidsspecificatiedocumenten productgericht en maken ze onderscheid tussen de verschillende typen (DUV en EUV) van product en gereedschap (tooling), terwijl de GSA contaminatiegericht is en onderscheid maakt tussen deeltjes- en moleculaire contaminatie. Bovendien zijn de ZEISS SMT-reinheidsspecificatiedocumenten vrij gedetailleerd en voorschrijvend, terwijl de ASML GSA meer doelgericht is, waardoor er meer verantwoordelijkheid bij de leverancier ligt.

Het geactualiseerde kader is weergegeven in Figuur 4. Het omvat een uitsplitsing van verontreinigingstypen, één grade-systeem voor alle producten (geen productspecifieke normen meer), en individualisering van grades voor specifieke oppervlakken en gebieden (om overspecificatie van minder kritieke oppervlakken en gebieden te voorkomen). Dit is in lijn met de ASML GSA, wat betekent dat ZEISS SMT (en het deel van hun toeleveranciersbestand dat nog niet bekend was met de ASML-werkwijze) voor een grotere transitie staat dan ASML en zijn toeleveranciers. Een toevoeging van ZEISS SMT aan het nieuwe kader is grade 3, die de specifieke eisen



Figuur 4. Het geactualiseerde kader voor reinheidsspecificaties.



De NEVAC was op het Clean Event 2025 in Veldhoven wederom vertegenwoordigd met haar Ask the Expert-stand.

van ZEISS SMT voor de deeltjesreinheid van hun optische en mechanische componenten weerspiegelt. Deze eisen maakten geen deel uit van de bestaande ASML-grades.

ASML en ZEISS SMT verwachten hun reinheidsnormen eind dit jaar te hebben geharmoniseerd. In 2026 zullen ze de nieuwe norm invoeren, beginnen met het trainen van hun leveranciers en blijven verfijnen. Ze verwachten dat dit de efficiëntie en effectiviteit van de toeleverketen zal verbeteren, wat zal leiden tot winst in QLTC (kwaliteit, logistiek, technologie en kosten) in hun operatie. ASML en ZEISS SMT hopen dat andere hightech-OEM'ers de bijgewerkte, geharmoniseerde reinheidsnorm zullen overnemen, om een nog sterkere basis te creëren en het leven makkelijker te maken voor alle hightech-partijen die betrokken zijn bij reinheid.

Stel je voor: John Stegeman

In zijn eerste stage kwam hij al in aanraking met vacuüm en in z'n eerste baan was dat weer de rode draad. Hij werd meteen lid van de NEVAC. Bij Philips Halfgeleiders leerde hij het vak vacuümtechniek pas echt door het zelf bouwen, onderhouden en kalibreren van RGA-meetsystemen. Een nieuwe uitdaging vond hij bij ASML. Hoogtepunt daar was zijn bijdrage aan het realiseren van een internationaal traceerbare standaard voor RGA-kalibratie. John Stegeman stelt zich voor.

Tijdens zijn bachelorstudie Chemische Technologie kwam Stegeman al snel in aanraking met vacuüm en bijbehorende meettechnieken. "In 1988 had ik mijn eerste stage, in een laboratorium binnen de faculteit Elektrotechniek van de Universiteit Twente. Ik heb daar onderzoek uitgevoerd naar de reactiekinetiek van wolfram-CVD (*Chemical Vapour Deposition*), een vacuümproces." De afmetingen op een chip waren destijds enkele microns, een factor 1.000 groter dan de nanometers van nu. "Aan de oudste machine in het lab zat zelfs een asbakje. 'Kan geen kwaad', werd gezegd, want de rookdeeltjes waren vele malen kleiner dan de kleinste afmetingen van de gemaakte chips."

Keuze voor vacuümtechniek

Hier gebruikte hij voor het eerst een massaspectrometer voor restgasanalyse (RGA). "Maar dan wel eentje uit de prehistorie. IBM-XT computer, MS-DOS besturingssysteem, monochroom beeldscherm, geen internet. De RGA-spectra werden soms nog met een XY-plotter op papier gezet, eigenlijk heel leuk en tastbaar. De afstudeerstage was ook in Twente, bij het MESA-instituut: nog meer vacuüm en weer werken met de RGA. Dit was hét moment dat ik de keuze voor vacuümtechniek en halfgeleiders heb gemaakt."

Uitgebreide netwerk

Na zijn afstuderen in 1992 ging Stegeman als technisch medewerker werken bij de faculteit Electrotechniek van

de TU Eindhoven. "Het was een klein maar hypermodern lab, opgezet voor onderzoek naar toepassingen van III/V-halfgeleiders. Ook hier was vacuüm weer de rode draad: opdampen, sputteren en – heel erg gaaf – het werken met de nieuwste elektronenmicroscop (SEM) met een resolutie van 1 nanometer. Dat was meer dan 30 jaar geleden." In deze periode werd hij lid van de NEVAC. "Vooral belangrijk voor mij was het uitgebreide netwerk van vacuümexperts, omdat ik aan het begin van mijn carrière stond en mijn keuze voor vacuüm al had gemaakt. Daarom heb ik ook de cursus Middelbare Vacuümtechniek gevolgd."

Vak echt geleerd

In 1995 begon Stegeman binnen de vacuümtechnische afdeling van Philips Halfgeleiders om kalibratie voor RGA's op te zetten. "Hier heb ik het vak vacuümtechniek pas echt geleerd door het zelf bouwen van RGA-meetsystemen en het uitvoeren van onderhoud en kalibratie van RGA's. Ook heb ik de cursus Hogere Vacuümtechniek succesvol afgerond. Naast het lab had ik ook opdrachten in de diverse fabrieken, zoals het meten van diverse halfgeleiderprocessen in vacuüm. Hierbij kwam ik de wolfram-CVD weer tegen, inmiddels een standaard halfgeleiderproces."

Nieuwe uitdaging in ultraschoon vacuüm

Na zeventien jaar bij Philips, later NXP, gewerkt te hebben, vond hij het tijd voor een nieuwe uitdaging. "ASML, hier gebeurde het! Een ultraschoon vacuüm creëren met op atomair niveau schone onderdelen. Alleen op deze manier kon EUV-lithografie commercieel succesvol zijn. Dat is ASML inmiddels gelukt, mede doordat alle modules en onderdelen die zich in het vacuüm van een EUV-lithografiesysteem bevinden, zijn getoetst op reinheid via een RGA-verificatie, soms bij ASML maar meestal in de toeleverketen. Niet schoon genoeg, dan niet geleverd aan ASML! Inmiddels staan er bij ongeveer vijftig leveranciers

in totaal zo'n 300 RGA-systemen, waarvan ruim de helft in Nederland."

Kosten RGA-verificatie omlaag

Stegeman is vanaf het begin werkzaam binnen Development & Engineering (D&E) en vervult daar de rol van supply chain engineer. "Dat is voor een bijzondere leverancier van ASML, D&M Vacuümsystemen. In mijn rol geef ik advies over ontwerp en functionaliteit van de benodigde RGA-hardware én -software. Omdat de kosten gerelateerd aan de RGA-verificaties significant zijn, is ASML gestart met een programma om deze kosten naar beneden te krijgen. Statistiek speelt hier een grote rol in de vorm van *Statistical Process Control* (SPC). Als de kwaliteit goed genoeg is, de processen geborgd zijn en de risico's bekend en geaccepteerd zijn, kan de meetfrequentie worden verlaagd van 100% meten naar bijvoorbeeld 20%, 10% of nog lager."

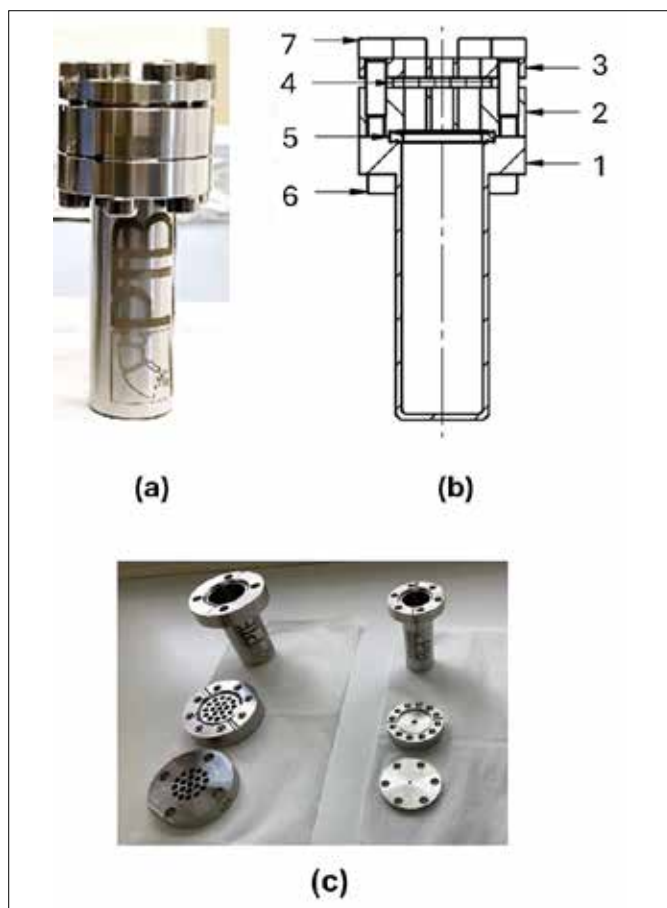
Gouden spectrum

Al dertig jaar is deze vraag belangrijk voor Stegeman: "Wat is de nauwkeurigheid van een meetsysteem?" Kalibratie speelt hierin een grote rol. Om de nauwkeurigheid

te verhogen, is samen met strategisch ASML-partner ZEISS SMT besloten om over te gaan op het gebruik van dodecaan ($C_{12}H_{26}$). Dodecaan is een relatief simpele koolwaterstof met een uniek RGA-spectrum. ASML en ZEISS SMT hebben samen een 'gouden' spectrum gedefinieerd dat gemeten dient te worden met specifieke instellingen van de RGA-sensor. Voldoet het spectrum niet voldoende aan het 'gouden' spectrum, dan dient de RGA-sensor opnieuw te worden afgeregeld, of te worden vervangen door een andere sensor.

Cirkel rond met kalibratie

Deze kalibratie bouwt verder op een recent ontwikkelde ontgassingstandaard die traceerbaar is naar internationale standaarden, de meter en de kilogram, vertelt Stegeman trots. "Ik maakte vanaf het begin deel uit van dit unieke project, waarin ASML, samen met ZEISS SMT, PTB-Berlin en IMT-Ljubljana, deze standaard heeft gerealiseerd. Het realiseren van deze internationaal traceerbare standaard is voor mij het mooiste dat ik heb bereikt. De cirkel is rond, want met kalibratie is mijn carrière ook begonnen, en mede dankzij de NEVAC heb ik mij kunnen ontwikkelen op vacuümgebied."



John Stegeman bij de RGA dodecaan-testopstelling; op dit systeem worden experimenten uitgevoerd met het nieuwe Round Robin device (zie illustraties links), dat traceerbaar is naar internationale standaarden.

PHOENIX

Quadro Dry Plus

**The only dry premium leak detector
without a diaphragm pump**

Faster, cleaner, and more efficient.

- Higher pumping speed
- Improved zeroing functionality
- Lower ultimate pressure
- Faster transition to ULTRA mode
- Rapid recovery after helium exposure

Why it's a game changer

- Powered by SCROLLVAC 3 Plus
- No helium background interference
- Faster, high-sensitivity measurement



Pioneering products. Passionately applied.



Leybold Nederland B.V.

Floridadreef 102, NL-3565 AM Utrecht
sales.ut@leybold.com
www.leybold.com



NEVAC-bezoek aan Demaco

Op 24 oktober opent Demaco Holland voor NEVAC-leden haar deuren in Noord-Scharwoude. Op deze dag krijgen wij een kijkje in de inzet van vacuümisolatie voor verschillende cryogene toepassingen. We duiken in de historie van dit internationaal opererende bedrijf. Daarbij komen zowel de Trading-afdeling voor vacuümcomponenten als de Cryo-afdeling met eigen engineering en productie aan bod.

Het aantal beschikbare plaatsen is beperkt; stuur een mail naar vacuum@demaco.nl voor aanmelding.

Oester 2
1723 HW Noord-Scharwoude
Tel. 0226 332100

Het programma voor deze dag:
11.00 uur Ontvangst met koffie, welkom en historie Demaco Holland
11.30 uur Synergie Cryo en Vacuüm
12.30 uur Lunch
13.15 uur Cryo-engineering
14.00 uur Introductie productieruimte
14.15 uur Rondleiding productieruimte
15.30 uur Cryogene projecten uit het verleden
16.15 uur Afsluiting met drankje

Vanuit het NEVAC-bestuur hopen we een mooie nieuwe traditie te starten. We zijn op dit moment in gesprek voor een tweede bedrijfsbezoek voor later dit jaar, of begin volgend jaar. Deelnemers aan bedrijfsbezoeken dienen persoonlijk NEVAC-lid te zijn.

www.demaco.nl

APPEC-forum

Bijeenkomt over belang van vacuüm en cryogenica voor *big science*, met een bezoek aan ETpathfinder.

indico.cern.ch/event/1514758/overview



The IDP Dry Scroll Pump Family Is Growing!

Quiet, Oil-Free, Worry-Free Vacuum

Introducing the new IDP-35 and IDP-45: smart, user-friendly technology for your higher capacity vacuum needs. Low noise and vibration; sustainable, oil-free design; simple, infrequent maintenance; integrated vacuum isolation valve.



Learn more: www.agilent.com/chem/vacuum
00 800 234 234 00 (toll-free)
vpt-customer@agilent.com

© Agilent Technologies, Inc. 2025

Passion. Precision. Purity.

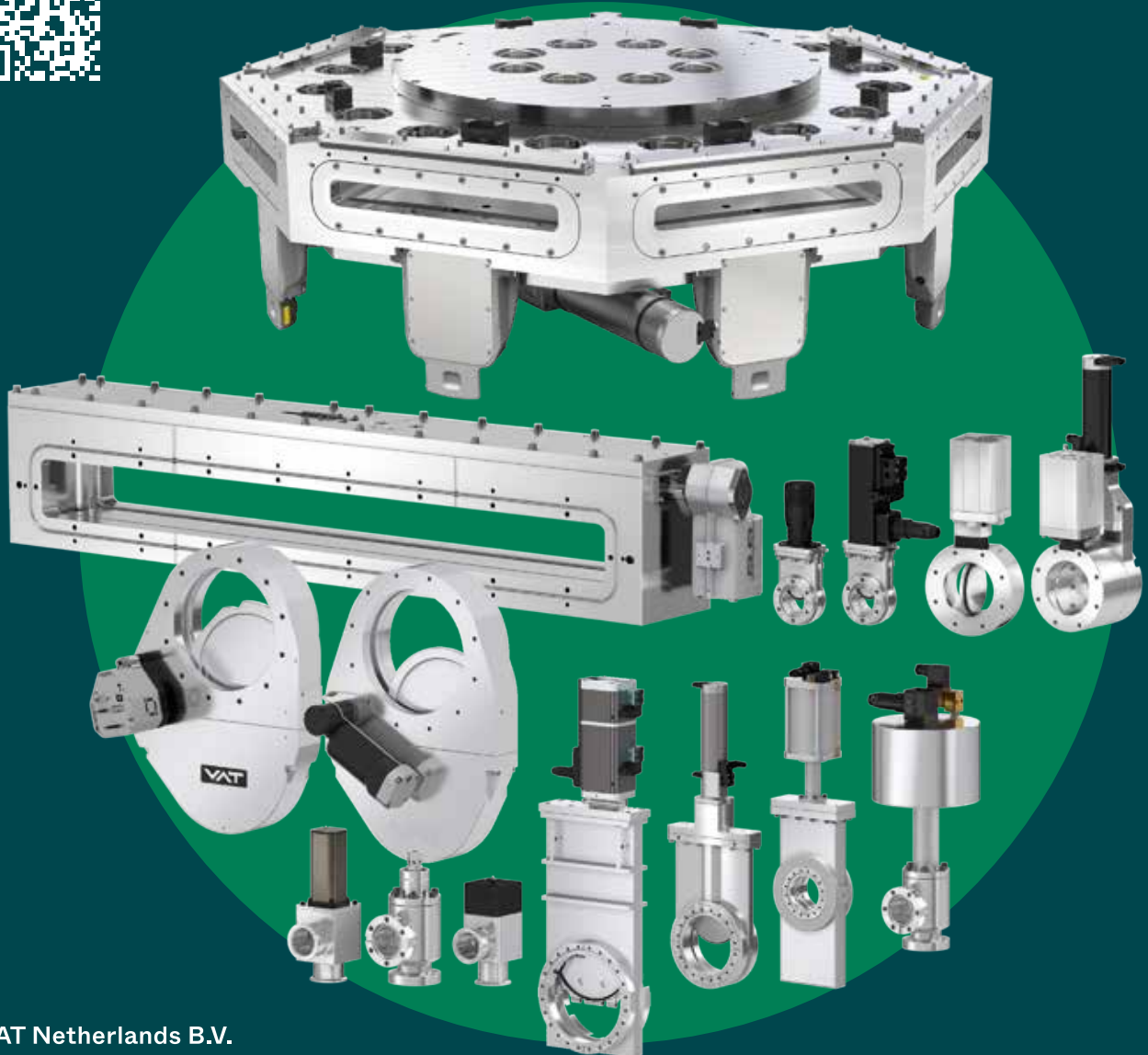


We change the world with vacuum solutions

As the world's leading supplier of high-end vacuum valves, VAT empowers innovation worldwide – from cutting-edge valves to expert global service. We serve the semiconductor, displays, photovoltaics and vacuum coating industries as well as the industrial and research sector.

Get in touch with us and let's innovate together.

vatgroup.com



VAT Netherlands B.V.
Parijsboulevard 209
3541CS, Utrecht
Netherlands
T +31 85 877 0718
nl@vatgroup.com

Agenda

13-16 oktober 2025

V2025 Int'l Conf. and Exh. for Vacuum | Plasma | Surface | Coating
Dresden, Duitsland

21-24 oktober 2025

IUVSTA workshop 105
Santa Margherita Ligure, Italië

29 oktober 2025

VCCN Contamination Control Congres 2025
Den Bosch

29-31 oktober 2025

COMSOL Conference 2025
Amsterdam

12-13 november 2025

Precisiebeurs 2025
Den Bosch

24-26 november 2025

APPEC Tech Forum Vacuum & Cryogenics – Industry meets Academia
Maastricht

23 april 2026

Clean Event 2026
Veldhoven

Links naar event-websites:

Agenda op www.nevac.nl



Configure your
ASM 340 variant online!

Reliable and high-performance. Multipurpose leak detector ASM 340.

The leak detectors in our ASM 340 series guarantee top performance in vacuum or sniffing leak detection for various applications, from maintenance to applications in production environments. They are the perfect solution for everyday testing even in severe test conditions.



Part of the **BUSCH GROUP**

Pfeiffer Vacuum Benelux B.V.
Newtonweg 11 | 4104 BK Culemborg | The Netherlands
+31 345 478 400 | office.benelux@pfeiffer-vacuum.com
www.pfeiffer-vacuum.com

PFEIFFER
VACUUM+FAB SOLUTIONS



VACOM



NOVION®

Advanced residual gas analysis for the most demanding environments

Compact, versatile, and powerful:

NOVION® is more than just a residual gas analyzer. It combines residual gas analysis, wide-range pressure measurement, and helium leak detection in one intelligent tool – ideal for anyone unwilling to compromise in vacuum applications.

Your benefits at a glance:

- **Ultrafast measurements:**
full mass spectra (1–300 amu) in up to 300 ms
- **Total pressure measurement range:**
from 1×10^{-11} mbar to 1000 mbar
- **Easy calibration:**
in under 1 hour – no prior experience required
- **Intuitive operation:**
with built-in software



**VACOM Vacuum
Components & Metrology bv**

Eikenlei 161 Sint-Job-in-t'-Goor
Belgium
+32 16 62 27 66
customer@vacom.be
www.vacom.net