NEVAC blad

jaargang 64 nummer 2 september 2026

NEDERLANDSE VACUÜMVERENIGING



Aankondiging 24e IUVSTA Vacuum School

Astrochemie in labvacuüm

Ontwerpoplossingen van US ITER voor voorvacuümpompsysteem

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 (per jaar)
Persoonlijke leden: € 35,-
Studenten/promovendi: € 5,-
Bedrijfsleden (naar # medewerkers, mw):
- klein (< 20 mw): € 150,-
- midden (≥ 20 en < 100 mw): € 200,-
- groot, incl. univ./RTO (≥ 100 mw): € 350,-

Inlichtingen over opleidingen en examens
Thom Bijsterbosch
(VDL ETG)

Vacuümboeken uitgegeven onder auspiciën van de NEVAC:

Vacuüm zonder grenzen



Eind vorig jaar stelde ik mezelf voor het eerst in dit blad voor, als kersverse aanwinst voor de redactie en als relatieve buitenstaander in de vacuümwereld. Inmiddels heb ik al een zeer leerzame periode doorlopen. En voor deze editie, beste vacuümenthousiast, is het voor het eerst aan mij om een inleiding te schrijven.

In dit nummer willen we eerst en vooral terugkijken op de grensoverschrijdende verhalen die op de NEVAC-dag bij VSL in Delft werden gedeeld. Van de ontwikkeling van nieuwe kalibratietechnieken (PTB), het belang van bake-out als gecontroleerde engineeringparameter (Inficon), en de ontwikkeling van nieuwe Li-ionbatterijen dankzij diepere inzichten in het ALD-proces door de NEVAC-prijswinnar 2026 (TU/e) tot de uitdagingen van de Einstein Telescoop (Nikhef) en de fundamentele inzichten in EUV-technologie (ARCNL).

Die grenzeloosheid, letterlijk en figuurlijk, is ook verder in dit nummer goed terug te vinden. We blijven dicht bij huis met een bijdrage uit Leiden, over onderzoek dat met vacuüm- en cryogene opstellingen de chemie van de interstellaire ruimte probeert na te bootsen. Maar we reizen ook mee naar het CERN-Nikhef-ecosysteem en naar Oak Ridge (VS), waar vacuümpompsystemen worden ontwikkeld voor de ITER-fusiereactor die in Frankrijk in aanbouw is.

Verder gaan we, in de rubriek 'Loopbaan in vacuüm', weer terug naar een van onze leden die heeft bijgedragen aan de ontwikkeling van ons mooie vakgebied. En natuurlijk is er ook weer aandacht voor een beste geslaagde van de afgelopen examenronde en een nieuwe aflevering van 'Stel je voor'.

Ten slotte pakken we uit met een nieuwe rubriek, 'Vacuümontboezemingen', waar deze eerste keer collega-redactielid en TNO'er René Koops jullie zal meenemen naar de krochten van het onderzoek in de vacuümwereld. Heeft u ook een voorbeeld van een mooie blunder, of een leermoment dat de moeite waard is om te delen (anoniem, desgewenst)? Stuur een bericht naar *redactie@nevac.nl*. Wie weet wordt uw ontboezeming de volgende bijdrage.

Ik wens u, beste lezer, veel leesplezier met dit nummer… en tot een volgende gelegenheid.

Jens Emmerich
Redactielid NEVAC blad

Inhoud

2 Van de redactie
Vacuüm zonder grenzen

4 Ruimte in het vacuümlab
Leidse astrochemie in cryogeen UHV

11 NEVAC-dag 2026
Verslag

16 Vacuüm bij CERN
Praktijkervaringen uit een internationale onderzoeksomgeving

20 Ontwerpoplossingen van US ITER
Voorvacuümpompsysteem voor fusiereactor ITER

26 Loopbaan in vacuüm
Peter Hermans – Vacuümpionier en -troubleshooter voor elektronenmicroscopen

29 Van het bestuur
Goed nieuws uit ALV

30 24e IUVSTA Vacuum School
Theorie, ontwerp, instrumentatie en operatie

32 Vacuümontboezemingen
Aquarium, witte vlam, dansende sneeuwvlokjes

34 Beste geslaagde
Wout Elferink (Urenco)

36 Stel je voor
Norbert Koster

39 Nieuws

39 Agenda



16 **Een van de individuele 6 meter lange secties waaruit de pilotsector voor de vacuümbuis voor de Einstein Telescoop is opgebouwd bij CERN.**

Cover
De grote UHV-kamer van de KATRIN-hoofdspectrometer (Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment) op transport. (Bron: Forschungszentrum Karlsruhe)

Colofon

Uitgever
NEVAC
www.nevac.nl

Redactie
Jens Emmerich
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 2026
April / September / December

Sluitingsdatum kopij
NEVAC blad 2026 nr. 3:
2 november 2026

De ruimte naar de aarde brengen

Minder dan een eeuw na de identificatie van het eerste interstellaire molecuul (CH) hebben astronomen inmiddels meer dan 350 moleculaire stoffen in het heelal waargenomen. Hoe die ontstaan bij temperaturen ~10 K en extreem lage drukken, blijft een van de kernvragen in de astrochemie. Onderzoekers in het Laboratorium voor Astrofysica (LfA) van de Universiteit Leiden bootsen deze buitenaardse omgevingen na met behulp van ultrahoogvacuüm- en cryogene technologieën. Hierdoor kunnen ze fysisch-chemische processen – die zich in de ruimte normaal gesproken over miljoenen jaren voltrekken – onder gecontroleerde laboratoriumomstandigheden bestuderen. Door vacuümwetenschap, oppervlaktefysica, cryogenie en spectroscopie te combineren, slaat het LfA de experimentele brug tussen astronomische waarnemingen en de moleculaire oorsprong van planeten en leven.



Figuur 1. Opname (James Webb Space Telescope) van de Pillars of Creation, bestaande uit stof en gas in het stervormingsgebied M16 (Adelaarsnevel, NGC 6611). (Bron: NASA, ESA, CSA, STScI)

Auteur
Ko-Ju Chuang is universitair docent aan de Universiteit Leiden en hoofdonderzoeker bij het Laboratorium voor Astrofysica (LfA) van de Sterrewacht Leiden.

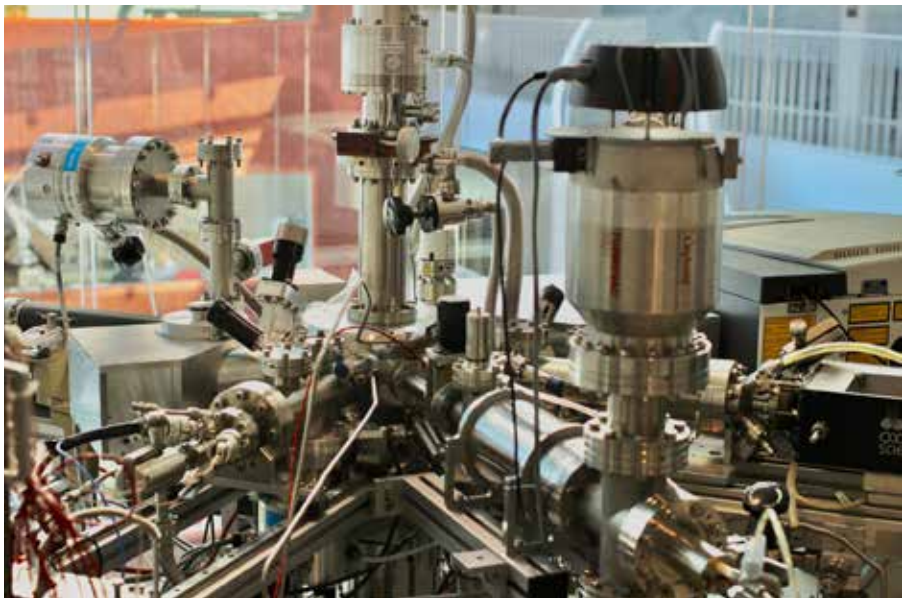
labastro.strw.leidenuniv.nl

In tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht, is het heelal verre van leeg en zeker geen 'perfect vacuüm'. Astronomische waarnemingen – met name die van de Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) – tonen aan dat de donkere gebieden tussen sterren gevuld zijn met het interstellaire medium, een ijl mengsel van gas en stof. Een van de bekendste voorbeelden zijn de 'Pillars of Creation' in de Adelaarsnevel (M16); zie Figuur 1. Hier brengen waarnemingen in het nabij- en midden-infrarood de verdeling van gas en stof in een actief stervormingsgebied in kaart. Binnen deze moleculaire wolken leiden lokale verdichtingen tot omgevingen met drukken van ongeveer 10^{-11} tot 10^{-9} mbar. Tegelijkertijd absorbeert en verstrooit het stof efficiënt externe straling, waardoor de binnenkant van de wolk kan afkoelen tot temperaturen die de 10 K benaderen. Dergelijke omstandigheden verschillen enorm van die op aarde: botsingen tussen deeltjes zijn uiterst zeldzaam, de thermische energie is minimaal en conventionele chemische reacties verlopen naar verwachting uiterst traag.

Opmerkelijk genoeg herbergen deze barre omgevingen een verrassend rijke chemie. Tot op heden zijn er meer dan 350 moleculaire stoffen geïdentificeerd in het interstellaire en circumstellaire medium [1]. Het verklaren van het ontstaan van een dergelijke moleculaire complexiteit onder extreme vacuümcondities en soms cryogene omstandigheden blijft een van de centrale uitdagingen in de moderne astrochemie.

De sleutel ligt bij kosmische stofdeeltjes. Deze deeltjes, kleiner dan een micrometer, bieden chemisch actieve oppervlakken waarop atomen en moleculen kunnen adsorberen, diffunderen en reageren [2]. Hun sterk onregelmatige en poreuze morfologie zorgt voor een uitzonderlijk groot oppervlak, waardoor ze kunnen fungeren als microscopische cryopompen die deeltjes uit de gasfase efficiënt laten neerslaan (uitvriezen). Door op te treden als derde kern die overtollige reactie-energie afvoert, faciliteren stofdeeltjes reacties in de vaste fase die in de gasfase onwaarschijnlijk zouden zijn; hiermee vormen ze de belangrijkste locaties voor moleculaire synthese in koude interstellaire wolken.

Hoewel toonaangevende observatoria zoals de James Webb Space Telescope (JWST) en ALMA moleculen over enorme astronomische afstanden kunnen detecteren, vereist het bestuderen van



Figuur 2. Experimentele opstelling SURFRESIDE in LfA. (Foto: Franciele Kruczkiewicz)

dit fenomeen het nabootsen van de fysische omstandigheden van de interstellaire ruimte onder gecontroleerde laboratoriumcondities. In het Laboratorium voor Astrofysica (LfA) van de Universiteit Leiden worden geavanceerde ultrahoogvacuümsystemen (UHV), cryogene technologieën en in-situ diagnostiek gecombineerd om de omgeving van koude moleculaire wolken na te bootsen. Deze laboratoriumexperimenten vormen de brug tussen astronomische waarnemingen en fundamentele oppervlaktefysica en -chemie, en tonen aan dat de moderne astrochemie stevig verankerd is in de vooruitgang van de vacuümtechniek.

De ruimte simuleren in het laboratorium

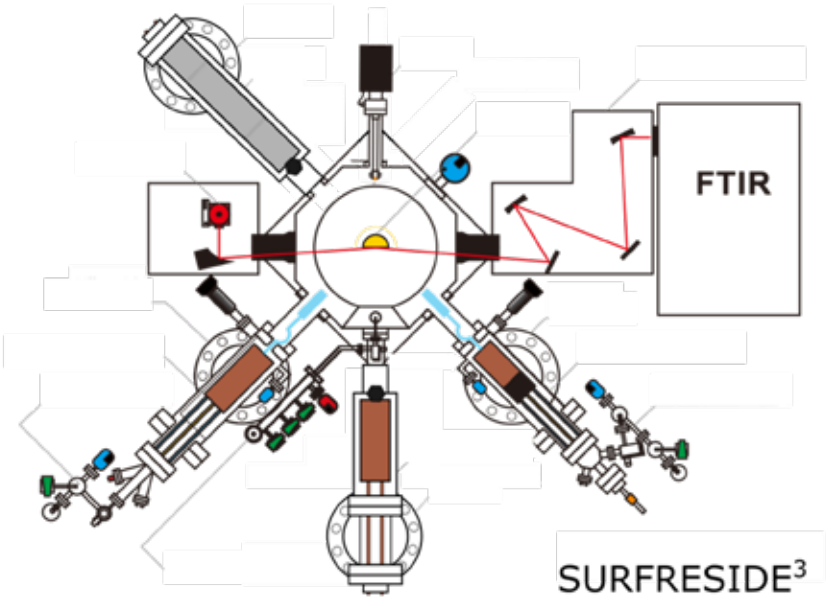
Het nabootsen van het interstellaire medium

Vanuit het perspectief van een vacuümtechnicus vormt het interstellaire medium een omgeving met een extreem tot ultrahoog vacuüm (X/UHV). De typische deeltjesdichtheden bedragen slechts ~10^4 cm^{-3} – voornamelijk bestaande uit waterstof – terwijl in dichte moleculaire wolken die gepaard gaan met stervorming, de dichtheid van moleculaire waterstof (d.w.z. H_2) kan oplopen tot ~10^7 cm^{-3} [3]. Deze omstandigheden komen overeen met equivalente drukken die de 10^{-10} mbar benaderen en lage temperaturen tot wel 10 K. Het nabootsen van een dergelijke omgeving in het laboratorium is essentieel voor het onderzoeken van de fysisch-chemische processen die de moleculaire evolutie in de ruimte bepalen.

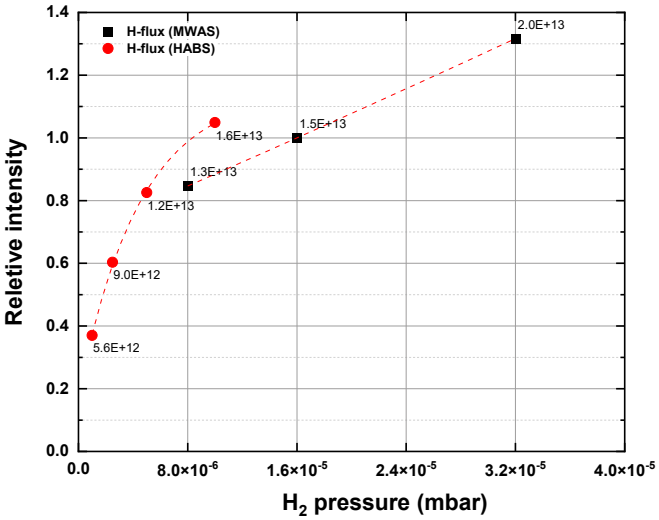
In LfA worden deze omstandigheden nagebootst met behulp van een speciaal ontworpen UHV-opstelling, 'Surface Reaction Simulation Device' [4]; zie Figuur 2. SURFRESIDE, gebouwd in het begin van de jaren 2010, heeft voortdurend upgrades ondergaan om ruimte te bieden aan steeds geavanceerdere astrochemische experimenten [5]. Het hoofddoel is het onderzoeken van oppervlaktereacties op analoga van interstellaire stofdeeltjes onder goed gecontroleerde laboratoriumcondities die sterk lijken op die van koude interstellaire moleculaire wolken.

Ontwerp van het vacuümsysteem

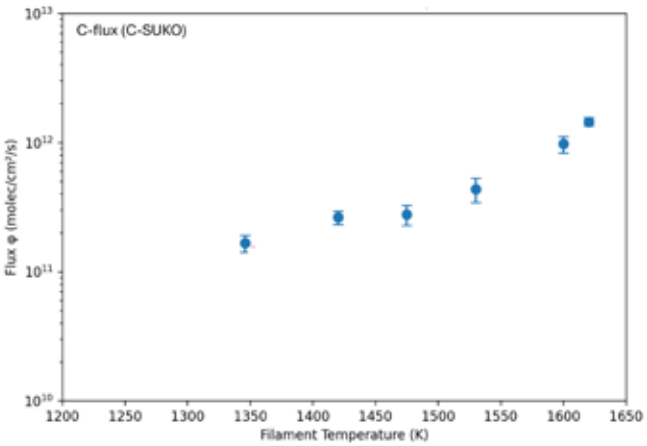
De hoofdkamer van SURFRESIDE is vervaardigd uit roestvaststaal met standaard ConFlat (CF)-flenzen en wordt geëvacueerd door een turbomoleculaire pomp met een capaciteit van 260 l/s, ondersteund door een draaischuifpomp. Na bake-out bereikt het systeem bij kamertemperatuur routinematig basisdrukken in het bereik van lage 10^{-10} mbar. De experimentele opstelling is sterk modulair van opzet; Figuur 3 toont een schematische weergave. Aan de hoofdreactiekamer zijn meerdere hulpvacuümkamers gekoppeld om onafhankelijk atomaire en moleculaire bundels te genereren, met behoud van UHV-condities. Twee atomaire-bundelbronnen leveren neutrale, thermische waterstof- of deuteriumatomen via verschillende dissociatiemechanismen: een bron voor waterstofatomen (HABS, MBE GmbH) op basis van thermische dissociatie, en een microgolf-atoombron (MWAS, Oxford Scientific Ltd.) die gebruikmaakt van plasmadissociatie. Beide bundellijnen zijn verbonden via onafhankelijk gepompte differentiële pomptrappen,



Figuur 3. Schematisch bovenaanzicht van SURFRESIDE.



Figuur 4. Kalibratie van de H-atoomflux voor de HABS- en de MWAS-bron als functie van de H_2-inlaatdruk.



Figuur 5. Kalibratie van de C-atoomflux voor de C-SUKO-bron als functie van de sublimatietemperatuur van het filament.

uitgerust met turbomoleculaire pompen met een capaciteit van 300 l/s; hierdoor kunnen H_2-drukken van 10^{-7}-10^{-5} mbar in de atoombronnen worden gehandhaafd, terwijl de druk in de reactiekamer tijdens depositie op ongeveer 10^{-9}-10^{-8} mbar blijft.

Voor onderzoek naar de chemie van koolstofatomen is een derde bundelbron (C-SUKO, MBE GmbH) aangesloten via een UHV-afsluitklep; deze wordt geëvacueerd met behulp van een onafhankelijk gepompt turbomoleculair pompstation, ondersteund door een droge scrollpomp. Moleculaire gassen en dampen worden ingelaten via twee precisie-lekventielen met leksnelheden tot 10^{-12} mbar·l/s. Het gasdistributiesysteem wordt afzonderlijk geëvacueerd tot onder 10^{-6} mbar, wat een stabiele en reproduceerbare dosering mogelijk maakt en tegelijkertijd de verontreiniging van de hoofdkamer minimaliseert.

Cryogene omgeving

Het koelen van het monster gebeurt met behulp van een tweetraps-heliumcryostaat met gesloten cyclus, die het substraat tot ongeveer 8 K kan afkoelen. De eerste koeltrap werkt bij een temperatuur van ongeveer 70 K en heeft een stralingsschild dat de thermische straling die de monsterhouder bereikt aanzienlijk vermindert, terwijl de tweede trap het reactiesubstraat zelf koelt. De temperatuur wordt door een resistief verwarmingselement geregeld met PID-regeling; hierdoor kunnen experimenten niet alleen bij astrofysisch relevante temperaturen worden uitgevoerd, maar ook bij hogere temperaturen van 300-500 K, zonder dat het vacuümsysteem belucht hoeft te worden. Dit uitgebreide temperatuurbereik maakt systematisch onderzoek mogelijk naar thermische processen en temperatuurgeprogrammeerde desorptie (TPD).

Het reactiesubstraat bestaat uit een vergulde koperen schijf met een diameter van 25 mm, gekozen vanwege de uitstekende thermische geleidbaarheid, chemische inertie en hoge reflectiviteit in het mid-infraroodgebied. Afhankelijk van het wetenschappelijke doel kunnen eenvoudig andere substraatmaterialen worden geplaatst om de invloed van de oppervlaktesamenstelling op de interstellaire chemie te onderzoeken.

In-situ oppervlaktediagnostiek

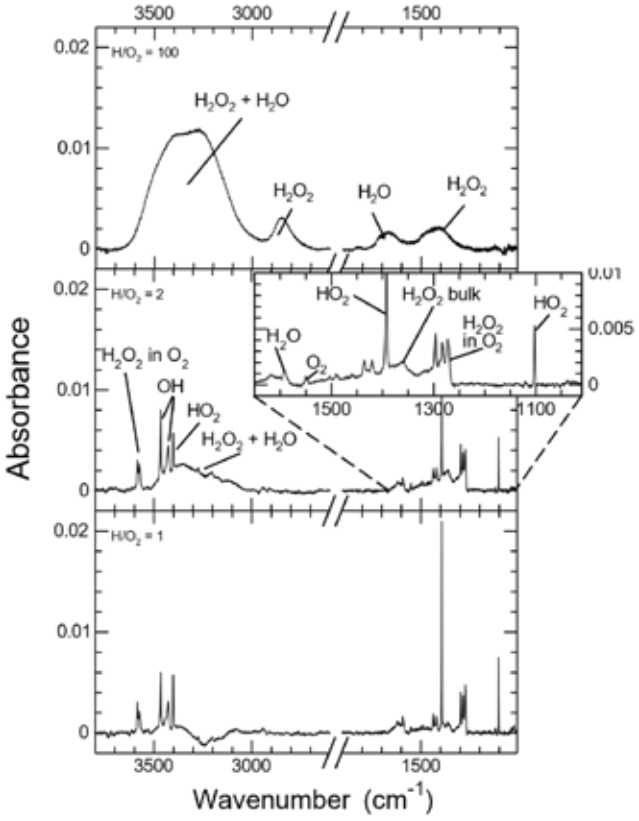
Alle metingen worden in situ uitgevoerd onder UHV-condities. Moleculen die via de gasinlaat worden binnengebracht, condenseren op het voorgekoelde substraat en vormen zo analogen van interstellaire ijslagen. Processen in de vaste fase worden gevolgd met behulp van reflectie-absorptie-infraroodspectroscopie (RAIRS), waarbij gebruik wordt gemaakt van een Agilent Cary 660 FTIR-spectrometer die via ZnSe-UHV-vensters extern aan de vacuümkamer is gekoppeld. Om atmosferische absorptie door waterdamp en kooldioxide te elimineren, worden de spectrometer en het externe stralingspad continu gespoeld met droge stikstof.

Aanvullende metingen in de gasfase worden uitgevoerd met een ionentellende quadrupoolmassaspectrometer (QMS, Hiden HAL/3F); hiermee worden zowel de inkomende reactantgassen als de moleculen die thermisch of niet-thermisch van het oppervlak desorberen, gemonitord. Samen bieden RAIRS en QMS gelijktijdige informatie over reacties in de vaste fase en producten in de gasfase, zowel tijdens depositie-experimenten als tijdens de daaropvolgende TPD. Dit levert een volledig beeld op van de interstellaire oppervlaktechemie.

Kalibratie en UHV-uitdagingen

Nauwkeurige regeling van moleculaire depositie

Een nauwkeurige regeling van de moleculaire depositie is essentieel om de chemie van interstellaire ijslagen onder laboratoriumcondities te kunnen reproduceren. SURFRESIDE maakt gebruik van twee complementaire doseerstrategieën: sequentiële depositie en gelijktijdige co-depositie. Bij sequentiële depositie worden moleculen eerst afgezet op het voorgekoelde substraat om een goed gedefinieerde ijsfilm te vormen voordat ze worden blootgesteld aan reactieve atoomstralen. Deze aanpak maakt tijdgerelateerde kinetische metingen mogelijk en de bepaling van reactiesnelheden, activeringsdrempels en productopbrengsten. Bij co-depositie-experimenten worden moleculaire gassen en reactieve



Figuur 6. IR-spectra van experimenten met co-depositie van H en O_2 bij 20 K, met H/O_2-verhoudingen van respectievelijk 100, 2 en 1 (van boven naar beneden). (Bron: [10])

atomen gelijktijdig geïntroduceerd met behulp van onafhankelijk gekalibreerde fluxen. Door de relatieve moleculaire en atomaire depositiesnelheden zorgvuldig aan te passen, kan het laboratorium continue accretieprocessen reproduceren die representatief zijn voor dichte moleculaire wolken, terwijl tegelijkertijd systematisch de invloed van reactantverhoudingen op reactiepaden wordt onderzocht.

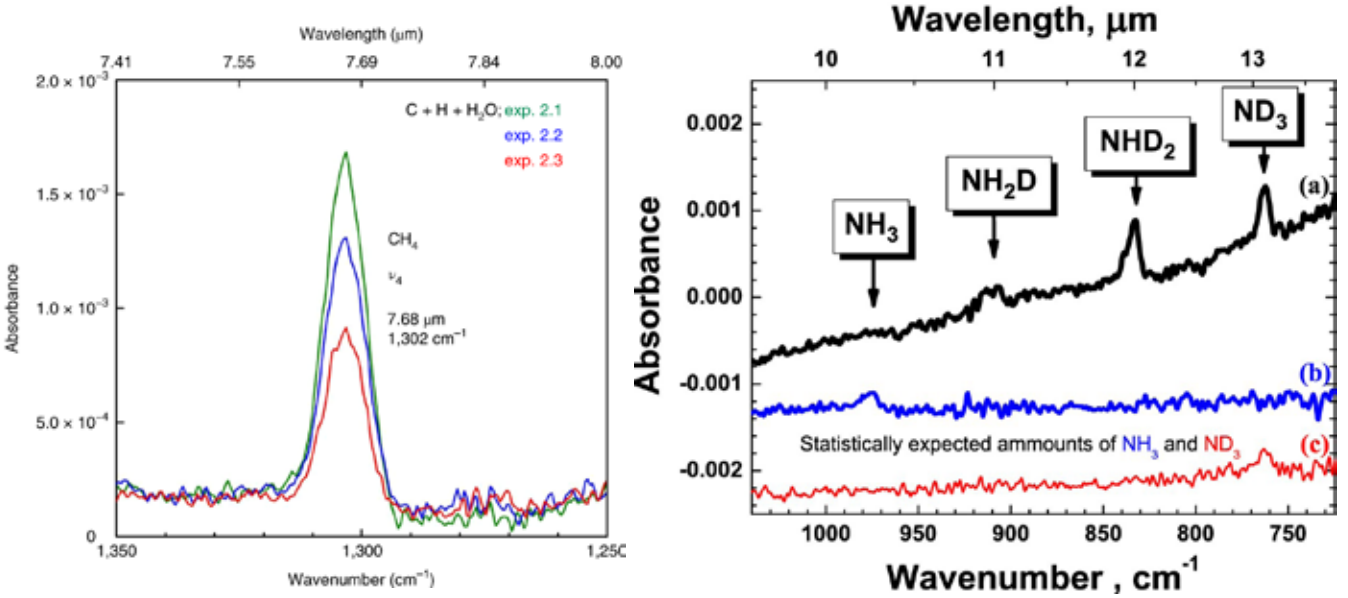
Water: de aanhoudende uitdaging in cryogene UHV-systemen

Het handhaven van een schoon cryogeen oppervlak is een bekende uitdaging voor elke vacuümwetenschapper. Zelfs na uitgebreide bake-out blijven er sporen van restgassen achter in het UHV-systeem. Waterdamp is een grotere zorg dan de dominante rest-H_2 in cryogene astrochemie bij 10 K. Omdat het cryogene substraat in feite als een cryopomp fungeert, moet de continue accumulatie van achtergrondwaterdamp zorgvuldig worden gekwantificeerd. Uit routinematige kalibratiemetingen blijkt dat de resterende waterafzettingssnelheid in SURFRESIDE < 10^{10} moleculen cm^{-2}·s^{-1} bedraagt, ongeveer twee ordes van grootte lager dan de typische afzettingsfluxen van experimentele reactanten. Het kwantificeren van deze achtergrondverontreiniging is daarom essentieel voor het beoordelen van de experimentele onzekerheid en om ervoor te zorgen dat de waargenomen reactieproducten afkomstig zijn van gecontroleerde afzetting en niet van resterende verontreinigingen in de reactiekamer.

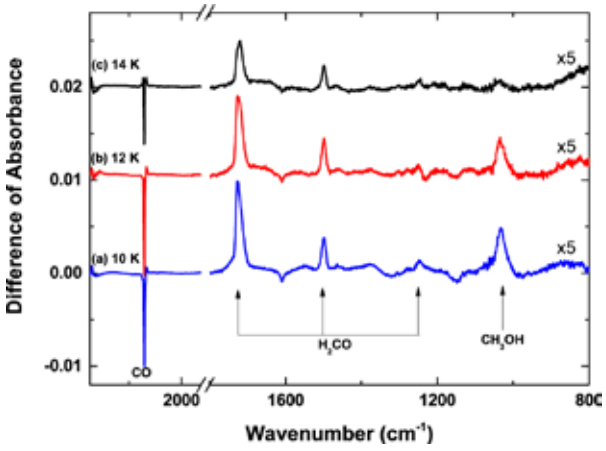
Kalibratie van atoomfluxen

Het betrouwbaar bepalen van atoomfluxen is cruciaal om laboratoriummetingen te kunnen vertalen naar astronomische tijdschalen die miljoenen jaren omspannen. Hoewel theoretische bovengrenzen kunnen worden geschat met behulp van de Hertz-Knudsen-vergelijking – die de botsingsfrequentie tussen gas en oppervlak beschrijft – wordt de effectieve flux van reactieve atomen die het monster bereikt, aanzienlijk verminderd door recombinatie in de gasfase, botsingen met de wand en recombinatieprocessen aan het oppervlak.

Om de waargenomen reactieve flux te bepalen, maakt SURFRESIDE gebruik van chemische kalibratiemethoden die gebaseerd zijn op barrièreloze oppervlaktereacties. Voor waterstofatomen wordt een overmaat aan O_2-ijs afgezet om het reactieproduct HO_2 (gevormd via



Figuur 7. IR-spectra van hydrogeneringsroutes. (Bron: [12-13])
Links: Methaanvorming in een experiment met C + H + H_2O bij 10 K.
Rechts: Ammoniakvorming in experimenten met (a) N + H/D + CO, (b) N + H, en (c) N + D.



Figuur 8. IR-verschilspectra verkregen na blootstelling van CO-ijs aan H-atomen bij (a) 10 K, (b) 12 K, en (c) 14 K. Negatieve en positieve signalen weerspiegelen netto verbruik en vorming, respectievelijk. (Bron: [16])

de barrièreloze reactie H + O_2 → HO_2) in te vangen. Kwantitatieve infraroodanalyse van de ingevangen producten levert de effectieve flux van waterstofatomen op die deelnemen aan de oppervlaktechemie. Typische H-atoomfluxen variëren van ongeveer (1-10)·10^{12} atomen $cm^{-2}·s^{-1}$ en worden geregeld door de H_2-inlaatdruk en het dissociatievermogen (Figuur 4). De HABS- en MWAS-bronnen kunnen gelijktijdig worden gebruikt om nog hogere fluxen te bereiken.

Een vergelijkbare strategie wordt gebruikt om C-atoomfluxen te kalibreren via de barrièreloze reactie C + O_2 → CO + O, gevolgd door O + O_2 → O_3, waarbij de overmaat aan O_2 zowel als reactant als invangmatrix dient. Typische C-atoomfluxen variëren van (2-20)·10^{11} atomen $cm^{-2}·s^{-1}$ en worden geregeld door de sublimatietemperatuur van het koolstoffilament (Figuur 5). Vergelijkbare kalibratieprocedures zijn ook ontwikkeld voor bundels van stikstof- en zuurstofatomen, wat fluxen in de orde van 10^{10}-10^{11} atomen $cm^{-2}·s^{-1}$ oplevert.

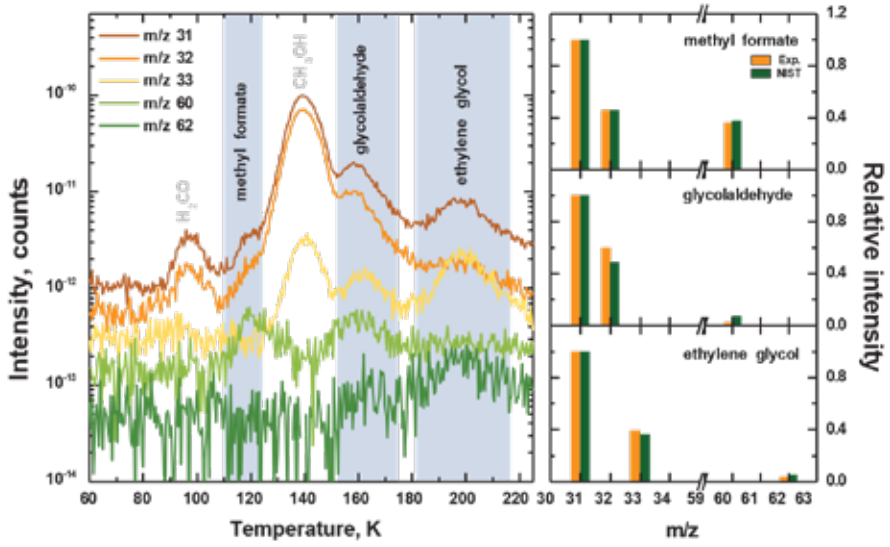
Vacuümfysica ontmoet astrochemie

Casestudy 1: De vorming van de eerste moleculen – H_2O, CH_4 en NH_3

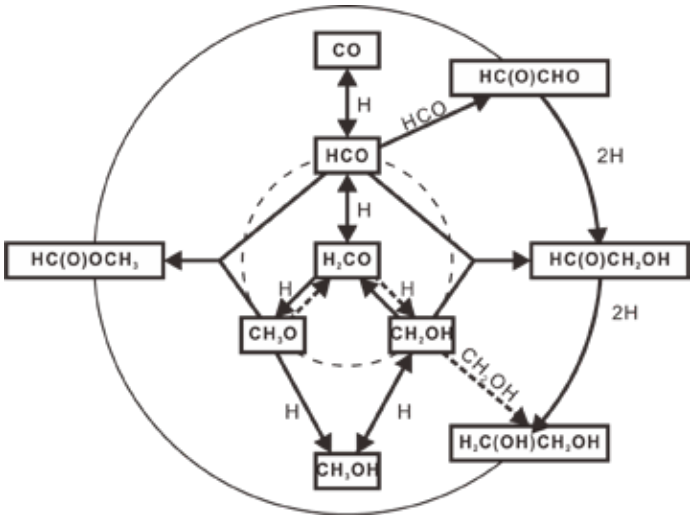
De nauwkeurig gekalibreerde atoom- en molecuulbundelsystemen van SURFRESIDE bieden een uniek platform om te onderzoeken hoe de eenvoudigste moleculen in de ruimte worden gevormd uit atomaire bouwstenen. Men neemt aan dat moleculen zoals water (H_2O), methaan (CH_4) en ammoniak (NH_3) in dichte interstellaire wolken voornamelijk ontstaan door oppervlaktereacties op koude stofdeeltjes, en niet in de gasfase [6]. Neutrale waterstofatomen die door de HABS worden gegenereerd, worden eerst gethermaliseerd door middel van meerdere botsingen in een neusvormige kwartsbuis, voordat ze het cryogene substraat bereiken. Na adsorptie recombineren twee naburige H-atomen snel tot moleculair waterstof (H_2); dit desorbeert gemakkelijk vanwege de lage bindingsenergie (~0,8 kJ/mol). Als alternatief kunnen waterstofatomen over het oppervlak diffunderen en reageren met geadsorbeerde zuurstofatomen, zuurstofmoleculen of ozonmoleculen, waardoor een reeks hydrogeneringsreacties op gang komt die uiteindelijk waterijs oplevert [7-9].

Figuur 6 toont een reeks in-situ infraroodspectra die zijn verkregen tijdens systematische H + O_2-experimenten bij ongeveer 20 K, met verschillende H/O_2-verhoudingen (namelijk 1, 2 en 100) [10]. De spectra laten de opeenvolgende vorming zien van reactietussenproducten, waaronder HO_2 en H_2O_2, gevolgd door de productie van H_2O naarmate de hydrogenering vordert. De relatieve hoeveelheden van deze deeltjes hangen sterk af van de verhouding tussen de reactanten en de lokale ijsomgeving; dit illustreert hoe matrixisolatie- en diffusieprocessen de reactieroutes onder cryogene omstandigheden bepalen.

Deze laboratoriummetingen leveren direct experimenteel bewijs dat water efficiënt kan worden gevormd op het oppervlak van interstellaire stofdeeltjes onder astrofysisch relevante omstandigheden. Dit verklaart waarom H_2O het hoofdbestanddeel is van de interstellaire ijsmantels die met infraroodtelescopen worden waargenomen. Vergelijkbare hydrogeneringsroutes zijn vervolgens aangetoond voor koolstof- en stikstofatomen, wat leidt tot de vorming van respectievelijk methaan (CH_4) en ammoniak (NH_3) [7,11-13]; zie Figuur 7. Samen tonen deze studies aan dat opeenvolgende hydroge-



Figuur 9. Detectie van glycolaldehyde, methylformiaat en ethyleenglycol. Links: QMS-TPD-gegevens verkregen na co-depositie van H_2CO- en H-atomen bij 10 K. De thermische desorptietemperaturen van methylformiaat (m/z = 31, 32 en 60), glycolaldehyde (m/z = 31, 32, 33 en 60) en ethyleenglycol (m/z = 31, 33 en 62) liggen op respectievelijk 120, 160 en 180 K. Rechts: vergelijking van de fragmentatiepatronen van de producten met die uit de bijbehorende NIST-database.



Figuur 10. Interstellaire CO-ijschemie aangedreven door H-atomen op het oppervlak van interstellaire stofdeeltjes. (Bron: [18])

nering aan het oppervlak een fundamenteel mechanisme is dat de moleculaire evolutie in koude moleculaire wolken aandrijft.

Casestudy 2: Van koolstofmonoxide naar complexe organische moleculen

Naast reacties waarbij atomen zonder energiebarrière worden toegevoegd, maakt SURFRESIDE ook onderzoek mogelijk naar chemische processen die gepaard gaan met aanzienlijke activeringsbarrières. Bij temperaturen rond de 10 K is de thermische energie veel te laag om deze barrières via klassieke reactieroutes te overwinnen. In plaats daarvan zorgt de uitzonderlijk lage massa van waterstofatomen ervoor dat ze kwantumtunneling kunnen ondergaan, waardoor reacties mogelijk worden die onder cryogene omstandigheden anders als onmogelijk zouden worden beschouwd.

De hydrogenering van koolmonoxide (CO) is hier een van de belangrijkste voorbeelden van [14-15]. Hoewel de initiële hydrogeneringsstap een activeringsbarrière van ongeveer 17,5 kJ/mol heeft, tonen laboratoriumexperimenten aan dat opeenvolgende waterstofadditie CO efficiënt omzet in formaldehyde (H_2CO) en uiteindelijk methanol (CH_3OH), via kortstondige radicale tussenproducten zoals HCO en CH_3O [16-17]; zie Figuur 8. Het totale reactienetwerk is zeer gevoelig voor zowel de temperatuur van het substraat als de relatieve fluxen van atomen en moleculen; dit onderstreept het belang van nauwkeurige experimentele controle onder UHV-condities.

De reactieve radicalen die tijdens deze hydrogeneringsstappen ontstaan, blijven gevangen in de ijsmatrix; daar kunnen ze diffunderen en recombineren tot nog grotere organische moleculen die aldehyde- en alcoholgroepen bevatten. Tijdens de daaropvolgende TPD sublimeren deze nieuw gevormde verbindingen van het oppervlak en worden ze via QMS geïdentificeerd aan de hand van hun karakteristieke massafragmentatiepatronen. Figuur 9 toont de detectie van glycolaldehyde, methylformiaat en ethyleenglycol; dit levert direct bewijs dat complexe organische moleculen onder interstellaire omstandigheden kunnen worden gevormd via chemische reacties die uitsluitend in de vaste fase plaatsvinden [18-19].

Het experimenteel vastgestelde CO-H_2CO-CH_3OH-hydrogeneringsnetwerk (Figuur 10) laat zien hoe eenvoudige moleculen die op stofdeeltjes zijn vastgevroren, kunnen evolueren tot chemisch complexe verbindingen via een reeks reacties waarbij atomen worden toegevoegd en radicalen met elkaar reageren [18]. Deze laboratoriumstudies vormen een hoeksteen van de moderne astrochemie. Ze bieden het experimentele kader voor de interpretatie van moleculaire waarnemingen door instrumenten zoals ALMA en de JWST, en verschaffen belangrijke inzichten in de chemische oorsprong van prebiotische moleculen in gebieden waar sterren en planeten worden gevormd.

Voorbij de door atomen aangestuurde processen

Hoewel SURFRESIDE is uitgegroeid tot een hoeksteen voor het bestuderen van door atomen aangestuurde oppervlaktechemie onder UHV-condities, omvat LfA een breder scala aan experimentele platforms die zich richten op complementaire aspecten van interstellaire chemie. Energetische bewerking van interstellaire ijslagen wordt onderzocht met behulp van UV-straling in het laboratorium en via samenwerkingen met grootschalige faciliteiten zoals het FELIX-laboratorium (Nijmegen) en de Taiwan Synchrotron Radiation Source; hier maken afstembare infrarood-, EUV- en zachte röntgenstraling golflengteafhankelijk onderzoek naar moleculaire evolutie mogelijk.

Tegelijkertijd produceren speciale stofbundelsystemen koolstofhoudende en silicaat-nanodeeltjes die dienen als realistische analoga van interstellaire stofdeeltjes, waardoor onderzoek naar stofvorming en interacties tussen stof en ijs mogelijk wordt. Het laboratorium ontwikkelt ook spectroscopische databases – waaronder UV-Vis-optische constanten en IR-absorptiegegevens van astrofysische ijsanaloga – die essentiële referentiegegevens leveren voor de interpretatie van astronomische waarnemingen. Samen maken deze complementaire capaciteiten de LfA tot een multidisciplinair platform dat vacuümwetenschap, laboratoriumexperimenten en astrochemie met elkaar verbindt.

Referenties

[1] McGuire, B.A. "2021 census of interstellar, circumstellar, extragalactic, protoplanetary disk, and exoplanetary molecules", *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 259.2 (2022): 30.

[2] Cuppen, H.M., *et al.*, "Laboratory and computational studies of interstellar ices", *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* 62.1 (2024): 243-286.

[3] Van Dishoeck, E.F., *et al.*, "Interstellar water chemistry: from laboratory to observations", *Chem. Rev.* 113.12 (2013): 9043-9085.

[4] Ioppolo, S., *et al.*, "SURFRESIDE2: An ultrahigh vacuum system for the investigati-

on of surface reaction routes of interstellar interest", *Rev. Sci. Instrum.* 84.7 (2013).

[5] Qasim, D., *et al.*, "A cryogenic ice setup to simulate carbon atom reactions in interstellar ices", *Rev. Sci Instrum.* 91.5 (2020).

[6] Linnartz, H., *et al.*, "Atom addition reactions in interstellar ice analogues", *Int'l Rev. Phys. Chem.* 34.2 (2015): 205-237.

[7] Hiraoka, K., *et al.*, "Gas-grain processes for the formation of CH_4 and H_2O: Reactions of H atoms with C, O, and CO in the solid phase at 12 K", *Astrophys. J.* 498.2 (1998): 710-715.

[8] Dulieu, F., *et al.*, "Experimental evidence for water formation on interstellar dust grains by hydrogen and oxygen atoms", *Astron. & Astrophys.* 512 (2010): A30.

[9] Ioppolo, S., *et al.*, "Water formation at low temperatures by surface O_2 hydrogenation I: characterization of ice penetration", *Phys. Chem. Chem. Phys.* 12.38 (2010): 12065-12076.

[10] Cuppen, H.M., *et al.*, "Water formation at low temperatures by surface O_2 hydrogenation II: the reaction network", *Phys. Chem. Chem. Phys.* 12.38 (2010): 12077-12088.

[11] Fedoseev, G., *et al.*, "Low-temperature surface formation of NH_3 and HNCO: hydrogenation of nitrogen atoms in CO-rich interstellar ice analogues", *Monthly Not. Royal Astron. Soc.* 446.1 (2015): 439-448.

[12] Fedoseev, G., *et al.*,. "Deuterium enrichment of ammonia produced by surface N+ H/D addition reactions at low temperature", *Monthly Not. Royal Astron. Soc.* 446.1 (2015): 449-458.

[13] Qasim, D., *et al.*, "An experimental study of the surface formation of methane in interstellar molecular clouds", *Nature Astron.* 4.8 (2020): 781-785.

[14] Watanabe, N., and Akira K., "Efficient formation of formaldehyde and methanol by the addition of hydrogen atoms to CO in H_2O-CO ice at 10 K", *Astrophys. J. Lett.* 571.2 (2002): L173-L176.

[15] Fuchs, G.W., *et al.*, "Hydrogenation reactions in interstellar CO ice analogues - A combined experimental/theoretical approach", *Astron. & Astrophys.* 505.2 (2009): 629-639.

[16] Chuang, K-J., *et al.*, "Reactive desorption of CO hydrogenation products under cold pre-stellar core conditions", *Astrophys.* J. 853.2 (2018): 102.

[17] Simons, M.A.J., *et al.*, "Formation of COMs through CO hydrogenation on interstellar grains", *Astron. & Astrophys.* 634 (2020): A52.

[18] Chuang, K-J., *et al.*, "H-atom addition and abstraction reactions in mixed CO, H_2CO and CH_3OH ices – an extended view on complex organic molecule formation", *Monthly Not. Royal Astron. Soc.* 455.2 (2016): 1702-1712.

[19] Fedoseev, G., *et al.*, "Formation of glycerol through hydrogenation of CO ice under prestellar core conditions", *Astrophys. J.* 842.1 (2017): 52

ACCLON
TECHNOLOGIES

Dé professional voor vacuümpompen & gloveboxen



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

Tussen filosofie en metrologie van vacuüm



Figuur 2. CEO Fabienne van Booma - de Smit gaf een introductie van VSL en verdiepte zich in de historie en het belang van vacuüm, als essentieel ingrediënt van sleuteltechnologieën zoals halfgeleiders, quantum en space.

Op vrijdag 5 juni vond de NEVAC-dag 2026 plaats bij VSL, het Nationaal Metrologie Instituut van Nederland, in Delft. VSL werd verrast door de grote opkomst van NEVAC-leden, inclusief omvangrijke bedrijvenmarkt met bedrijfsleden, De deelnemers op hun beurt waren onder de indruk van het brede metrologiespectrum van VSL en de uiteenlopende presentaties, van reinheid en traceerbaarheid tot plasma's en zwaartekrachtsgolven. Overal kwam vacuüm om de hoek kijken.

De NEVAC-dag 2026 bij VSL in Delft trok een grote groep deelnemers (Figuur 1), misschien wel een van de grootste die VSL ooit in eigen huis had ontvangen, aldus CEO Fabienne van Booma - de Smit. Na welkomstwoorden van NEVAC-voorzitter Freek Molkenboer en dagvoorzitter Wouter Stiphout, scientist mass, pressure and vacuum bij VSL, gaf zij een introductie over haar instituut.

Nationaal Metrologie Instituut

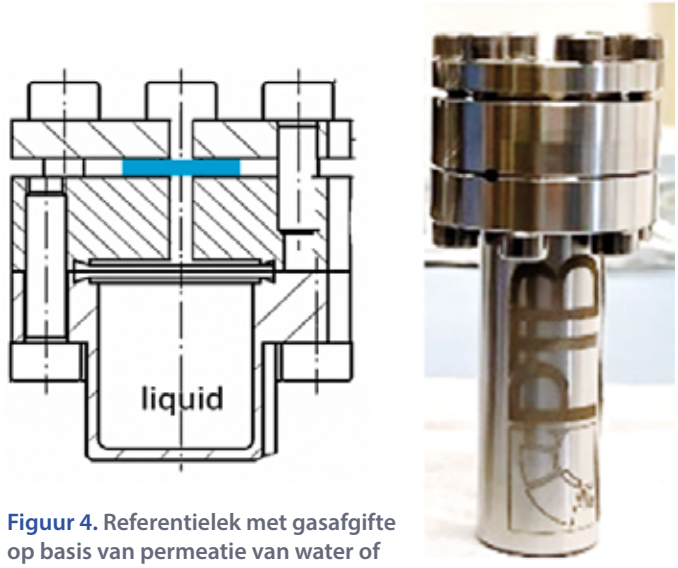
VSL is het Nationaal Metrologie Instituut van Nederland en beheert en ontwikkelt in opdracht van de Nederlandse overheid de primaire meetstandaarden en referentiematerialen. Deze vormen het fundament onder de betrouwbaarheid van iedere meting. VSL bestrijkt alles van wetenschap en high-tech industrie tot handel en regelgeving. Als onafhankelijke en onpartijdige organisatie zorgt VSL ervoor dat meetresultaten van bedrijven, laboratoria en instellingen direct herleidbaar zijn naar (inter)nationale standaarden. Daarnaast voert VSL kalibraties uit, produceert referentiematerialen, organiseert interlaboratoriumvergelijkingen en deelt metrologische expertise via trainingen, consultancy en onderzoeksprojecten die nieuwe en verbeterde meetmethoden ontwikkelen. Met deze activiteiten draagt VSL bij aan nauwkeurige en betrouwbare metingen die essentieel zijn voor innovatie, kwaliteitsborging en vooruitgang in uiteenlopende sectoren, waaronder ook het uitdagende en specialistische vakgebied van de vacuümtechnologie.



Figuur 1. Grote opkomst bij VSL, met op de voorgrond twee van de sprekers: uiterst links Matthias Bernien (PTB) en rechts Valerie Derpmann (Inficon).



Figuur 3. De Transpector® MPH van Inficon, een QMS voor RGA.



Figuur 4. Referentielek met gasafgifte op basis van permeatie van water of dodecaan door een polymeermembraan.



Figuur 5. Niels Hoogendoorn (rechts) met de NEVAC-prijs die hij zojuist uit handen van NEVAC-voorzitter Freek Molkenboer heeft ontvangen.

Filosofie en fundament

Van Booma - de Smit (Figuur 2) had zich verdiept in de geschiedenis van het vacuüm. Ze liet zien hoe het uitgroeide van onderwerp van een filosofisch debat over het niets tot een fundament onder moderne natuurkunde en een essentieel ingrediënt van sleuteltechnologieën als halfgeleiders, quantum en space. VSL ontwikkelt daar de metrologie voor, ook van vacuüm, om te zorgen dat er reproduceerbare technologie kan worden ontwikkeld. “In het geval van vacuüm gaat het dan om het zichtbaar maken van wat onzichtbaar is.” Van Booma - de Smit was blij met de NEVAC-dag bij VSL en zag het belang ervan vooral in het delen van kennis en het leggen van verbindingen tussen wetenschap en industrie.

Reinheid in productie van reinheidsmeetapparatuur

Het inhoudelijke programma werd afgetrapt door Valerie Derpmann. Zij is senior mass spectrometry scientist bij Inficon in Keulen (D), leverancier van instrumentatie voor de halfgeleiderindustrie. Derpmann sprak over het essentiële belang van reinheid voor het functioneren van apparaten zoals hoogwaardige quadrupoolmassaspectrometers (QMS’en, zie Figuur 3). Dat illustreerde ze aan de hand van het ontwerpproces voor een QMS-productielijn. Een QMS vormt de kern van restgasanalyse (RGA) en procesbewaking in UHV-onderzoek en veeleisende halfgeleidertoepassingen. Naarmate de prestatie-eisen hoger komen te liggen, met lagere detectielimieten, driftvrije werking en hogere acquisitiesnelheden, wordt contaminatiebeheersing tijdens de productie meer en meer cruciaal. Daarbij komen de reinheidseisen voor lab en fab, het laboratorium en de fabriek, steeds dichter bij elkaar te liggen. Derpmann liet zien hoe reinheid de prestaties van instrumenten in de praktijk beïnvloedt – en beperkt. Ze besprak wat ‘schoon genoeg’ nu eigenlijk betekent, waar de belangrijkste contaminatiebronnen zich bevinden en welke ontwerp- en proceskeuzes ervoor zorgen dat onderdelen schoon blijven, van grondstof tot eindtest. Daarbij benadrukte ze dat reinheid een procesparameter is die in de lijn tijdens het productieproces wordt gemonitord. Dat voorkomt onplezierige verrassingen bij de eindtest en versnelt het productieproces. Ook belangrijk, en vaak onderschat volgens Derpmann, is de menselijke factor. Training is nodig om mensen netjes volgens protocol te laten werken en leren van hun (bijna-)fouten.

Tot slot deelde Derpmann enkele praktische lessen die Inficon leerde bij het opzetten van de nieuwe productielijn. Zo bleek een onverwachte verontreiniging na veel zoekwerk te worden veroorzaakt door een kleine component waarvan de leverancier in het productieproces iets (een smeermiddel) had veranderd zonder dat te melden. “Elk onderdeel op de stuklijst is een potentieel contaminatiepad.” Een tweede voorbeeld waren o-ringen die verontreiniging veroorzaakten met het reinigingsmiddel waarmee ze waren schoongemaakt. “Het is heel moeilijk om onderdelen schoon te krijgen en schoon te assembleren, terwijl het juist heel makkelijk is om een systeem te verontreinigen.”

Vooruitgang in traceerbare vacuümmetingen

Als tweede sprak Matthias Bernien, werkgroepleider Vacuümmetrologie bij PTB, ‘het Duitse VSL’, in Berlijn, over de traceerbaarheid van vacuüm- en uitgassingssnel-

heidsmetingen. De betrouwbaarheid van kwantitatieve metingen in vacuüm is een voorwaarde voor veel industriële en wetenschappelijke toepassingen. Nauwkeurigheid wordt gewaarborgd door een reeks kalibraties die de meting relateert aan een primaire standaard bij een nationaal metrologisch instituut; dit heet traceerbaarheid. Bernien gaf een overzicht van de vooruitgang bij PTB met het verminderen van de onzekerheid van primaire drukrealisaties in het vacuümregime en het verbeteren van de betrouwbaarheid van transferstandaarden voor druk en ontgassingssnelheden.

Zo is in het drukbereik van 10 mPa tot 1.300 Pa een volledig geautomatiseerd statisch expansiesysteem opgezet en gevalideerd. Dit systeem is van aluminium, omdat dit een hogere warmtegeleidingscoëfficiënt heeft dan roestvaststaal, waardoor het makkelijker is om de temperatuur homogeen te houden. Het principe van het systeem berust op het overbrengen van een vaste hoeveelheid gas van een kleiner volume naar een groter volume, waardoor een goed gedefinieerde lagere druk ontstaat, mits de begindruk en de volumeverhouding nauwkeurig bekend zijn. Er worden relatieve standaardmeetonzekerheden van 0,08-0,012% bereikt.

Het tweede onderwerp van Bernien betrof primaire standaarden gebaseerd op een koude atoomval (*cold atom trap*); deze beloven voor het drukbereik van 10^{-8}-10^{-6} Pa een nieuwe route naar de realisatie van de pascal. Koude alkaliatomen zoals rubidium vertonen in een magnetisch-optische val fluorescentie. Ze kunnen uit de val worden weggeslagen door botsingen met gasmoleculen die uit de vacuümkamer komen waaraan wordt gemeten. Dan neemt het fluorescentiesignaal af en dat geeft een meetsignaal. Een transporteerbare versie van een dergelijke standaard werd ontwikkeld aan de University of British Columbia en naar PTB verzonden. Om het werkingsprincipe te valideren, werd een vergelijking uitgevoerd met de conventionele standaard van PTB, die gebaseerd is op een systeem met dynamische expansie.

Verder heeft PTB gewerkt aan verbetering van de vergelijkbaarheid van ontgassingssnelheidsmetingen, die in de halfgeleiderindustrie belangrijk zijn voor het monitoren van uitgassing van componenten in vacuüm. PTB heeft daartoe samen met industriële partners referentiemonsters met stabiele ontgassingssnelheid van dodecaan ($C_{12}H_{26}$) en water ontwikkeld (Figuur 4). Bernien presenteerde de karakteristieken van deze referentielekken.



Figuur 6. De labtour voerde onder meer langs het 'low-flow' lab, waar kalibratie van flowsensoren plaatsvindt.



Figuur 7. Dagvoorzitter Wouter Stiphout.



Figuur 8. Patrick Werneke (Nikhef) besprak de vacuümuitdagingen voor de Einstein Telescoop, die zwaartekrachtsgolven moet detecteren opgewekt door bijvoorbeeld de botsing van twee zwarte gaten.

NEVAC-prijs voor ALD-artikel

Vervolgens kreeg Niels Hoogendoorn, promovendus in de onderzoeksgroep Plasma & Materials Processing, Faculteit Applied Physics van de TU Eindhoven, de NEVAC-prijs uitgereikt (Figuur 5). Hij kreeg deze prijs toegekend voor het artikel dat hij als hoofdauteur samen met TU/e-collega's had geschreven voor NEVAC blad 2026, nr. 1: "Van materiaalonderzoek tot toepassing op Li-anodes – ALD voor volgende generatie Li-ionbatterijen." De prestaties van lithiumionbatterijen, die als een veelbelovende technologie worden gezien voor het opvangen van fluctuaties in zonne- en windenergie, worden beperkt door degradatieprocessen aan het grensvlak tussen elektrode en elektrolyt. Hoogendoorn onderzoekt met zijn collega's hoe atoomlaagdepositie (ALD) deze uitdagingen kan helpen oplossen. Met ALD kunnen ze namelijk ultradunne, kunstmatige grensvlaklagen met atomaire precisie aanbrengen, wat mogelijk leidt tot verbeterde stabiliteit, verkorte formatie-



Figuur 9. Timo Huijser, research engineer vacuümsystemen bij TNO, presenteerde verbeteringen van de RGA-metrologie.



Figuur 10. TRACER-opstelling TNO: Tool for RGA Accuracy and Calibration Enhancement Research. (Foto: TNO / Jurjen Poeles)

cycli (de eerste laad- en ontlaadcycli van een batterij waarbij een stabiele grensvlaklaag wordt gevormd) en een langere levensduur. In de aansluitende presentatie ging Hoogendoorn daar dieper op in.

Tijdens de aansluitende lunch was de bedrijvenmarkt met een recordaantal van zestien stands van NEVAC-lidbedrijven te bezoeken. Parallel daaraan hield de NEVAC haar Algemene Ledenvergadering (ALV). Daarna was er een rondleiding door enkele van de VSL-laboratoria, met onder meer de opstelling voor kalibratie van vacuümsensoren (10^{-8} tot $5{\cdot}10^{-3}$ mbar), waarvoor VSL sinds dit voorjaar is geaccrediteerd (Figuur 6). Ook het lab voor het mixen van gassen voor het maken van kalibratiereferenties voor klanten en de kalibratie-opstellingen voor thermometrie en gasstroming (in het 'low-flow lab') waren onderdeel van de tour.

Vacuümuitdagingen voor Einstein Telescoop

Na de pauze kon dagvoorzitter Wouter Stiphout (Figuur 7) als eerste aankondigen Patrick Werneke, senior engineer bij Nikhef en hoofd van de Engineeringafdeling van de Einstein Telescope Organisation (Figuur 8). Hij besprak de vacuümuitdagingen voor de Einstein Telescoop (ET), die in het NEVAC blad al diverse keren aan bod is gekomen. ET moet Europa's meest geavanceerde, ondergrondse observatorium voor zwaartekrachtsgolven worden. De vereiste extreem hoge meetnauwkeurigheid maakt de telescoop echter bijzonder gevoelig voor externe trillingen en verontreiniging in de detector. "We zijn in gevecht met alle ruisbronnen." Ultrahoog vacuüm (UHV) helpt om ruis te verminderen. Na het ontwerp en de werking van ET te hebben besproken, ging Werneke dieper in op de redenen voor en technologische uitdagingen van het realiseren van UHV. Zo wees hij op de omvang van vacuümsysteem en andere schone ruimtes: 120 kilometer vacuümbuizen van 1 meter doorsnede en meer dan 20.000 vierkante meter cleanroom. Zo moeten die vacuümbuizen op locatie, ondergronds, worden gelast en dat is natuurlijk een beruchte vorm van verontreiniging.

Naar een hogere nauwkeurigheid in RGA

Er zullen bij de bouw van ET ongetwijfeld RGA's worden uitgevoerd, zoals vaak gebeurt voor kwalitatieve analyses zoals lekdetectie en contaminatie-onderzoek binnen vacuümsystemen. In het algemeen vormt het nauwkeurig bepalen van gassamenstellingen en de bijbehorende partiële drukken echter een grote uitdaging, met name bij relatief hoge gasdrukken. Dat stelde Timo Huijser, research engineer vacuümsystemen bij TNO, in zijn presentatie (Figuur 9). Klanten van TNO stellen vaak hogere eisen aan de nauwkeurigheid dan standaard RGA-systemen kunnen bieden. Om aan deze behoefte te voldoen, ontwikkelt de afdeling Semiconductor Equipment Metrology van TNO verbeterde RGA-metrologie. Hiervoor gebruikt de afdeling de TRACER-opstelling: Tool for RGA Accuracy and Cali-



Figuur 11. Roland Bliem, groepsleider Materials and Surface Science for Extreme Ultraviolet Lithography bij ARCNL en universitair hoofddocent aan de UvA, presenteerde onderzoek aan plasma's in de nieuwste generatie nanolithografie voor chipfabricage en plasma-ondersteunde katalytische conversie.



Figuur 12. Zes geslaagden voor het VT-examen van de locatie Eindhoven/Woerden, met namens de Opleidings- en Examencommissie voorzitter Thom Bijsterbosch (tweede van rechts) en examencoördinator Johan van der Cingel (uiterst rechts).

bration Enhancement Research Figuur 10).

Zo is werk gemaakt van optimalisatie van de RGA-ionenbron door de instellingen te optimaliseren, waardoor onder meer de detectielimiet is verlaagd en de levensduur van de bron verlengd. Verder is de data-acquisitie slimmer gemaakt, door meting van het volledige spectrum te combineren met repetitieve metingen op geselecteerde pieken. Het resultaat was dat het detectieniveau met een factor 20 werd verlaagd en de meetonzekerheid met een factor 3, dit alles ook nog significant sneller ten opzichte van de benchmark (de ASML-meetmethode). Detectieniveau en nauwkeurigheid hangen af van de integratietijd; dezelfde nauwkeurigheid kan met deze nieuwe methode ongeveer 5.000 keer sneller worden behaald. Verder kijkt TNO nu naar de chemie in de ionenbron: daar veranderen chemische reacties de samenstelling van het gas en dus het meetresultaat. Het onderzoek helpt de interpretatie van de metingen te verbeteren. Tot slot presenteerde Huijser ideeën voor toekomstig werk, zoals een doe-het-zelf ionenbron, een 'RGA-op-een-stokje' voor meting van lokale gascondities in een vacuümkamer, en de inzet van AI bij RGA-analyse. Kortom, TNO's agenda voor toegepast vacuümonderzoek is allesbehalve leeg.



Figuur 13. NEVAC-vicevoorzitter Adrie Mackus sloot de NEVAC-dag af met felicitaties en oproepen voor vrijwilligers.

Snijvlak EUV-lithografie en plasmakatalyse

Fundamenteel onderzoek kwam dan weer aan bod in de laatste presentatie, van Roland Bliem (Figuur 11). Hij is groepsleider Materials and Surface Science for Extreme Ultraviolet Lithography bij ARCNL (Advanced Research Center for Nanolithography) in Amsterdam en universitair hoofddocent aan de Universiteit van Amsterdam. Bliem vertelde over plasma's in de nieuwste generatie nanolithografie voor chipfabricage en plasma-ondersteunde katalytische conversie. Geselecteerde materialen worden blootgesteld aan plasmaomstandigheden, gekenmerkt door zeer reactieve deeltjes. Deze deeltjes ondervinden vaak een lagere barrière voor interacties aan oppervlakken, wat bijvoorbeeld katalytische reacties kan bevorderen en plasma-ondersteunde reiniging kan vergemakkelijken. Dat kan een invloed hebben op bijvoorbeeld oxidatie van oppervlakken tijdens blootstelling aan ioniserende straling in extreem-ultraviolet-lithografie (EUVL). De nauwkeurige voorspelling van oppervlaktereacties in plasma vereist diepgaande kennis van de actieve toestand van het oppervlak en de evolutie daarvan in plasma. Bij ARCNL bestuderen onderzoekers de mechanismen van oppervlaktereacties in de plasma's van EUVL en plasmakatalyse. De interacties van oppervlakken met een 'dierentuin' aan reactieve deeltjes worden ontrafeld door in-situ fotoelektronspectroscopie in plasmageactiveerde omgevingen te combineren met optische emissiespectroscopie en RGA. Zo komt ook hier vacuümtechniek om de hoek kijken.

Diploma-uitreiking

De NEVAC-dag kende, na een succesvolle première vorig jaar, voor de tweede keer een diploma-uitreiking voor de NEVAC-examens Vacuümtechniek en Elementaire Vacuümtechniek. In totaal waren 29 examens afgelegd, wat resulteerde in 28 geslaagden en één herexamen. Tien geslaagden waren aanwezig om hun diploma in ontvangst te nemen uit handen van Thom Bijsterbosch, voorzitter van de Opleidings- en Examencommissie (Figuur 12). Drie geslaagden behaalden het hoogste cijfer van deze jaargang, een negen. Zij komen in dit en het volgende nummer van het NEVAC blad aan bod.

Tot slot deed NEVAC-vicevoorzitter Adrie Mackus (Figuur 13) verslag uit de ALV en feliciteerde hij de geslaagden; hij riep hen op om voor het luttele jaarbedrag van vijf euro NEVAC-lid te worden. Een oproep deed hij ook voor vrijwilligers, voor vernieuwing van de NEVAC-website, het organiseren van NEVAC-excursies en de nieuwe 'prijzencommissie'. Tijdens de ALV had de NEVAC namelijk, naast de publicatieprijs, een nieuwe prijs ingesteld, de technologieprijs. De prijzencommissie moet de inzendingen voor die twee prijzen gaan beoordelen. Mackus sloot af door VSL en dagvoorzitter Wouter Stiphout voor de gastvrijheid en leiding te bedanken; dit werd met applaus van de aanwezigen ondersteund. Daarmee kwam een zeer geslaagde NEVAC-dag tot een officieel einde, waarna er nog een tweede ronde van de labtour en een informeel samenzijn volgden.

Vacuüm bij CERN, techniek op extreme schaal

Sinds 2025 werk ik via Nikhef bij CERN aan vacuümtechnologie. Mijn werkzaamheden lopen uiteen van onderzoek naar materialen, uitgassing en vacuümkwalificatie tot het ondersteunen van experimenten binnen CERN en het opzetten van testprocedures voor het MACBETH-project voor zwaartekrachtsgolfdetector Einstein Telescoop (ET). Hierdoor krijg ik de kans om zowel fundamenteel onderzoek als praktische engineering van dichtbij mee te maken. De combinatie van wetenschappelijk onderzoek, internationale samenwerking en een actieve sociale omgeving maakt het werken bij CERN tot een unieke ervaring.

Fabian Quinten

Large Hadron Collider (LHC)

CERN staat wereldwijd bekend om de LHC, de grootste deeltjesversneller ter wereld. Minder zichtbaar, maar minstens zo essentieel, is het vacuümsysteem waarop deze installatie en andere CERN-installaties draaien. Zonder een ultrahoog vacuüm (UHV) zouden de deeltjesbundels voortdurend botsen met achtergebleven gasmoleculen, waardoor experimenten hun nauwkeurigheid verliezen en bundels veel sneller verdwijnen. Vacuümtechnologie vormt daarom een onmisbaar onderdeel van vrijwel iedere versneller en experimentele opstelling op CERN.



Figuur 1. Een van de 6-m secties waaruit de pilotsector is opgebouwd. (Beelden: CERN)

Einstein Telescoop (ET)

ET is een toekomstige Europese zwaartekrachtsgolfdetector die signalen uit het heelal met een zeer hoge gevoeligheid moet kunnen meten. De detector bestaat uit drie ondergrondse armen, elk met vier buizen van elk 10 kilometer lang, waardoor in totaal 120 kilometer vacuümbuis nodig is. In deze armen worden laserinterferometers gebruikt om uiterst kleine lengteveranderingen te meten die veroorzaakt worden door passerende zwaartekrachtsgolven.

Om verstoring van de laserbundels door gasmoleculen te voorkomen, is UHV noodzakelijk. De beoogde druk bedraagt ongeveer 10^{-10} mbar. Pompstations, vacuümkleppen en uitgebreide meetapparatuur zorgen ervoor dat dit vacuüm over de volledige installatie kan worden opgebouwd, bewaakt en onderhouden. Het realiseren van een dergelijk vacuüm over tientallen kilometers vormt een enorme technische uitdaging. Niet alleen moeten alle verbindingen volledig lekdicht zijn, ook de uitgassing van de gebruikte materialen moet tot een minimum worden beperkt. Juist daarom spelen materiaalkeuze, oppervlaktebehandeling en vacuümtechnologie een centrale rol in het ontwerp.

Pilotsector

Om verschillende technische oplossingen op praktijkschaal te kunnen testen, is op CERN een pilotsector gebouwd. Deze bestaat uit een 36 meter lange vacuümbuis, opgebouwd uit zes secties van ieder zes meter, vervaardigd uit 4 mm dik ferritisch AISI 441-staal en iedere 1,5 meter voorzien van verstijvingsribben (Figuur 1).

Hoofddoel van deze opstelling is het onderzoeken van mogelijkheden om de kosten van het ET-vacuümsysteem te verlagen. Momenteel worden de totale kosten daarvan geschat op ongeveer 440 miljoen euro. Daarom wordt onderzocht of alternatieve materialen en productietechnieken dezelfde prestaties kunnen leveren tegen lagere kosten.

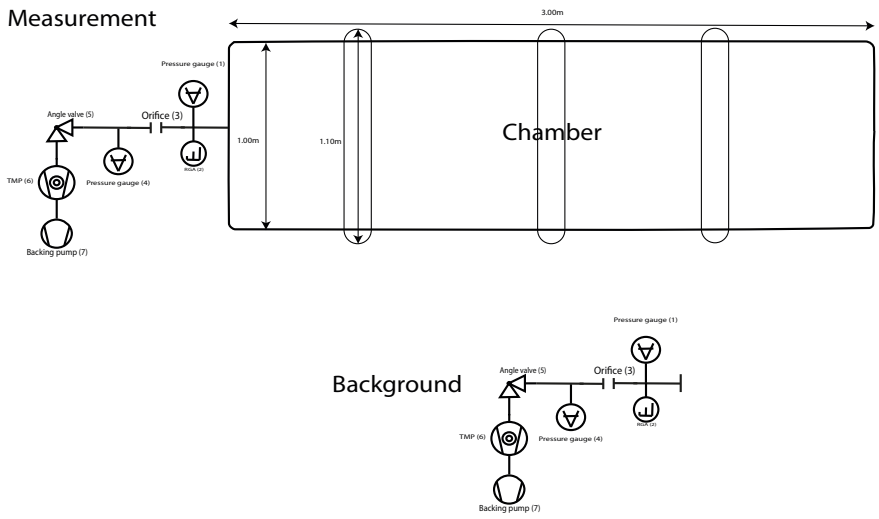
Voorafgaand aan de bouw is een uitgebreide materiaalstudie uitgevoerd door Carlo Scarcia, vacuum and materials engineer bij CERN. Momenteel wordt bij bestaande zwaartekrachtsgolfdetectoren (Virgo, KAGRA, LIGO) austenitisch roestvast staal (AISI 304L) toegepast. Uit de materiaalstudie bleek echter dat ferritisch AISI 441 vergelijkbare mechanische eigenschappen bezit, terwijl het, in tegenstelling tot AISI 304L, geen *vacuum firing* nodig is.

Bij *vacuum firing* wordt het materiaal gedurende lange tijd onder hoog vacuüm verhit om opgeloste waterstof uit het materiaal te verwijderen. Het vervallen van deze processtap levert een aanzienlijke kostenbesparing op.

Met de pilotsector worden de volgende belangrijke aspecten gevalideerd:

- installatie en uitlijning van ondersteuningen en vacuümbuizen;
- las- en assemblageprocedures op locatie;
- lekdetectie tijdens fabricage en montage;
- integratie van thermische isolatie, instrumentatie en vacuümcomponenten;
- evacuatietijd (pump-down) en prestaties van het vacuümsysteem;
- temperatuurverdeling tijdens bake-out met *direct Joule-heating*;
- metingen van partiële drukken en uitgassnelheden;
- validatie van trillingsisolatie voor optische componenten;
- evaluatie van maatregelen om stofverontreiniging tijdens installatie en gebruik te beperken.

De resultaten van deze demonstratie-installatie vormen belangrijke input voor het uiteindelijke ET-ontwerp.



Figuur 2. Schematische weergave van de meetprocedure. Eerst wordt een achtergrondmeting uitgevoerd met alleen de meetopstelling (Background), zonder het prototype. Vervolgens wordt dezelfde meting herhaald met het prototype geïnstalleerd (Measurement), zodat de bijdrage van het prototype aan de gemeten vacuümeigenschappen kan worden bepaald.



Figuur 3. De 36 meter lange pilotsector met alle pompen, instrumentatie en isolatie geïnstalleerd.



Figuur 4. Lekdetectie op poefstuk van metaalbedrijf SBE.

MACBETH

Parallel aan het pilotsectorproject loopt het project MACBETH (MAnufacturing and Cleanliness of Beampipe for Einstein Telescope in High-vacuum), mede ondersteund door de R&D-regeling technologiedomeinen Einstein Telescope-project. Dit project richt zich op de industrialisatie van een gegolfde vacuümbuis uit ferritisch AISI 441-staal. In plaats van een rechte buis met afzonderlijke verstijvingsribben wordt gebruikgemaakt van een gegolfd profiel. Door deze geometrie verkrijgt de buis voldoende stijfheid, waardoor de wanddikte kan worden teruggebracht van 4 naar 2 mm. Een aandachtspunt is wel dat de dunnere, gegolfde buis waarschijnlijk over vrijwel de volledige lengte ondersteund zal moeten worden om doorbuiging te voorkomen. Om het productieproces te kwalificeren moet worden aangetoond dat de buizen voldoen aan de gestelde eisen op het gebied van lekdichtheid, reinigbaarheid, uitgassing en vacuümprestaties. Deze kwalificatie vormt een belangrijk onderdeel van mijn werkzaamheden.

Hoe ik bij CERN ben terechtgekomen

In 2024 rondde ik mijn master Mechanical Engineering af aan de Technische Universiteit Delft binnen de track High Tech Engineering. Tijdens mijn studie ontwikkelde ik een sterke interesse in precisietechniek, systeemontwerp en regeltechniek. Vooral projecten waarbij mechanica, meetapparatuur en experimenteel onderzoek samenkomen spraken mij aan. Na mijn afstuderen ging ik op zoek naar een werkomgeving waarin deze disciplines worden gecombineerd. Via Nikhef (Nationaal instituut voor subatomaire fysica, in Amsterdam) kwam ik in contact met CERN en inmiddels ben ik daar gedetacheerd binnen de vacuümgroep.

Vanaf het eerste moment valt op hoe internationaal CERN is. Tijdens mijn introductieweek begonnen ongeveer honderd nieuwe medewerkers tegelijkertijd. Daardoor leerde ik al snel mensen kennen uit allerlei landen en vakgebieden. Binnen korte tijd werd ik onderdeel van zowel

mijn projectteam als de vele sociale activiteiten die CERN organiseert. Dat maakte de overgang naar een internationale werkomgeving een stuk gemakkelijker.

Mijn werkzaamheden in de praktijk

Mijn dagelijkse werkzaamheden bestaan uit een combinatie van ontwerp, analyse en experimenteel onderzoek. Binnen MACBETH houd ik mij voornamelijk bezig met het ontwikkelen van een meetsysteem waarmee de vacuümkwaliteit van het uiteindelijke prototype kan worden gekwalificeerd. Daarbij moet eerst worden vastgesteld aan welke voorwaarden een testopstelling moet voldoen om betrouwbare metingen mogelijk te maken. Hiervoor ontwerp ik een complete vacuümopstelling waarin alle benodigde componenten zijn opgenomen. Voordat het prototype zelf getest kan worden, moeten er eerst achtergrondmetingen worden uitgevoerd zonder testobject (Figuur 2). Op die manier kan nauwkeurig worden bepaald welke bijdrage afkomstig is van de meetopstelling zelf en welke bijdrage daadwerkelijk door de testbuis wordt veroorzaakt. De opstelling bestaat onder meer andere uit een Residual Gas Analyzer (RGA), verschillende drukmeters, een turbomoleculaire pomp, een orifice voor conductiebepaling en de benodigde voorzieningen voor bake-out.

Daarnaast werk ik aan de ontwikkeling van geschikte procedures voor heliumlekdetectie voor het MACBETH prototype. Hierbij wordt onderzocht hoe de metingen reproduceerbaar kunnen worden uitgevoerd om te zorgen dat we aan acceptatiecriteria voldoen. Ook organiseer ik kwalitatieve testen om de reinigbaarheid van de buizen te beoordelen. Hiervoor worden onder meer FT-IR- en XPS-metingen gebruikt, ook op testsamples (100 mm x100 mm voor FT-IR en 10 mm x 10 mm voor XPS). Met FT-IR kan worden vastgesteld welke organische vervuiling nog aanwezig is op het oppervlak, terwijl XPS informatie geeft over de chemische samenstelling van de bovenste atoomlaag. Deze technieken maken het mogelijk verschillende reinigingsprocedures objectief met elkaar te vergelijken. Uiteindelijk worden alle resultaten samengebracht in een eindrapport waarmee kan worden beoordeeld of de buis aan alle voorwaarden voldoet en kan er een kostenplaatje worden gemaakt.

Ook aan de pilotsector heb ik een bijdrage geleverd. Voordat de zes afzonderlijke secties werden samengebouwd tot één installatie van 36 meter, ondersteunde ik de heliumlektesten van de individuele buizen. Elke geleverde buis moest voldoen aan een maximale lekwaarde van minder dan $1{\cdot}10^{-10}$ mbar·l/s helium. Tijdens deze metingen werd de buis afgesloten en onder vacuüm gebracht, waarna helium langs alle lassen en verbindingen werd aangebracht. Met behulp van een heliumlekdetector konden vervolgens mogelijke lekken worden opgespoord. Na aantonen van lekdichtheid werden de buizen zorgvuldig gereinigd en verpakt in een schone omgeving om nieuwe vervuiling te voorkomen. Vervolgens werden de secties, in een schone omgeving, uitgelijnd en met tijdelijke hechtlassen gefixeerd. Nadat de schone tent was verwijderd, konden de definitieve lassen worden aangebracht. Vervolgens werden twee secties van elk 18 meter in het ondersteuningsframe gehesen, nauwkeurig uitgelijnd en aan elkaar gelast. Daarna konden vacuümpompen, instrumentatie en thermische isolatie worden geïnstalleerd en begon het daadwerkelijke vacuümtesten van de volledige installatie (Figuur 3).

Werken in een internationale technische omgeving

Naast de techniek is vooral de internationale samenwerking bijzonder. Dagelijks werk ik samen met collega's uit uiteenlopende disciplines en landen. Binnen de projecten werken werktuigbouwkundigen, materiaalkundigen, vacuümspecialisten, softwareontwikkelaars, natuurkundigen en technici gezamenlijk aan dezelfde technische uitdagingen. Juist die diversiteit maakt het werk interessant. Iedereen kijkt vanuit zijn eigen expertise naar hetzelfde probleem, waardoor regelmatig nieuwe inzichten ontstaan. Tegelijkertijd vraagt deze manier van samenwerken om heldere communicatie.

Wat mij daarnaast opvalt, is dat CERN veel ruimte biedt om verantwoordelijkheid te nemen. Ook als relatief jonge engineer krijg je de mogelijkheid om zelfstandig onderdelen van een project uit te werken en resultaten te presenteren aan collega's uit verschillende vakgebieden. Dat maakt het werk niet alleen technisch uitdagend, maar zorgt ook voor een snelle professionele ontwikkeling.

Ook buiten werktijd is CERN een bijzondere omgeving. Dankzij de internationale gemeenschap worden veel sport- en sociale activiteiten georganiseerd. Afgelopen winter heb ik bijvoorbeeld vrijwel ieder weekend geskied met de CERN Ski Club. Onder begeleiding van ervaren vrijwilligers worden skitochten georganiseerd voor verschillende niveaus, waardoor je gemakkelijk nieuwe mensen leert kennen.

In de zomer verplaatst het sociale leven zich meer naar het Meer van Genève en de omliggende Alpen. Wandelen, mountainbiken en watersport zijn populaire activiteiten, waardoor de omgeving van CERN minstens zo aantrekkelijk is als het werk zelf (Figuur 5). De combinatie van wetenschappelijk onderzoek, internationale samenwerking en een actieve sociale omgeving maakt het werken bij CERN tot een unieke ervaring. Daarmee leer ik niet alleen veel over vacuümtechnologie, maar ontwikkel ik mij ook als engineer binnen grootschalige internationale onderzoeksprojecten.



Figuur 5. Tijdens een mooie wandeling, op een hoogte van 2.200 meter. (Foto: privé)

HIDEN TDSLab SERIES

HIDEN ANALYTICAL

From Thin Films to Fusion Materials

Thermal desorption mass spectrometry for advanced materials under UHV

Study gases and isotopes released from advanced materials during controlled heating. The **Hiden TDSLab Series** combines precision temperature control, low-background ultra-high-vacuum analysis and triple-filter quadrupole mass spectrometry for sensitive TDS/TPD measurements.

THIN FILMS & COATINGS

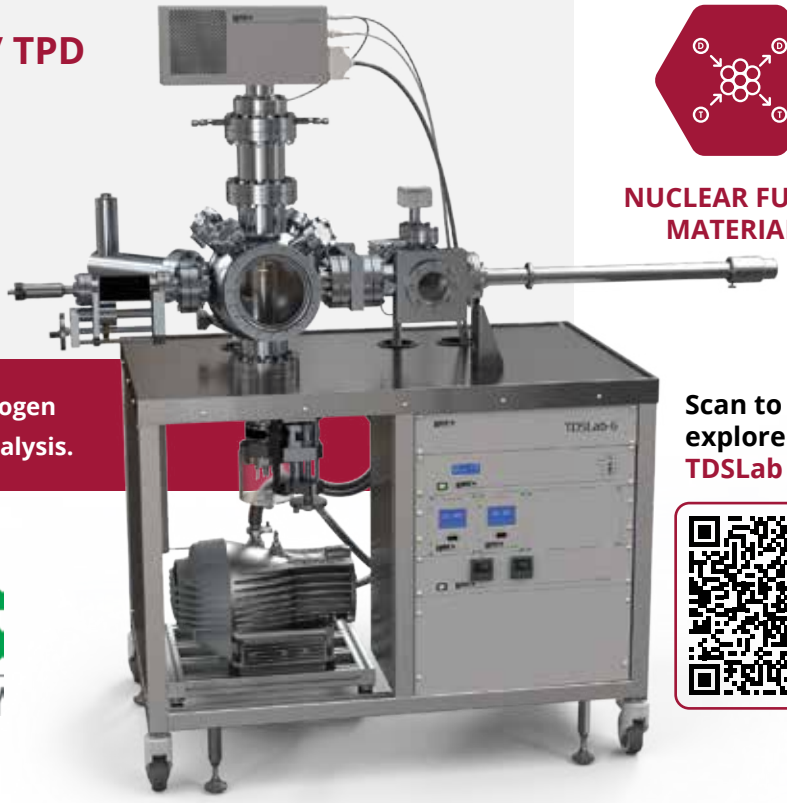
HYDROGEN IN METALS

SEMICONDUCTORS & PHOTOVOLTAICS

NUCLEAR FUSION MATERIALS

PURPOSE-BUILT FOR UHV TDS / TPD

- Ultra-clean low background analysis
- Controlled sample heating up to 1000 °C
- Triple-filter quadrupole mass spectrometry
- Integrated TPDsoft control & analysis



Configurations for sensitive materials and hydrogen studies to ultra-high-resolution light-isotope analysis.

Scan to explore the TDSLab Series

Local sales & support across the **Benelux**

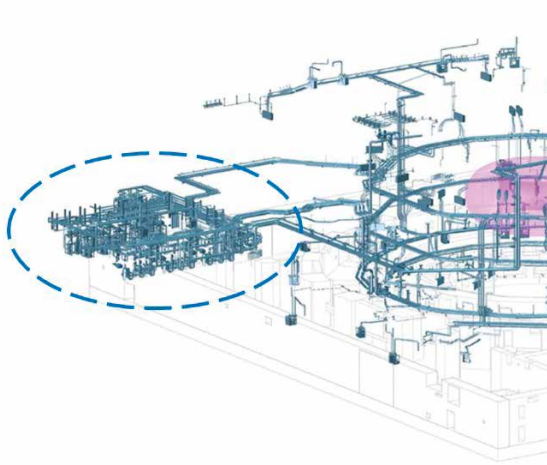
BENELUX PROCESS
PROCESS & VACUUM TECHNOLOGY

Represented by **www.benelux-process.com**

Trusted in research for over 40 years.

HidenAnalytical.com

Ontwerpoplossingen van US ITER



Figuur 1. Vacuümscope van de US binnen het ITER-project, met de RPS links in blauw omcirkeld.

Het voorvacuümpompsysteem voor het internationale fusieproject ITER is ontwikkeld door het US ITER vacuum systems team, gemanaged door Oak Ridge National Laboratory in Tennessee (VS). Dit team werkt al vier jaar aan de ontwikkeling van een mechanische pompoplossing voor de regeneratie van de torus- en neutrale-bundel-cryopompen. US ITER heeft testcampagnes uitgevoerd, de werking geoptimaliseerd en functionele analyses voltooid om de haalbaarheid van het concept aan te tonen. De details van dit werk worden hier beschreven en laten zien dat een mechanische pompoplossing een veelbelovende optie is voor ITER en commerciële fusie.

Auteurs
Ainsley Hart (hoofdauteur) is interim-manager van het US ITER vacuum systems team bij het Oak Ridge National Laboratory, Tennessee (US), nadat hij enkele jaren als lead vacuum systems engineer heeft gewerkt. Jared Tippens (co-auteur) is engineer bij het team.

www.ornl.gov/iterinfo

Inleiding

ITER is een internationaal fusieproject met zeven leden: de Europese Unie, India, Japan, de Volksrepubliek China, de Republiek Korea, de Russische Federatie en de Verenigde Staten (US). De Europese Unie is gastheer voor de ITER-faciliteit, die zich in Cadarache, Frankrijk, bevindt.

ITER zal de wetenschappelijke basis leggen voor praktische fusie door een zelfonderhoudend brandend plasma van maximaal 500 MW te produceren en te beheersen gedurende honderden seconden in de tokamak (de torusvormige machine die een krachtig, extern gegenereerd magnetisch veld gebruikt om het plasma op te sluiten). Daarnaast zal ITER een waardevolle R&D-faciliteit voor fusie zijn, met flexibele operationele mogelijkheden, uitgebreide meetinstrumenten en testfaciliteiten.

US ITER is verantwoordelijk voor de twaalf technische systemen, waaronder het voorvacuümpompsysteem (RPS, zie het kader voor de afkortingen) en het vacuümhulpsysteem (VAS), die de US aan ITER bijdragen. US ITER wordt gemanaged door Oak Ridge National Laboratory in Tennessee, met partnerlaboratoria Princeton Plasma Physics Laboratory in New Jersey en Savannah River National Laboratory in South Carolina.

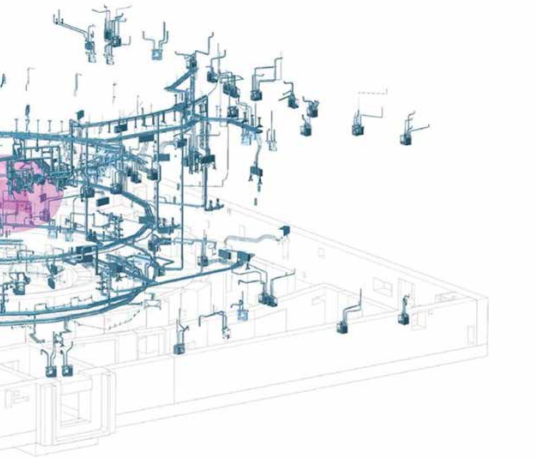
Afkortingen

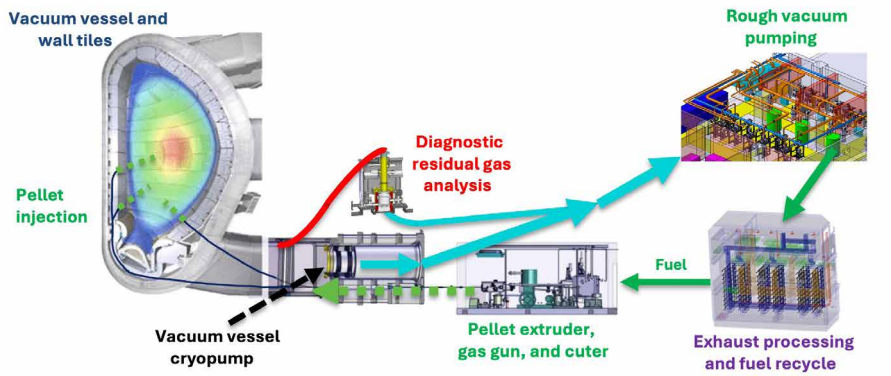
CDB	cryogenic distribution box / cryogene verdeelkast
CRS	cryopomp regeneration system / cryopompregeneratiesysteem
CVC	cryog. viscous-flow compressor / cryog. viskeuze-stromingscompressor
CVD	condensable vapor device / condenseerbare-dampgenerator
NBCP	neutral beam cryopump / neutrale-bundel-cryopomp
RPS	roughing pump system / voorvacuümpompsysteem
TCP	torus cryopump / torus-cryopomp
TEP	tokamak exhaust processing / tokamak-uitlaatgasverwerking
VAS	vacuum auxiliary system / vacuümhulpsysteem

Overzicht van het RPS

US ITER is verantwoordelijk voor het ontwerp, de fabricage en de levering van zowel het RPS als het VAS. Het RPS is een ondersteunend systeem dat de apparatuur omvat die zich bevindt in de vacuümpompruimte in het tritiumgebouw van ITER, zoals weergegeven in Figuur 1.

De RPS beschikt over actieve pompsystemen die geschikt zijn voor het verpompen van tritiumhoudend gas in de ITER-brandstofcyclus vanuit het vacuümvat (840 m^3) en de neutrale bundel (605 m^3). De RPS heeft ook niet-actieve pompsystemen, die





Figuur 2. De ITER-brandstofcyclus.

Tabel 1. Gassoorten die vrijkomen tijdens verschillende regeneraties van cryopompen.

Gassoort	TEP-invoertype
Q_2, He, Ne	Waterstof-type
Ar, N_2, O_2, CQ_4, CO_2, NQ_3, Q_2O	Lucht-type
Q_2, He, Ne, Ar, N_2, O_2, CQ_4, CO_2	Actieve multi-gassoorten
NQ_3, Q_2O	Water-type

geen tritiumhoudende gasstromen zullen verwerken en zijn ontworpen voor het verpompen van de cryostaat (8.500 m^3) en andere volumes. Naast deze pompsystemen beschikt de RPS ook over een gasdistributiesysteem dat zorgt voor ontluchting, spoeling en overdruk om lekken op te sporen en inerte omgevingen te creëren voor kwetsbare apparatuur die gevoelig is voor lekkage, evenals apparatuur die een inerte omgeving nodig heeft om vonkvorming te voorkomen. Diverse leidingen, nutsvoorzieningen en vacuümapparatuur ondersteunen de werking van deze voorvacuümpompen in de gehele ITER-vacuümpompruimte.

Het cryopompregeneratiesysteem (CRS) is een cruciaal systeem binnen de RPS voor de ITER-brandstofcyclus. Dit is een actief systeem dat essentieel is voor plasmaoperaties, omdat het de regeneratie van de torus-cryopompen (TCP's) en neutrale-bundel-cryopompen (NBCP's) mogelijk maakt. Zonder de regeneratie van de TCP's en NBCP's zouden de cryopompen de lage druk in het vacuümvat niet kunnen handhaven, noch in de neutrale bundel, waardoor het plasma niet in stand zou kunnen worden gehouden. De regeneratie van de TCP's is het meest veeleisende scenario voor CRS en daarom het onderwerp van dit artikel.

Overzicht van de brandstofcyclus

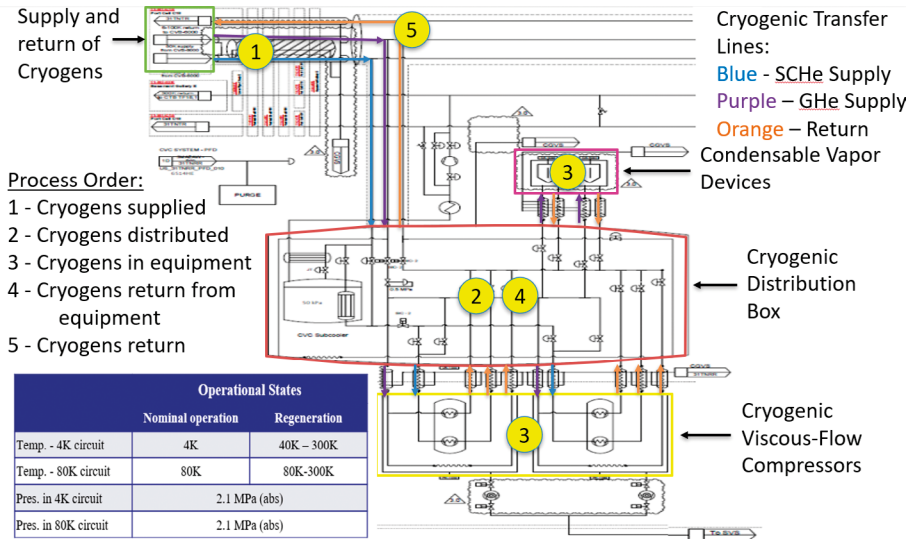
De ITER-brandstofcyclus begint met het injecteren van tritium- en deuteriumbrandstofpellets in het plasma via het pelletinjectiesysteem. De plasmagassen worden afgevoerd via zes laaggelegen poorten die verbonden zijn met zes TCP's. Tijdens de werking pompen slechts vier TCP's tegelijkertijd in het vacuümvat. De overige twee staan in stand-by of regenereren wanneer ze niet in gebruik zijn. De RPS-pompsystemen evacueren de TCP's tijdens het regeneratieproces en transporteren het gas vervolgens naar het systeem voor de tokamak-uitlaatgasverwerking (TEP). Ten slotte verwerkt het TEP-systeem het geregenereerde gas, waarbij waterstofisotopen worden gescheiden van andere gascomponenten. De gassen worden vervolgens verder verwerkt voordat ze teruggevoerd worden naar de pelletinjectie voor de vorming van nieuwe pellets. Het hele proces is te zien in Figuur 2.

De TCP's pompen gas in het vacuümvat totdat het verzadigd is met isotopen en verschillende gascomponenten, waarna het geregenereerd moet worden. De te regenereren TCP wordt geïsoleerd van het vacuümvat en verwarmd tot 100, 300 of 470 K. De verschillende temperaturen zorgen voor het vrijkomen van verschillende gascomponenten. De drie regeneraties staan ook bekend als waterstof-type regeneratie (100 K), lucht-type regeneratie (300 K) en water-type regeneratie (470 K). De gascomponenten die bij elk van deze regeneraties vrijkomen, zijn te vinden in Tabel 1. Al deze regeneraties bevatten waterstofisotopen (Q).

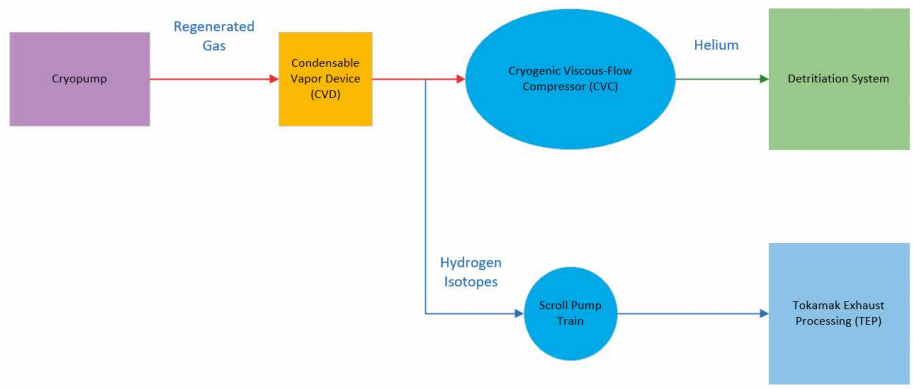
Het meest veeleisende scenario voor het RPS is de regeneratie van de TCP's voor de waterstof-type regeneratie. Het is essentieel voor het RPS om een TCP te regenereren, d.w.z. dat de geregenereerde gassen binnen 350 seconden tot 10 Pa moeten worden geëvacueerd voor koeling. Deze regeneratie vindt plaats wanneer het brandende plasma in stand wordt gehouden via de brandstofcyclus. Een TCP wordt als vol beschouwd wanneer deze 23 mol bevat, wat resulteert in niet meer dan 70 gram tritium.

Geschiedenis van het cryopompregeneratiesysteem

Oorspronkelijk was een cryogeen systeem bedacht voor de regeneratie van de cryopompen. US ITER ontwikkelde de cryogene oplossing tot een voorlopig ontwerp dat bestond uit meerdere unieke cryogene apparatuuronderdelen. In het oorspronke-



Figuur 3. Stroomschema van cryogene vloeistoffen in het cryogene systeem. Zie de tekst voor toelichting op de nummers.



Figuur 4. Stroom van geregenereerd gas in de cryogene oplossing.

lijke ontwerp werden superkritisch helium (SCHe) en gasvormig helium (GHe), weergegeven als nummer 1 in Figuur 3, toegevoerd aan de cryogene verdeelkast (CDB), gelegen bij nummer 2. De CDB nam vervolgens het GHe op en voerde dit naar de condenseerbare-dampgenerator (CVD), weergegeven als nummer 3. De CDB zou zowel het SCHe als het GHe opnemen en toevoeren aan de cryogene viskeuze-stromingscompressoren (CVC's), weergegeven als nummer 3. Deze cryogene vloeistoffen zouden vervolgens terugkeren naar de CDB, nummer 4, en uiteindelijk via de transportleidingen, weergegeven als nummer 5, worden teruggevoerd.

De geregenereerde gasstroom zou vervolgens door de verschillende cryogene apparaten stromen voordat deze naar het TEP-systeem of het detritiatiesysteem werd geleid, zoals weergegeven in Figuur 4. Het geregenereerde procesgas van de TCP's zou vervolgens door de CVD's worden gepompt, waar waterdamp en andere condenseerbare stoffen zouden worden verwijderd. De CVC zou fungeren als een cryopomp om dit proces aan te drijven, met als extra functie het scheiden van de helium- en waterstofisotopen [1]. De CVD's werden geplaatst om de stroomafwaartse apparatuur te beschermen, waaronder de CVC en de bijbehorende scrollpompen. De waterstofisotopen zouden bevriezen aan de binnenwanden van de CVC, terwijl het helium naar het detritiatiesysteem zou worden geleid. Zodra de CVC 70 gram tritium had verzameld, zou regeneratie nodig zijn. De CVC zou de waterstofisotopen verwarmen en vrijgeven aan het TEP-systeem.

Tijdens een voorlopige ontwerpbeoordeling voor dit oorspronkelijke cryogene systeem werd de noodzaak tot scheiding van de helium- en waterstofisotopen geevalueerd. Uit deze analyse concludeerde het Amerikaanse vacuum systems team dat deze functie niet nodig was en dat al het gas dat vrijkwam uit de TCP's tijdens de regeneratie naar het TEP-systeem moest worden geleid om tritiumverontreiniging in andere systemen te voorkomen.

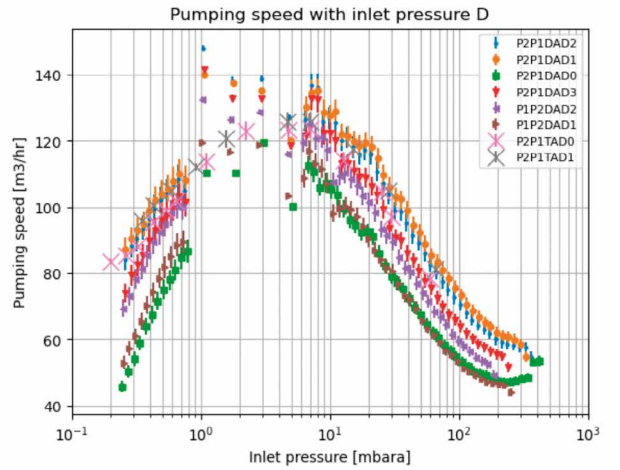
Deze bevinding leidde tot de zoektocht naar een mechanische pompoplossing ter vervanging van het op maat gemaakte cryogene systeem. Dit werd grotendeels ingegeven door de recente ontwikkeling van tritiumcompatibele voorvacuümpompen die specifiek voor deze toepassing zijn ontworpen. Het team heeft daarna een mechanische pompoplossing ontwikkeld op basis van deze tritiumcompatibele voorvacuümpompen die nog steeds voldoet aan de timingvereisten van de cryogene oplossing, wat resulteert in een betrouwbaarder en beter onderhoudbaar systeem.

Karakterisering van de pomp

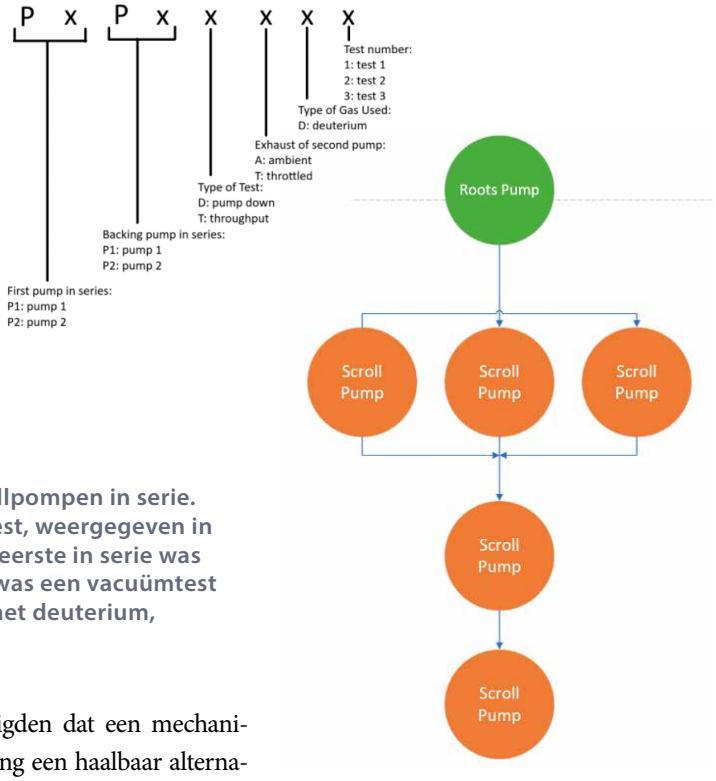
US ITER heeft samen met de UK Atomic Energy Authority een testcampagne voor waterstofkarakterisering voltooid om dubbelwandige, volledig metalen Eumeca 150 m^3/uur scrollpompen voor deze toepassing te valideren. Het doel van de tests was om de pompcurves van de scrollpompen te bepalen bij het verpompen van lichte gassoorten, met name waterstofisotopen.

Uit de tests bleek dat de uiteindelijk haalbare druk voor een enkele pomp met deuterium 20.000 Pa bedroeg, met een maximale pompsnelheid van 25 m^3/u. Met twee pompen in serie was de uiteindelijk haalbare druk echter 2,7 Pa en de maximale pompsnelheid 140 m^3/u. Deze gegevens voor twee pompen in serie met deuterium worden weergegeven in Figuur 5.

Voor protium was het gas te licht om effectief te pompen met een enkele scrollpomp; echter, toen de pompen in serie werden geschakeld, werd een uiteindelijke



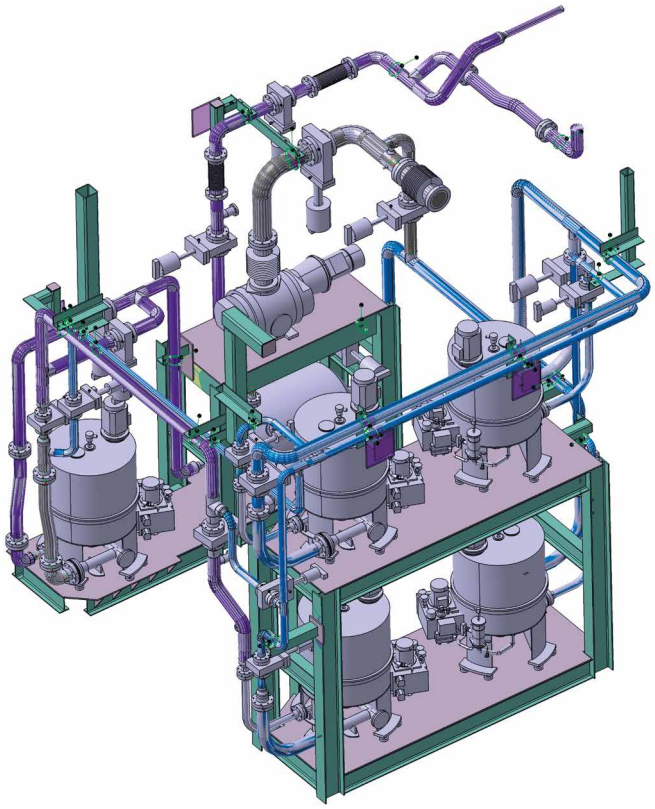
Figuur 5. Deuteriumtest van twee Eumeca 150 m³/uur scrollpompen in serie. Rechts de legenda voor de verschillende tests. De eerste test, weergegeven in blauw (P2P1DAD2), betekent bijvoorbeeld dat pomp 2 als eerste in serie was geschakeld en ondersteund werd door pomp 1. Deze test was een vacuümtest waarbij de pomp werd leeggepompt tot omgevingsdruk met deuterium, en was de tweede test met deze configuratie.



Figuur 6. Processtroomschema van de hoofdconfiguratie van de CRS-pomptreinen (exclusief bypasses).

druk van 139 Pa bereikt met een maximale pompsnelheid van 35 m³/uur. Met een 50-50% mengsel van protium en deuterium en de pompen in serie werd een uiteindelijke druk van 50 Pa bereikt, met een maximale pompsnelheid van 108 m³/uur.

Deze tests bevestigden dat een mechanische pompoplossing een haalbaar alternatief was voor de cryogene oplossing voor het verpompen van het procesgas van ITER na een cryopompregeneratie. De volgende stap was selectie van een geoptimaliseerde configuratie van deze gevalideerde pompen die aan de prestatieparameters kon voldoen zonder de beschikbare ruimte voor de apparatuur te overschrijden.



Figuur 7. 3D-model van de CRS-pompinstallatie; rechts: vier scrollpompen; links: één Roots-pomp, een buffertank en één scrollpomp.

Pomptreinen van het CRS

Het CRS (cryopompregeneratiesysteem) heeft drie pomptreinen voor de regeneratie van de TCP's en de NBCP's. De CRS-treinen maken specifiek gebruik van een Pfeiffer Okta1500 GM Roots-pomp, ondersteund door vijf Eumeca 150 m³/uur scrollpompen; beide typen zijn gevalideerd als tritiumcompatibel. Figuur 6 toont de configuratie van elke CRS-pomptrein.

Om te valideren dat de mechanische pompoplossing kon voldoen aan de timingvereisten voor de regeneratie van de ITER-cryopompen, werd een berekening uitgevoerd. Het US team werkte met vacuümtechnologiebedrijf Busch Group samen om een enkele pompcurve te ontwikkelen voor de CRS-pompinstallatie die in Figuur 6 wordt weergegeven. Deze pompcurve werd voltooid voor protium en deuterium, en de configuratie in Figuur 6 werd als de meest efficiënte beschouwd. Een alternatieve configuratie met drie parallelle scrollpompen, ondersteund door twee parallelle scrollpompen, werd overwogen, maar de ondersteunende capaciteit was kleiner dan in de configuratie in Figuur 6. Er werd vastgesteld dat meer scrollpompen in serie de pompcapaciteit van de pompinstallatie vergrootten. De Roots-pomp, ondersteund door een 3-1-1-configuratie van scrollpompen, zou ervoor zorgen dat aan de timingvereisten werd voldaan, zonder dat de Roots-pomp oververhit raakte of de scrollpompen overbelast raakten. De 3D-weergave van de CRS-pompinstallatie is te zien in Figuur 7.

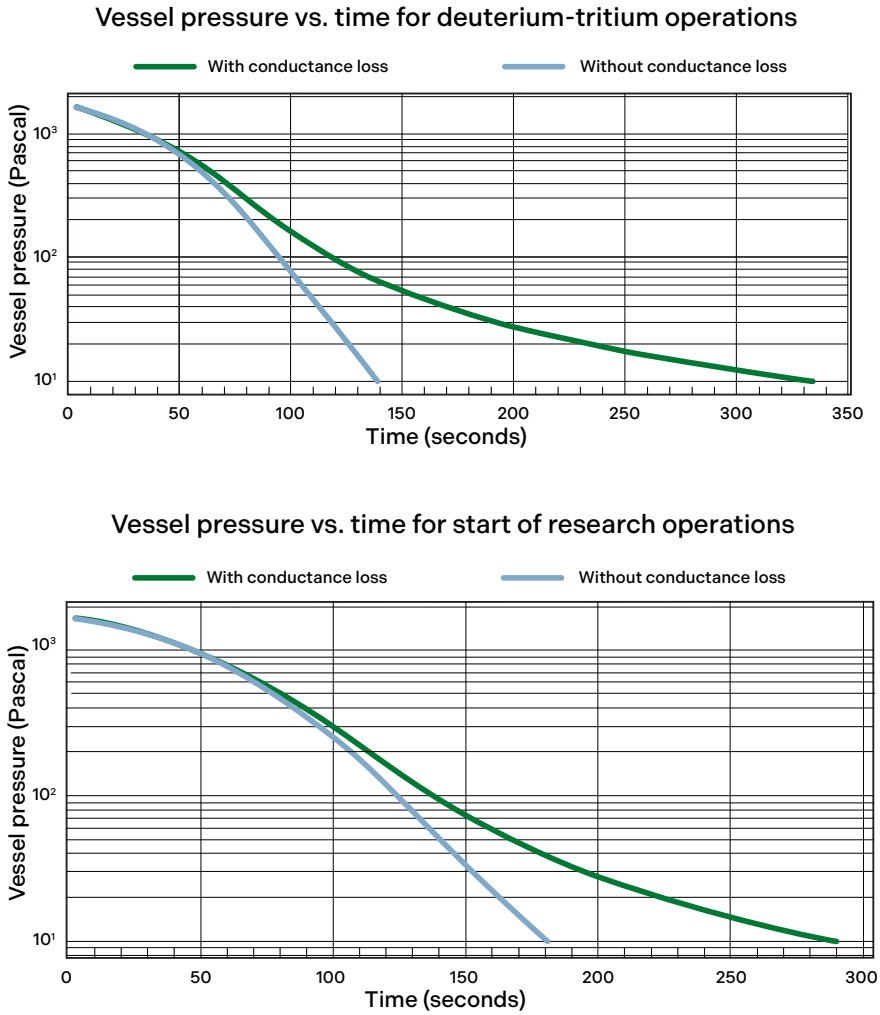
Vacuümanalyse

Het Amerikaanse team heeft het leidingsysteem voor het regeneratiepad van de verst gelegen TCP naar de CRS-cellen ingevoerd in de VacTran 3-software voor vacuümberekeningen. Elke TCP heeft een volume van 15 m^3, en de leidingen in het regeneratiepad hebben een volume van 13,5 m^3. Er werd aangenomen dat de beginhoeveelheid regeneratiegas gelijk is aan de maximale voorraad van de cryopomp van 23 mol, oftewel 50 kPa·m^3 in elke TCP. Er werd berekend dat de begindruk in de TCP, bij verhitting voor waterstof-type regeneratie, 3.333 Pa bedraagt. Na verhitting wordt een afsluitklep geopend tussen de TCP en het regeneratieleidingwerk, waardoor de druk tussen de twee volumes gelijk wordt. Wanneer deze druk gelijk is aan het geleidingsvolume van de leidingen, daalt de druk tot 1.754 Pa.

De CRS-pompen moeten de 50 kPa·m^3 regeneratiegas binnen 350 seconden naar 10 Pa pompen tijdens deuterium-tritium-operaties. Voor deze eerste test werd de deuteriumcurve gebruikt. Tijdens operatie zal het gas bestaan uit een deuterium-tritiummengsel in de scenario's met de hoogste eisen (hoge eisen vanwege de druk die binnen de tijdslimiet moet worden bereikt). Er werd vastgesteld dat twee CRS-pompsystemen een TCP in 335 seconden kunnen evacueren, waarmee aan de eis van 350 seconden werd voldaan. Deze simulatie is weergegeven in Figuur 8a. In dit scenario moest rekening worden gehouden met geleidingsverlies, aangezien de TCP's en de pompsystemen ver van elkaar verwijderd zijn en het geleidingsvolume ongeveer 13 m^3 bedraagt.

Het team voerde deze simulatie ook uit met de protiumpompcurve om te bepalen hoe lichter gas presteert, aangezien protium het belangrijkste gas zal zijn dat wordt gebruikt tijdens de start van de onderzoeksactiviteiten bij ITER. Deze start zal een lagere tijdsvereiste kennen om de pulsen van 300 seconden te kunnen volhouden, maar er bestond de vrees dat de regeneratie een beperkende factor zou worden. Deze simulatie toonde aan dat het wegpompen van protium in 290 seconden was voltooid, zoals weergegeven in Figuur 8b, wat ook voldoet aan de hoge timingvereiste.

De reden voor de snellere afvoertijden met protium is het geleidingsverlies van het regeneratiepad. Omdat protium een lagere viscositeit heeft, wordt een snellere afvoertijd verwacht. Dit zal compleet moeten worden getest en geëvalueerd wanneer het systeem volledig in gebruik wordt genomen op de ITER-locatie.



Figuur 8. Evacuatie van een TCP van 1.754 Pa naar 10 Pa.
Boven: deuterium, in 335 seconden.
Onder: protium, in 290 seconden.

Conclusies en toekomstig werk

US ITER heeft een definitieve ontwerpbeoordeling van het CRS met de ITER-organisatie afgerond en het Amerikaanse vacuum systems team werkt nu samen met hun collega's van het Amerikaanse TEP-team om de mechanische pompoplossing te integreren in de ITER-brandstofcyclussimulatie. Aangezien er geen verandering is in de timingvereisten voor regeneratie, wordt verwacht dat de integratie eenvoudig zal verlopen. Uiteindelijk is bewezen dat een mechanische pompoplossing haalbaar is, kan voldoen aan de eisen van ITER en zal bijdragen aan de ontwikkeling van kernfusie als commercieel haalbare energiebron.

Referenties

[1] K. Choukekar, *et al.*, "Overview of design developments for Condensable Vapor Devices for ITER", *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 1344 (2026) 012066.

Dankwoord
Het voorvacuümpompsysteem voor de ITER-tokamak is ontwikkeld door diverse leden van US ITER. Binnen het Amerikaanse vacuum systems team was Ainsley Hart de lead engineer voor het CRS en werkte hij nauw samen met Jared Tippens om dit ontwerp volledig te ontwikkelen. Ketan Choukekar was de lead engineer voor de CVD's binnen RPS; John Clark was de system engineer voor alle RPS-subsystemen; Gerardo Gallo was de lead engineer voor de onderling verbonden leidingen, actieve en niet-actieve skids van RPS; en Charles Smith was zowel manager als verantwoordelijk functionaris voor RPS bij US ITER. Zij werden bijgestaan door andere Amerikaanse collega's, waaronder Sarah Smith, die hielp bij het ontwikkelen van het conceptuele cryogene ontwerp, en Lisa Batsch-Smith en David vanderVeen van het Amerikaanse instrumentatie- en besturingsteam (I&C), die de I&C-ontwerpen voor de RPS-subsystemen ontwikkelden.

Externe partners die essentieel waren om aan te tonen dat het CRS aan de eisen kon voldoen, waren onder meer de United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA) en de Busch Group.

Opmerking
Dit artikel is geschreven door UT-Battelle, LLC, onder contract DE-AC05-00OR22725 met het Amerikaanse Ministerie van Energie (DOE). De Amerikaanse overheid behoudt zich het recht voor en de uitgever erkent door acceptatie van het artikel voor publicatie dat de Amerikaanse overheid een niet-exclusieve, betaalde, onherroepelijke, wereldwijde licentie behoudt om de gepubliceerde vorm van dit manuscript te publiceren of te reproduceren, of anderen toe te staan dit te doen, voor doeleinden van de Amerikaanse overheid. Het DOE zal openbare toegang bieden tot deze resultaten van federaal gefinancierd onderzoek in overeenstemming met het DOE Public Access Plan.

www.energy.gov/doe-public-access-plan

Word nu NEVAC-lid

en ontvang driemaal per jaar het NEVAC blad.

Andere voordelen

Contact met vakgenoten
Vakexcursies
Symposia

Voor bedrijfsleden
Vermelding op de NEVAC-website

Kosten per jaar

Gewone leden: € 35,-
Studenten en promovendi: € 5,-
Bedrijfsleden (naar # medewerkers, mw):
- klein (< 20 mw): € 150,-
- midden (≥ 20 en < 100 mw): € 200,-
- groot, incl. univ/RTO (≥ 100 mw): € 350,-

U kunt zich aanmelden op
www.nevac.nl

Peter Hermans (PEO, FEI, TFS)

Vacuümpionier en -troubleshooter voor elektronenmicroscopen

Na een gedegen opleiding vacuümtechniek bij het Philips Natlab kwam Peter Hermans terecht bij Philips Electron Optics in Eindhoven. Daar pionierde hij met vacuüm en reinheid voor elektronenmicroscopen. Hij ging er nooit meer weg – al veranderde de bedrijfsnaam wel, naar eerst FEI Company en later Thermo Fisher Scientific – en groeide uit tot troubleshooter en vraagbaak voor monteurs en ontwerpers. Zoals een collega het omschrijft: "Peter ademt vacuüm."

Zijn vader was in dienst bij Philips en zijn broer ook, maar Peter Hermans zelf zou nooit bij Philips gaan werken. Hij had gezien waar senior werkte en dat sprak de jonge Peter absoluut niet aan. Dus ging hij na afronding van de MTS Werktuigbouwkunde ergens anders werken, bij bussenbouwer Berkhof in Valkenswaard (later opgegaan in VDL Bus & Coach). Toen hij het daar na drie jaar wel had gezien, zag hij in de Philips Koerier een vacature staan voor vacuümmonteur bij de proeffabriek voor halfgeleiders. "Ik had geen idee wat het inhield, maar besloot wel te solliciteren." Hij werd aangenomen en trad zo in 1986 toch nog in dienst bij Philips. Voor zijn opleiding tot vacuümmonteur werd hij meteen naar het Natlab gestuurd, dat toen een grote afdeling Vacuümtechniek (VAT) had. Want vacuüm was belangrijk voor het concern, van gloeilampen en stofzuigers tot beeldbuizen en halfgeleiders.

Fantastische opleiding bij Natlab

Bij het Natlab stond allerlei apparatuur die met vacuüm werkte, bijvoorbeeld voor sputteren en opdampen. Hermans leerde er hoe je dergelijke apparatuur moest onderhouden en bouwen. "Ik heb er veel RGA- en lektestmetingen uitgevoerd." In het applicatielab van VAT maakte hij kennis met allerlei toepassingen. Ook werd hij ingezet voor de aanleg van leidingen voor vacuüminfrastructuur en mocht hij mee op bezoek bij allerlei Philips-fabrieken. Hij volgde vacuümcursussen op MBO- en HBO-niveau en kreeg de ruimte om de HBO-opleiding Werktuigbouwkunde te volgen. Zo legde hij een stevige basis voor zijn vacuümcarrière. "Het was fantastisch hoe je in die tijd bij het Natlab zo'n brede opleiding kreeg en overal een kijkje in de keuken kon nemen." Daar werd ook het 'onderwijszaadje' bij Hermans zelf geplant. Zijn mentor Theo Bisschops op het applicatielab vroeg hem om zelf een cursus vacuümtechniek te verzorgen.

Drijvende kracht achter het onmisbare vacuüm

Zijn loopbaan kreeg een beslissende wending toen in 1996 Philips Electron Optics (PEO) naar het Natlab belde. Ze hadden een probleem met het vacuüm in hun elektronenmicroscopen. Hermans werd eropuit gestuurd om het probleem op te lossen. Hij slaagde daarin en zou er niet meer weggaan, al veranderde de bedrijfsnaam wel, in eerst FEI (in 1997) en later Thermo Fisher Scientific (TFS,



Het team van het applicatielab van de afdeling Vacuümtechniek bij het Philips Natlab. Peter Hermans staat middenachter, met voor hem zijn mentor Theo Bisschops. (Bron: Beschrijving van Afdeling Vacuümtechniek (VAT), 1993)



Peter Hermans in de entreehal van Thermo Fisher in Eindhoven bij een van de eerste elektronenmicroscopen van Philips (d.d. 1956).

in 2016) door een fusie, respectievelijk overname. Eindhoven bleef de locatie voor de high-end microscopen en Hermans werd er een van de drijvende krachten achter het onmisbare vacuüm. Want elektronenmicroscopen zijn echte vacuümsystemen; (sub)atmosferische omstandigheden zijn uit den boze. Elk gasmolecuul, elk deeltje verontreiniging zorgt immers voor verstrooiing van de elektronenbundel en dus verstoring van de beeldvorming; op het sample onder de bundel komen ongewenst deeltjes zelfs in beeld en dat is al helemaal niet de bedoeling.

Van natte naar droge pompen

In de begintijd was het echt pionieren met vacuüm, vertelt Hermans. “We hadden een team van drie technisch assistenten en ik was als enige verantwoordelijk voor vacuüm en reinheid. Om het vacuüm schoner te krijgen, moesten we overgaan van ‘natte’ naar ‘droge’, olievrije pompen. Dat was niet makkelijk, want de oude garde zag er niks in.” Er was echter geen ontkomen aan en zo ging PEO over van draaischuif- naar scroll- en membraanpompen en van oliediffusie- naar turbopompen. In de loop der jaren is het vacuüm flink opgeschroefd. “Boven in de kolom, bij de elektronenbron, is het 10^{-10} mbar en beneden bij het sample is het nu 10^{-8} mbar. Dat laatste was vroeger 10^{-6} mbar, dus zijn we een factor 100 beter en schoner geworden.”

Problemen oplossen in de fabriek

Hermans heeft zelf een flinke bijdrage geleverd aan de ontwikkelingen op vacuümgebied. “Wat ik zelf altijd het mooiste heb gevonden, is troubleshooten in de fabriek. Monteurs helpen bij het vinden van de oorzaak van problemen. In de loop der tijd zijn er steeds meer modules aan de kolom toegevoegd, zoals camera’s en andere detectoren. Dat bracht telkens weer nieuwe problemen met zich, zoals virtuele lekken.” Een belangrijke verbetering die mede op aangeven van Hermans werd ingevoerd, was de toepassing van metalen afdichtingen in plaats van FKM-ringen (een fluorelastomeer rubber). “FKM geeft problemen vanwege uitgassing en permeabiliteit.”

Trots op reinigingsstraat

Verontreiniging is voor Hermans altijd een centraal thema gebleven. Voorkomen is natuurlijk het beste; hij schreef bijvoorbeeld een training cleanroomgebruik voor de monteurs die de assemblage doen. Reiniging bleef nodig en ook dat was zijn verantwoordelijkheid. Voor een beter vacuüm moest echter ook de reinheidsgraad omhoog. Zo is hij trots op de reinigingsstraat die hij heeft opgebouwd. Het begon ooit met onderdompelen in freon als hele reiniging, wat nu verboden is. “Nu hebben we een wasstraat die wel acht baden bevat, voor reinigen met zeepachtige stoffen, oplosmiddelen en ook water om te spoelen, ondersteund door ultrasone reiniging en luchtdrogers.”

Het is belangrijk dat niet alleen de eigen monteurs schoon werken en goed reinigen; het begint al bij de toeleveranciers voor onderdelen en modules. “Vroeger waren er dat maar een paar, zoals Philips Machinefabrieken. Nu zijn het er wel vijftig.” Die zitten ook in het buitenland, waaronder veel in Tsjechië (waar in Brno een collega-fabriek voor elektronenmicroscopen zit). “Ik heb daar veel audits uitgevoerd. Vroeger schreven we het reinigingsproces voor, nu is dat de reinheid die de toeleveranciers moeten behalen op hun producten.” Zo reisde Hermans wel vaker naar het buitenland. Hij moest eens naar een Amerikaanse klant om een probleem met een elektronenmicroscoop op te lossen en ging daarvoor naar Hillsboro (Oregon) in de VS, waar het hoofdkantoor van, toen nog, FEI zat. “De douanier vond het maar vreemd dat ik uit Nederland moest komen om een probleem in de States op te lossen.”

Voorloper in vacuümsysteembouw

Ontwerpers kwamen ook steeds meer bij Hermans om raad. Zo was hij onder meer betrokken bij de ontwikkeling van een van de paradepaardjes van FEI, de Titan, waarvan de kolom later de basis zou vormen voor systemen als Metrios, Krios en Spectra. “Ik heb me bemoeid met het ontwerp van die kolom.”



Bij de schematische weergave van de elektronenkolom van een moderne elektronenmicroscoop.

Als echte vacuümman werd Hermans natuurlijk lid van de NEVAC, om er kennis te halen en zeker ook te brengen. Zo'n twintig jaar geleden gaf hij op de jaarlijkse NEVAC-dag een presentatie over het schoon assembleren van elektronenmicroscopen. "Bij ASML waren ze net begonnen met EUV (de eerste lithografietechnologie die vacuüm vereist, omdat EUV-straling door bijna alles wordt geabsorbeerd, red.). Toen mijn presentatie ging beginnen, stroomde de zaal vol met ASML'ers." Het illustreert hoe de kennis die Hermans in de elektronenmicroscopie had opgebouwd, ook buiten zijn eigen vakgebied belangstelling trok.

"Vacuüm ademen"

Kennisoverdracht rond vacuüm bleef een rode draad in Hermans' carrière. Zo ging hij de cursus vacuümtechniek die hij op het Natlab al had verzorgd, later ook geven via het CTT (Centre for Technical Training) van Philips (in 2011 voortgezet door High Tech Institute). En momenteel is hij bezig een cursus troubleshooten op te zetten voor vacuümmonteurs. Want wat er ook veranderde in zijn takenpakket en bij zijn werkgever, vacuümmontage was en is zijn grote liefde. Zoals collega Rients de Groot, senior system design engineer bij Thermo Fisher het omschrijft: "Peter ademt vacuüm."

BUSCH GROUP

BUSCH VACUUM SOLUTIONS

PFEIFFER VACUUM+FAB SOLUTIONS

Where Big Science meets Vacuum Expertise

BSBF 2026

Proud to be a Gold Sponsor of the Big Science Business Forum 2026 in the Netherlands. BSBF connects industry, research institutes and technical experts advancing Europe's next generation of large-scale research projects. At BSBF, Busch Vacuum Solutions and Pfeiffer Vacuum+Fab Solutions bring expertise in vacuum, pressure and leak detection to complex Big Science challenges.

Challenge us at BSBF!
October 27–30, 2026 | MECC Maastricht | Booth A020

Goed nieuws uit ALV

Vanuit het bestuur kijken we terug op een geslaagde NEVAC-dag en Algemene Ledenvergadering (ALV), alweer een tijdje geleden, begin juni. Tijdens de ALV hebben we onze activiteiten van het afgelopen jaar gepresenteerd en veel plannen voor het komende jaar.

Soms is het plan om iets niet meer te doen. In 2025 hebben we zowel op het Clean Event als op de Precisiebeurs gestaan met onze 'Ask the Expert Booth'. In 2026 zullen we helaas, in verband met de vergoeding die organisator Mikrocentrum vraagt, afzien van deelname aan deze events. Begin 2027 zullen we wel op het NWO Physics Event staan en organiseren we daar een focus topic over vacuümtechnologie.

Ook nieuw is dat we de back-end van onze website aan het vernieuwen zijn, omdat deze erg verouderd is; bovendien willen we meer functionaliteit richting onze leden aanbieden. Voor aanpassing van de back-end huren we een bedrijf in. Bij leden, en ook bij het bestuur, leeft de wens om de inhoud van de website te vernieuwen. Daar zoeken we vrijwilligers voor; kennis over het bouwen en inrichten van een website is niet, of zeer beperkt, nodig.

Goed nieuws is er over de financiën van de NEVAC. Het afgelopen jaar hebben we, na toch een lange periode van rode cijfers, een positief resultaat geboekt. Een aandachtspunt blijven leden die niet of laat betalen, ook na ontvangst van een aanmaning. Voor de vereniging zijn de kosten erg hoog om deze leden te laten betalen. Het verzoek van het bestuur is om een automatische incasso in te stellen; het formulier is te vinden op de website.

Het positief resultaat maakt het mogelijk om, naast het vernieuwen van de website, ook budget te reserveren voor binnenlandse excursies. Vorig najaar hadden we al een zeer geslaagde excursie naar Demaco. We zoeken vrijwilligers om, samen met de locatie waar een excursie plaatsvindt, de praktische zaken te regelen. Onze wens is om één à twee keer per jaar een binnenlandse excursie te organiseren.

Tijdens de ALV is er, naast de NEVAC-publicatieprijs, een nieuwe prijs in het leven geroepen: de NEVAC-technologieprijs. We willen deze prijs (€ 1.000) uitreiken op nominatie van een collega of andere vakgenoot. Naast een nominatiebrief zal er een kort cv aangeleverd moeten worden. Nu er twee NEVAC-prijzen zijn, gaan we de beoordeling veranderen. We zoeken hiervoor de volgende vrijwilligers: twee gewone leden, twee bedrijfsleden, twee oud-bestuursleden en twee O&EC-leden.

Met de NEVAC blad-redactie gaat het goed, maar er is altijd ruimte voor meer redactieleden. Laatste punt is dat tijdens de ALV Pieter Heidema door de leden benoemd is voor zijn tweede termijn als secretaris voor de komende drie jaar.



De header van de 'oude' NEVAC-website.

Theorie, ontwerp, instrumentatie en operatie



Figuur 1. De *vacuum school* van het KIT Institute for Astro-Particle Physics omvat lezingen, praktische sessies en een mogelijkheid voor geïnteresseerde bedrijven om tijdens de pauzes een aantal van hun producten te presenteren op een kleine beurs. (Bron: Joachim Wolf)

De 24e IUVSTA Vacuum School brengt jonge wetenschappers, ingenieurs, promovendi en experts uit het bedrijfsleven – van universiteiten, onderzoeksinstituten en de industrie – samen voor een intensieve week over vacuümwetenschap en -technologie. De 'school' vindt plaats van 18 tot en met 23 oktober 2026 aan het Karlsruhe Institute of Technology (KIT) in Karlsruhe (D), een van Europa's toonaangevende onderzoeksinstituten, en combineert lezingen, praktische sessies en directe interactie met internationaal erkende experts uit de academische wereld en het bedrijfsleven.

Joachim Wolf (KIT)

Het evenement biedt industriële partners een uitstekend platform om hun technologieën, producten en expertise te presenteren aan een zeer relevant internationaal publiek. De *vacuum school* wordt ondersteund door de International Union for Vacuum Science, Technique and Applications (IUVSTA) en gezamenlijk georganiseerd door het KIT Institute of Astro-Particle Physics en de Deutsche Vakuum-Gesellschaft (DVG).

Deze IUVSTA-*school* is bedoeld voor mensen die vacuümtechnologie nodig hebben in hun werk en deze technologie gebruiken maar er nog geen expert in zijn, en voor beginners en nieuwkomers in dit vakgebied. Het doel is om de kloof tussen complexe technische literatuur en praktische vereisten te overbruggen, begeleiding te bieden op het gebied van vacuümtechnologie en relevante methoden voor praktische toepassingen te demonstreren. Het programma omvat lezingen over theoretische en praktische onderwerpen (Figuur 1) in de ochtend en praktische sessies in de middag; zie het overzicht van de onderwerpen. Op woensdagmiddag is er een rondleiding langs verschillende KIT-faciliteiten gepland, waaronder KATRIN (Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment) met haar enorme vacuümkamer van de hoofdspectrometer (Figuur 2), het Karlsruhe Tritium Laboratory (Figuur 3) en meer.



Meer informatie is te vinden op de DVG-website of direct op de website van de *vacuum school*, waar inschrijving voor het evenement mogelijk is. De kosten zijn inclusief lunch en diner tijdens het evenement, evenals busvervoer tussen het hotel en de KIT Campus Noord. De door de organisatie voorgestelde hotels bieden speciale tarieven inclusief ontbijt aan. Door deelnemers en docenten van ontbijt tot diner samen te brengen, worden de discussies over de onderwerpen levendig gehouden en wordt het maximale uit deze *vacuum school* gehaald.

www.dvg-online.org/iuvsta-schools (DVG)
www.indico.kit.edu/event/5661 (vacuum school)





Figuur 2. Een van de stops tijdens de rondleiding langs de onderzoeksfaciliteiten van KIT is de grote UHV-kamer van de KATRIN-hoofdspectrometer (hier op transport naar KIT), die 24 meter lang is en werkt bij een druk van 10^{-11} mbar. (Bron: Forschungszentrum Karlsruhe)

Lezingen en praktische sessies

Lezingen

Introduction to vacuum gas dynamics	Oleg Malyshev (STFC)
Sources of gas in vacuum systems	Oleg Malyshev (STFC)
Rough vacuum pumps	Frank Rathmann (Leybold)
Vacuum pumps from HV to XHV	Frank Rathmann (Leybold)
Vacuum gauges	Martin Wüest (Inficon)
RGAs	Valerie Derpmann (Inficon)
Clean vacuum	René Koops (TNO)
Vacuum valves	Marco de Roos (VAT)
Design of vacuum chambers	Klaus Bergner (VACOM)
NEG pumps and coating	Enrico Maccallini (SAES Getter)
Applications: plasma based thin film technology	Sven Ulrich (KIT)
Applications: surface and thin film analysis	Michael Wahl (IFOS)

Practische sessies

Materials, joints, seals	Klaus Bergner (VACOM)
Outgassing	Joachim Wolf (KIT)
Vacuum gauges and RGA	Valerie Derpmann (Inficon)
Leak detection	Jan-Hendrick Dörr (Pfeiffer Vacuum)
Coating	Sven Ulrich (KIT)
Pump service	Jan-Hendrick Dörr (Pfeiffer Vacuum)



Figuur 3. Een ander hoogtepunt van de KIT-rondleiding is een bezoek aan het Karlsruhe Tritium Laboratory, waar de gasvormige tritiumbron van het KATRIN-experiment en tal van experimenten met betrekking tot kernfusieonderzoek zijn ondergebracht. (Bron: Joachim Wolf)

Aquarium, witte vlam, dansende sneeuwvlokjes



Figuur 1. Het resultaat van mijn allereerste vacuüm-'experiment'.

Aan mij de eer om de aftrap te verzorgen van een gloednieuwe rubriek. Het idee was "Vacuum confessions", maar vanwege het Nederlands als voertaal in dit blad is het "Vacuümontboezemingen" geworden, al bekt de Engelse versie misschien wel lekkerder. In deze rubriek wil de redactie vacuümcollega's de kans geven om een keer wat anders dan daverende succesverhalen te delen, dit ter vermaak en mogelijke lering.

René Koops (TNO, NEVAC blad-redactie)

Juist door ervaringen te delen waarin dingen niet helemaal gingen zoals gepland, kunnen we van elkaar leren en ons veiligheidsbewustzijn verder versterken. Hierbij dan ook de oproep aan eenieder om zich bij de redactie van dit blad te melden met iets dat ooit fout is gegaan met betrekking tot vacuümgerelateerde zaken. Natuurlijk heeft iedereen de intentie om zeer bewust en professioneel met veiligheid om te gaan. De verhalen in deze rubriek zijn dan ook nadrukkelijk niet bedoeld als 'veroordelingen', maar als leerzame praktijkervaringen die laten zien waarom kritisch blijven nadenken over risico's zo belangrijk is.

Gedurende mijn vacuümloopbaan ben ik uiteraard wel eens tegen misstanden aangelopen en heb ik blunders begaan. Zo heb ik ooit wolfraamfilamenten laten branden tijdens beluchten; dat gaat eigenlijk best goed zolang het pure stikstof betreft, totdat de ketel opengaat en er zuurstof bij komt. Vrij recent heb ik een DN150CF-poortafsluiter geïnstalleerd tussen twee kamers die lastig uit elkaar waren te houden, om er na een aantal uur zwoegen achter te komen dat hij verkeerdom zat. Ook heb ik eens een grote MBE-ketel belucht terwijl er nog vloeibaar stikstof in het binnenscherm zat; toen veranderde de ketel in een mooie ijsklomp. Maar laat ik er een paar uitpikken waar ik een leuk verhaal bij kan vertellen.

Aquarium als vacuümkamer

Ik begin voor het gemak maar bij mijn allereerste vacuüm-'experiment'. In mijn studie Experimentele Natuurkunde aan de VU (Vrije Universiteit) volgde ik enkel een kwart theoriecollege Vacuümtechniek. Daarna was ik gaan werken bij een eenmansbedrijfje dat voor klanten als Strukton, ProRail, OV-fiets, etc., apparatuur ontwikkelde, meestal heel kleine series of prototypes. Dat was op zich erg leuk werk; ik struinde kluswinkels, dierspeciaal- en andere hobbyzaken af om apparatuur te kopen die ik kon hacken of waar ik onderdelen uit kon slopen voor een ander doel. Voor een kastje voor sleutelinname en -uitgifte middels RFID-sleuteltags wilde ik onderdelen gieten van tweecomponentenhars. Hiervoor diende een gemengde batch hars ontlucht te worden in een ketel die gevacumeerd werd. Kleine gasbelletjes en opgelost gas konden dan ontsnappen uit de hars, zodat bij uitharding geen lelijke bellen meer gevormd werden in het gietsel.

Ik kon hiervoor een afgedankte schoepenpomp van de VU overnemen en mijn baas had nog wel een zeshoekig aquarium met een mooi afgeslepen vlakke bovenrand die ik als vacuümkamer zou kunnen gebruiken. Ik uitte wel mijn zorgen over hoe goed de kamer de krachtverschillen zou kunnen houden en voorspelde dat dit waarschijnlijk niet helemaal goed zou gaan. Mijn baas antwoordde hierop "gewoon proberen"; het leek hem wel een leuk experiment, ook als het mis zou gaan. Enfin, ik heb een vlakke metalen plaat uitgezaagd en een zeskantige rubberpakking uitgesneden, doorvoer voor pomp erop, manometertje op de afpompslang en klaar was de opstelling. De volgende ochtend vroeg (niemand anders op de zaak) ging ik het proberen. Aquarium en pomp op een tafel aan de ene kant van het kantoor en ik zelf achter een glazen deur aan de andere kant, met een veiligheidsbril op mijn neus.

Het duurde even, maar uiteindelijk gebeurde het onvermijdelijke. Met een oorverdovende knal (en ik ben wel wat gewend) klapte het aquarium in elkaar,



Figuur 2. Een staande stalagmiet (links) en een hangende ijshaar.

glas lag door het hele kantoor. De broer van mijn baas die een autogarage runde op de benedenverdieping van het pand, stond gelijk geschrokken voor de deur en de vier cavia's in het kantoor – mijn baas was een enorme dierenvriend – piepten luid van de stress. Mijn baas vond het uiteindelijk allemaal een heel mooi verhaal en vond het niet erg dat ik een groot deel van de dag bezig was met het glassplintervrij maken van het kantoor. Achteraf gezien had ik misschien beter een houten kist om het geheel kunnen timmeren.

Researchopstelling vol ongebruikte aansluitingen

In hetzelfde straatje een ander voorval, dat wat meer als leermoment kan worden gezien. In 2013 was ik een aantal weken werkzaam in het researchlab van een klant aan de westkust van de VS. Het vacuümsysteem waar ik voor een serie experimenten wat aanpassingen aan ging doen, stond min of meer in het midden van dit lab. Het was een redelijk grote ketel met veel flenzen, die allemaal bezet werden door analyse-apparatuur en gas-, vloeistof-, elektra- en optische-fiberdoorvoeren. Na een uitgebreide veiligheidsinstructie mocht ik aan het werk om een complex systeem in te bouwen volgens uitgebreid vastgelegd plan.

Op een gegeven moment stond ik aan één kant van het systeem te overleggen met twee lokale medewerkers en aan de andere kant stonden nog twee medewerkers. Plots volgde er een zeer luide knal en ik zag een soort witte 'vlam' van een meter of vier uit een DN63CF-poort slaan. De klap was zo luid dat iedereen een soort *shellshock* meemaakte; bij dit effect, bekend van oorlogsfilms, hoor je even helemaal niets meer en komt je gehoor langzaam weer terug. Er heerste even een verwarde sfeer in het lab; "wat was dit en hoe kon het gebeuren?" Ik checkte de DN63CF-poort en die bleek een stapeling te bevatten van een afsluiter (zitting naar het vacuüm gericht), een ring met aan beide zijden een CF-snijkant en dwars erop een gasinvoer gevolgd door een viewpoort. Op de gasdoorvoer zat een membraanklep, die verbonden was met een argon-toevoer die op een bar of 6 stond.

Het systeem was een researchopstelling, waarop in het verleden een scala aan verschillende experimenten was uitgevoerd. Daarom zaten er op veel flenzen nog apparatuur en gasaansluitingen die niet meer in gebruik waren en waar nieuwe gebruikers eigenlijk niet meer kritisch naar keken. De stapeling op deze bewuste flens was dan ook al mogelijk twee jaar niet meer gebruikt en de afsluiter en de membraanklep stonden dicht. Waarschijnlijk was de druk er tergend langzaam opgelopen door doorlekken van de membraanklep tot het bewuste moment waarop de viewpoort klapte. De witte 'vlam' bestond dus uit glassplinters en glaspoeder; een groot geluk dat er niemand toevallig voor stond. Er zaten stukjes glas vrij diep in de stuclaag op de muur op een meter of zes afstand. Een goede les is dus om een onbekend systeem grondig te bekijken en scherp te zijn op alles wat een onveilige situatie zou kunnen vormen. Op elk volume waar een viewpoort op zit, dient een overdrukbeveiliging te zitten (zoals een breekplaat).

Stalagmieten en ijsharen

Een leuke afsluiter is een serie experimenten waarbij ik bewust beginnende waterlekken ging nabootsen om te onderzoeken hoe er met bepaalde diagnostiek een voorspelling kon worden gedaan dat in-vacuümwaterleidingen mogelijk op scheuren stonden. Dit was eigenlijk bewust een vacuümprobleem creëren en dus niet een fout, maar wat ik observeerde was stiekem erg fascinerend. Een beginnend waterlek zal zeer klein zijn, waarna water zich direct door het lek richting het vacuümsysteem zal gaan verplaatsen. Om dit na te bootsen, had ik een systeem ontworpen waarbij ik vanuit een waterreservoir met ultrapuur water (géén deeltjes die verstoppingen konden veroorzaken) een vitonbolletje op lasergeschoten gaatjes zo klein als een paar micron kon drukken en loslaten. Dit om zo plots water door de gaatjes tot het vacuüm toe te laten.

Het waterreservoir kon op verschillende drukken tot een bar of 5 worden gezet. Wat ik vervolgens observeerde was veel meer dan verwacht, want in eerste instantie verwachtte ik enkel dichtvriezen en open sublimeren van het lek of een vloeistofjet de ketel in naar gelang de waterdruk en de lekgrootte. Maar ik zag ook 'sneeuw' ontstaan in de ketel; de vlokjes dansten vervolgens op de warme bodem van de ketel door een soort leidenfrost-effect (waarbij een vloeistofdruppel zweeft op een kussen van zijn eigen damp boven een oppervlak dat veel heter is dan het kookpunt). Ook zag ik stalagmieten ontstaan die werden gevormd doordat een onzichtbare water-gasjet expandeerde en daarbij zo hard afkoelde dat watermoleculen in de jet gelijk ijs vormden wanneer ze oppervlaktes en andere watermoleculen tegenkwamen. Maar het meest verbluffende was wel de vorming van ijsharen onder bepaalde condities. Hierbij was de flow door het lek waarschijnlijk langzaam en laminair, en groeide de haar vanaf de lekzijde zonder dat er watermoleculen aan het oppervlak van het lek vastvroren. Waarschijnlijk was een haar die zo groeide heel bros en dus heel erg licht in gewicht, waardoor die haar wel bleef hangen aan het lek door capillaire werking. De langste haar werd zo'n 40 cm lang.

Ik hoop dat u als lezer dit stukje vermakelijk en (deels) ook leerzaam heeft gevonden. Ik vond het erg leuk om deze koffiecornerverhalen eens op papier te zetten.

Wout Elferink (Urenco)

“Vacuüm is iets heel ongrijpbaars”

Wout Elferink kon na zijn stagejaar meteen beginnen bij Urenco Nederland in Almelo, op de afdeling Stable Isotopes. Toch dook hij op woensdagen opnieuw de boeken in, van de cursus Elementaire Vacuümtechniek (EVT). “Een voordeel was dat ik me nog een beetje student voelde: ik was het studeren nog niet verleerd.” Op het examen, voorjaar 2026, behaalde hij de hoogste score, een puike 9,0.

Senne Starckx

Met Jurriën Vermeulen had Urenco vorig jaar al een afgestudeerde met de hoogste score op een NEVAC-examen, ook voor de cursus EVT, en nu komt daar Wout Elferink bij. Hij is nog maar 21. Ruim een jaar geleden studeerde hij af als chemisch-fysisch analist (MBO) op het ROC van Twente. Urenco, gevestigd in Almelo, kwam bij hem op de radar nadat hij het bedrijf had bezocht tijdens een opendeurdag. “Ik wilde mijn stage graag daar doen, want het bedrijf sprak me aan. Het doet iets wat andere bedrijven niet doen.” Daarmee doelt de jonge Twentenaar niet per se op de core business van het Brits-Duits-Nederlandse concern – de productie van verrijkt uranium voor gebruik in kerncentrales – maar op andere nucleaire activiteiten, zoals de verrijking van stabiele isotopen.



Wout Elferink in het lab.

Stabiele isotopen

Hij werkt nu bijna een jaar op de afdeling Stable Isotopes. Waar collega Vermeulen zich meer bezighoudt met het verrijkingsproces van de isotopen, verwerkt Elferink ze verder tot wat de klant precies nodig heeft. Dat kan gaan van germanium voor de fabricage van halfgeleiders en glasvezels tot xenon voor gebruik in medische behandelingen en diagnostiek. Hoewel de eindproducten verschillende vormen kunnen hebben – vaste pellets of schijfjes, maar evengoed gassen – gebeurt de verrijking steeds in gascentrifuges. Dat doet sterk denken aan uraniumverrijking, maar dat gebeurt in een andere afdeling van Urenco. “Als productiemedewerker op de afdeling voor stabiele isotopen kom ik niet op de afdeling voor uraniumverrijking. Tussen beide afdelin-

gen loopt trouwens een beek, die een soort van onofficiële grens vormt. Je kunt het bijna als twee verschillende bedrijven zien, al zijn er wel mensen die op beide afdelingen komen." Hoewel Elferink niet met radioactieve materialen werkt, moeten er toch bepaalde voorzorgsmaatregelen in acht worden genomen. "We dragen labjassen en veiligheidsbrillen." Zijn werkplek omschrijft hij als iets tussen een laboratorium en een grote fabriek in. "Het ziet eruit als een productiehal met meerdere labs."

Net afgestudeerd, alweer de boeken in

Zijn opleiding was niet speciaal gericht op nucleaire chemie of fysica. Toch vormden isotopen voor Elferink geen onbekende materie. "Ik had mezelf er al in verdiept, puur uit interesse. Dat sloot dus mooi aan op het werk dat ik zou gaan doen." Ook van vacuüm had hij nog weinig kaas gegeten toen hij aanmonsterde bij Urenco. "Eigenlijk kwam dat niet aan bod tijdens mijn opleiding. Ik wist natuurlijk wel wat vacuüm betekende, maar wat het precies was en hoe je ermee kon werken, dat was nieuw voor me." Nieuw, omdat Elferink snel na zijn aanwerving bij Urenco kennismaakte met vacuüm in de EVT-cursus. "Dat we die cursus moeten volgen, staat zo in ons contract. Eerst had ik er een dubbel gevoel over. Dan ben je net afgestudeerd, moet je alweer de boeken in. Maar uiteindelijk bleek dat een voordeel. Ik voelde me nog een beetje student en was het studeren nog niet verleerd."

Vertrouwen op cijfertjes

Wat trok hem aan in vacuüm, het onderwerp van de cursus? "Het is vergelijkbaar met hoe ik naar de materie kijk. Je kunt bij deze tafel bijvoorbeeld niet zien waarvan die gemaakt is, we zien de moleculen en atomen niet. Dat is ook zo bij vacuüm: je ziet niet hoe hoog of laag de druk is, je moet vertrouwen op cijfertjes. Vacuüm is dus iets heel ongrijpbaars, net zoals de microscopische structuur van de materie dat is."

Bij de verrijking van isotopen staan de gascentrifuges onder hoog vacuüm, zodat ze met zo weinig mogelijk weerstand kunnen draaien. Dat is belangrijk voor de veiligheid, maar ook omdat ze kleine hoeveelheden gas behandelen. Elferink werkt vooral op de eindverwerking, en daarbij komen hooguit middelhoge vacuüms kijken. "Dankzij de cursus ben ik me er nu meer van bewust wat ik precies doe als ik werk met bepaalde vacuümgerelateerde apparaten of systemen. Ik gebruikte voordien bijvoorbeeld al afsluiters op leidingen tussen reactorvaten en pompen. Nu begrijp ik ook hoe die dingen precies functioneren."

Van Rotterdam naar Almelo

Elferink volgde de cursus samen met andere werknemers van Urenco, weliswaar ook van andere afdelingen. De cursus focuste dus niet zozeer op nucleaire toepassingen. Wel was er een praktisch gedeelte dat door Urenco zelf werd georganiseerd. Doordat alle cursisten Urenco-werknemers waren, kwam de docent vanuit Rotterdam 's woensdags naar Almelo. Dat is een heel eind, weet ook Elferink. De diploma-uitreiking, begin juni op de NEVAC-dag bij VSL in Delft (zie het verslag in dit nummer), liet hij daarom aan zich voorbijgaan. "Vanuit Twente bekeken (Elferink woont in Overdinkel, aan de Duitse grens, red.) is dat helemaal aan de andere kant van het land. De prijs voor het hoogste examencijfer – een fles wijn bij het diploma – heb ik nadien gekregen."

VT of AI?

Of hij ook de vervolgcursus Vacuümtechniek (VT) zal volgen? "Voorlopig staat dat niet op de planning. Die cursus is meer theoretisch dan EVT. Ik ben meer praktisch ingesteld, en voor mijn werk is VT niet meteen vereist. Het wordt ook niet van me verwacht." Toch blijft Elferink nog steeds een beetje student. "Momenteel ben ik bezig met een intensief opleidingstraject vanuit Urenco zelf."

Misschien gaat de eerstvolgende cursus niet over vacuüm, maar over datgene wat de laatste jaren het technologische nieuws beheerst: artificiële intelligentie. "AI zingt ook hier rond. Bij ons op de werkvloer gaat het nog vooral over bewustwording. Ik heb bijvoorbeeld een keer een online cursus gedaan rond online veiligheid en digitale vaardigheden. Daarin kwam ook AI aan bod."

Stel je voor: Norbert Koster



Figuur 1. Norbert Koster geniet van zijn prepensioen na een afwisselende loopbaan in de vacuümtechniek.

Hij is inmiddels met prepensioen na een afwisselende loopbaan in de vacuümtechniek, van technicus bij het FOM-instituut voor Plasmafysica Rijnhuizen tot principal scientist bij TNO in Delft. EUV (extreem ultraviolet) voor de nieuwste lithografiemachines van ASML vormde de rode draad. Hij werkte onder meer aan EUV-spiegels, de Dynamic Gas Lock en tot slot nog aan de EUV Beam Line 2. Maar ook kernfusie vond hij machtig interessant. Zijn kennis en vaardigheden deelt hij nog altijd graag. Norbert Kostert stelt zich voor.

Norbert Koster was tot voor kort principal scientist bij TNO Industrie. “Mijn specialisatie was vacuümtechniek en ultraschoon vacuüm, met als aandachtsgebied de halfgeleiderindustrie. In mijn functie was ik naast inhoudelijk werk bezig met strategie en beleid van de afdeling en businessunit, samen met management. Tegenwoordig ben ik met prepensioen en volg ik vacuümtechniek vanuit persoonlijke interesse.”

Leven lang leren

Na een korte (niet afgemaakte) studie Industrieel Ontwerpen aan de, toen nog, Technische Hogeschool Delft en een onderbreking voor dienstplicht en werk, ging Koster Fijnmechanische Techniek studeren aan de Hogeschool Utrecht, locatie Hilversum. “Daar ben ik in drie jaar met lof afgestudeerd.” Koster ging aan het werk, maar bleef leren. “Ik heb nog een post-HBO-opleiding Mechatronica bij de Hogeschool Utrecht gevolgd, ook met lof afgerond. Gedurende mijn werkperiode heb ik diverse trainingen op het gebied van veiligheid, elektrische installaties, gassen, management, vacuüm en normering gevolgd.”

EUV-spiegels ontwikkelen en produceren

Na zijn afstuderen in 1992 begon Koster bij het FOM-instituut voor Plasmafysica Rijnhuizen als technicus in de LPX-groep. “Hier was ik medeverantwoordelijk voor het onderzoek naar en de productie van EUV-spiegels. Deze spiegels zijn ontwikkeld voor de reflectie van EUV-straling en bestaan uit 40 tot 80 heel dunne, repeterende laagjes. De ontwikkeling en verbetering van deze spiegels was voor ASML een van de redenen om de EUV-lithografiemachine te gaan ontwikkelen. Deze spiegeltechniek wordt nu verder ontwikkeld aan de Universiteit Twente in samenwerking met Carl Zeiss en ASML.”

UHV STM-kamer bouwen

Na vier jaar stapte Koster over naar de TU Delft, de vakgroep Nanofysica in de faculteit Technische Natuurkunde. “Hier was ik als vacuümtechnicus verbonden aan het NEXT-project, waarin we probeerden om met behulp van STM-technieken (*scanning tunneling microscopy*, red.) atomaire schakelingen te bouwen. Hier heb ik onder meer een UHV STM-kamer gebouwd, een He-4 cryostaat en een He-3 cryostaatkamer. Het systeem bestond uit ongeveer acht UHV-kamers die met een UHV-buizensysteem aan elkaar waren gekoppeld. Hierin kon je de samples met een treintje van kamer naar kamer laten gaan, zonder ze bloot te stellen aan lucht. Ik werkte hierbij nauw samen met de onderzoekers.”

ASML vacuümkennis bijbrengen

In 1999 werd Koster gevraagd om bij TNO TPD in Delft te komen werken, vanwege zijn kennis van vacuüm en halfgeleidertechnieken en zijn EUV-ervaring. “Bij TNO werkte ik aan de ontwikkeling van de Dynamic Gas Lock (DGL), een techniek om in vacuüm een schone en een vieze ruimte van elkaar te scheiden zonder gebruik van een venster. Deze techniek was voor ASML een andere reden om de EUV-ontwikkeling op te starten; dat was in 2000. TNO, en ik, zijn hier vanaf het begin bij betrokken geweest; we hebben ASML vele ja-



Figuur 2. Bij TNO werkte Koster aan de ontwikkeling van de Dynamic Gas Lock (DGL), een techniek om in vacuüm een schone en een vieze ruimte van elkaar te scheiden zonder gebruik van een venster.

ren ondersteund. Samen met partijen als Philips, FOM en Carl Zeiss hebben we ASML vacuümkennis bijgebracht."

Vacuümcursussen verzorgen

Bij TNO groeide Koster door van technicus naar scientist en uiteindelijk principal scientist. "Zo heb ik voor ASML meerdere onderzoeksprojecten gedaan op het gebied van levensduur van EUV-spiegels, RGA-systemen en flow-modellering. Ook hebben wij de eerste versies van ASML's interne vacuümcursus verzorgd. Deze heb ik samen met collega's gedurende meerdere jaren gegeven aan ASML-medewerkers. Aangepaste versies van deze cursus heb ik ook internationaal bij diverse bedrijven gegeven. Daarnaast heb ik zijstappen gemaakt naar vacuüm voor ruimtevaart (ook een TNO-activiteit), ITER (kernfusie) en schoon produceren."

Installeren in opdampklok

Zo is Koster zijn hele werkzame leven, en ook al tijdens de studie, met vacuümtechniek aan de slag geweest. "Dat begon bij mijn afstuderen in Hilversum. Samen met mijn studiecollega heb ik een ontwerp gemaakt voor een soft X-Ray reflectometer voor de LPX-groep van FOM Rijnhuizen. Deze reflectometer moest in vacuüm opereren en werd gebruikt voor het bepalen van de laagdikte van de EUV-spiegel tijdens het opdampen in de vacuümklok. Ik was vaak te vinden bij de opdamper, omdat ik deze zeer interessant vond. In combinatie met de fysica heeft dit mijn interesse voor vacuümtechniek gewekt. Tijdens mijn afstudeerperiode heeft de groep mij een functie als technicus aangeboden. Toen hebben we de reflectometer ook daadwerkelijk gebouwd en geïnstalleerd in de opdampklok. Bij het FOM-instituut werd ook onderzoek gedaan aan kernfusie; er stond een kleine tokamak (fusiereactor, red.) in het labgebouw. Deze techniek vond ik ook machtig interessant en de kennis daarvan kon ik later weer gebruiken toen ITER in Frankrijk werd ontwikkeld en daar behoefte aan lekzoektechnieken kwam."

Voor bijna alles vacuüm gebruiken

Bij bijna alles wat Koster deed, had hij vacuüm nodig. "Dit kon zijn voor de reinheid van het systeem, om fotonen of elektronen te transporteren, of het was een gegeven omdat er uiteindelijk iets de ruimte in ging, waar ook vacuüm heerst. Bij het ontwerp van dergelijke systemen moet niet alleen het vacuüm worden geborgd, maar moet het systeem ook het vacuüm overleven."

Aan de wieg staan van UCV

Desgevraagd zegt Koster er bijzonder trots op te zijn dat hij vanaf het begin van het EUV-project bij ASML betrokken is geweest. "Bijzonder was vooral de realisatie van de eerste twee prototypes die samen met alle partners bij AMSL zijn gebouwd. Ik kan zeggen dat er meerdere uitvindingen van mij in de machine zitten en dat ik aan de wieg van de ontwikkeling van ultra-clean vacuum (UCV) heb gestaan. Mijn laatste activiteit was ontwerp en realisatie van de EBL2-testopstelling (EUV Beam Line 2) bij TNO, een internationaal erkend testlaboratorium."

Bij NEVAC kennis en vaardigheden onderwijzen

Uiteraard is Koster NEVAC-lid. "Vanwege de interactie met collega-vacuümengineers en om mijn kennis en vaardigheden aan anderen te onderwijzen of uit te leggen. Hoewel er misschien betere platforms voor zijn, zou bij NEVAC een discussieforum nog interessant kunnen zijn, eventueel met een 'ask the expert'- of matchmaking-functie."



Figuur 3. Koster's laatste klus bij TNO was de EUV Beam Line 2.

STREICHER Advanced Vacuum

settels savenije group of companies



S■UV

EFFICIENT COMPONENT CLEANING SYSTEM

for UHV and semiconductor applications using UV technology

BAKE-OUT		UV CLEANING
High – chamber and cleaned parts require heating (kW range)	**ENERGY CONSUMPTION**	More than **10x lower** (W range)
Long delays due to inefficient cleaning below 100 °C and long cooling time	**CLEANING TIME**	Up to **6× faster** – instant start with no waiting time
Limited through temperature increase only	**PERFORMANCE SCALABILITY**	**Adjustable** by energy input or number of UV sources

Let's discuss your cleaning requirements: sales@streicher-advancedvacuum.com sales@sttls.nl

Basisboek Vacuümtechniek voor NEVAC-leden



Van het Basisboek Vacuümtechniek (editie 2000), is nog een aantal exemplaren beschikbaar. Dit gezaghebbende boek is geschreven door de NEVAC-ereleden Bert Suurmeijer, Theo Mulder en Jan Verhoeven. Het biedt een toegankelijke introductie tot de principes, technieken en toepassingen van vacuümtechnologie en is daarmee een waardevolle referentie voor studenten, starters en geïnteresseerden in het vakgebied.

De NEVAC biedt deze exemplaren tijdelijk aan tegen een aantrekkelijk tarief voor leden:
persoonlijke leden: € 45,- incl. verzending;
bedrijfsleden: € 39,- excl. verzending.

Interesse? Stuur een mail naar:
penningmeester@nevac.nl
Op = op.

Eurovacuum heeft Dekont Vakuum Service overgenomen

Eurovacuum, leverancier van hoogwaardige vacuümpompen, vacuümsystemen en componenten, heeft dit voorjaar Dekont Vakuum Service GmbH overgenomen. Met deze overname zet het in Moordrecht gevestigde Eurovacuum een stap in zijn Europese groeistrategie en breidt het zijn service- en onderhoudscapaciteiten aanzienlijk uit. Dekont Vakuum Service GmbH is een zeer gerespecteerde specialist op de Duitse markt, met jarenlange ervaring in het onderhouden, repareren en reviseren van complexe vacuümtechnologieën.

"De overname van Dekont Vakuum Service GmbH sluit perfect aan bij onze visie om klanten niet alleen hoogwaardige producten te bieden, maar ook een ongeëvenaarde technische service", zegt Martin Smit, CEO van Eurovacuum. "Dankzij de centrale ligging en sterke reputatie van Dekont in Duitsland kunnen we ons Centraal-Europese klantenbestand nu nog sneller en effectiever direct voor de deur ondersteunen."

www.eurovacuum.eu



Agenda

8 oktober 2026
Contamination Control Congres 2026
Utrecht

19-23 oktober 2026
24th IUVSTA Vacuum School
Karlsruhe, DE

27-30 oktober 2026
Big Science Business Forum 2026
Maastricht

8-13 november 2026
AVS72 International Symposium and Exhibition
Pittsburgh, PA, USA

11-13 november 2026
ISCC 2026 - International Symposium on Contamination Control
Tokyo, JP

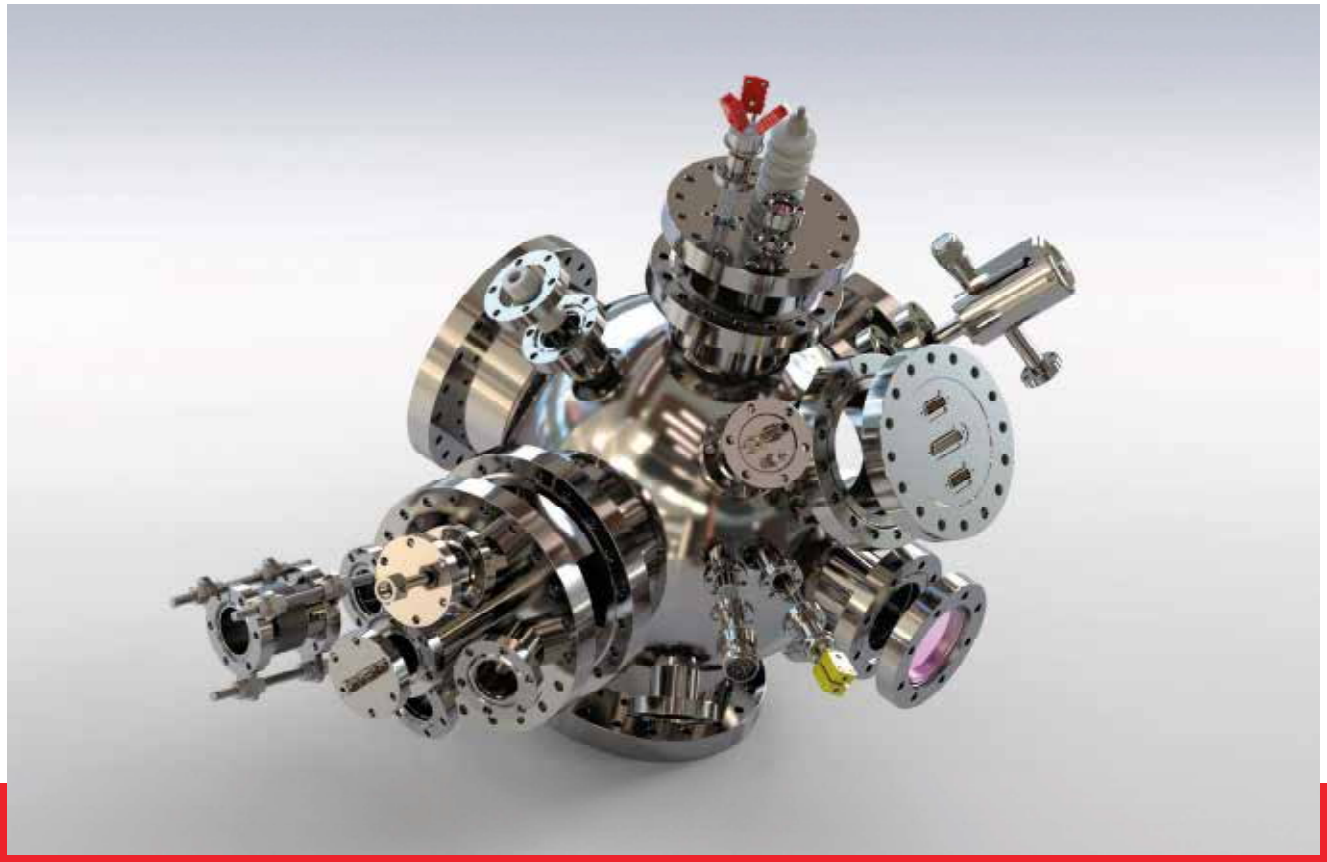
18-19 november 2026
Precisiebeurs 2026
Den Bosch

22 april 2027
Clean Event 2027
Veldhoven

Links naar event-websites:
Agenda op www.nevac.nl

VACUUM TECHNOLOGY
Hositrad

Vacuum Experts since 1966



- 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

www.hositrad.com