

NEVAC

jaargang 64 nummer 1 april 2026



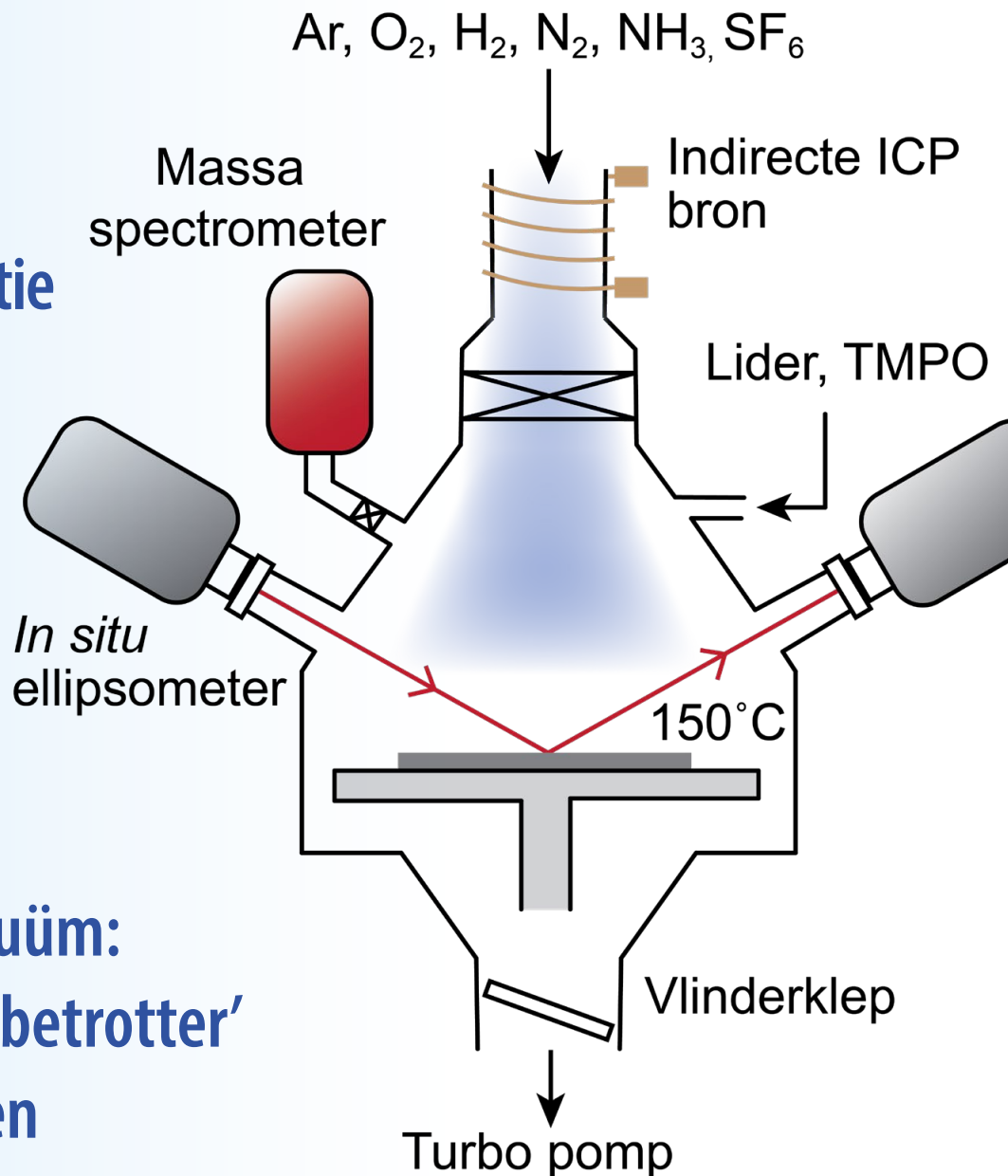
NEDERLANDSE
VACUÛMVERENIGING

blad

ALD voor
volgende generatie
Li-ionbatterijen

NEVAC-dag 2026
vrijdag 5 juni
bij VSL in Delft

Loopbaan in vacuüm:
'synchrotron-globetrotter'
Friso van der Veen





Verenigingsgegevens

Ereleden

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

Bestuur

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

Verenigingssecretariaat

Pieter Heidema
secretaris@nevac.nl

Ledenadministratie

René Erkelens
penningmeester@nevac.nl

Penningmeester NEVAC

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

Contributies

Contributie € 35,- per jaar
Studenten/promovendi € 5,- per jaar
Bedrijfsleden € 205,- per jaar

Inlichtingen over opleidingen en examens

Thom Bijsterbosch
(Settels Savenije)

Vacuümboeken uitgegeven onder auspiciën van de NEVAC:



Vacuümkalibratie in Nederland

U heeft zich vast wel eens afgevraagd bij het meten van vacuümdrukken of de representatie door de vacuümmeetapparatuur de echte vacuümdruk weergeeft. Ik in ieder geval wel. Recentelijk werden wij geconfronteerd met een vernieuwde versie van een geïnverteerde magnetronmanometermeetkop die meer dan een hele decade verschil in druk aangaf in het 10^{-6} mbar drukbereik ten opzichte van de al jaren ingebruikzijnde versie, in geheel dezelfde meetopstelling. Volgens de specificatie zou de accuracy < 30% zijn voor beide in het genoemde drukbereik. Wie van de twee gaf nu de juiste waarde weer? Die vraag hebben we teruggelegd bij de leverancier en het bleek dat het uitgangssignaal van de nieuwe meetkop niet logaritmisch was, wat bij de oude wel het geval was. Voordat dat bekend was, hadden wij het idee van kalibratie inmiddels in ons achterhoofd zitten; hoe, en waar, zouden we die kunnen (laten) uitvoeren? Op dat moment konden we daarvoor alleen in het buitenland terecht.



Gelukkig kunnen we nu in Nederland terecht bij VSL, het Nationaal Metrologie Instituut. VSL heeft recentelijk een accreditatie verworven voor het kalibreren van vacuümsensoren. VSL levert in Nederland de nauwkeurigste, herleidbare vacuümkalibraties voor een zeer breed drukbereik, van hoogvacuüm tot nabij atmosferische druk, met een uitbreiding van de accreditatie tot 10^{-8} mbar (absolute druk). Wereldwijd zijn er slechts enkele nationale metrologie-instituten die voor vacuüm kunnen kalibreren. In Nederland is VSL de enige geaccrediteerde organisatie die op deze lage drukken kan kalibreren.

Tijdens onze jaarlijkse NEVAC-dag op 5 juni zijn wij te gast bij VSL in Delft. Daar kunnen we nader kennismaken met in Nederland aanwezige metrologische kennis.

Verderop in dit blad treft U het programma aan van de NEVAC-dag, met onder meer de ALV, de uitreiking van de NEVAC-prijs en de diploma-uitreiking aan de geslaagden van de vacuümcursussen. Daarnaast de abstracts van de presentaties, het met de NEVAC-prijs bekroonde artikel, een verslag van de VCCN Cleanliness Day, Friso van der Veen's loopbaan in vacuüm en Gesa Welker die zich voorstelt als onderzoeker, docent en actief lid van de NEVAC. Veel leesplezier en tot ziens op de NEVAC-dag 2026.

Riems de Groot
Redactielid NEVAC blad

Inhoud

- 2 **Van de redactie**
Vacuümkalibratie in Nederland
- 4 **ALD voor Li-ionbatterijen**
Artikel NEVAC-prijswinnaar
- 10 **NEVAC-dag 2026**
Programma en sprekers
- 15 **NEVAC ALV 2026**
Agenda
- 16 **Nieuws**
Met onder meer: IUVSTA
Vacuum School
- 17 **Van het bestuur**
Mooie mix voor NEVAC-dag
- 19 **Loopbaan in vacuüm**
Friso van der Veen –
Synchrotron-globetrotter
- 24 **Stel je voor**
Gesa Welker
- 26 **VCCN Cleanliness Day 2026**
Inspiratie voor beheersing
van contaminatie
- 31 **Agenda**



19 Friso van der Veen (AMOLF, UvA, ETH, PSI) als 'synchrotron-globetrotter' in de rubriek 'Loopbaan in vacuüm'.

Cover

Schematische weergave van FlexAL ALD vacuümreactor van Oxford Instruments, gebruikt voor ontwikkelen en deponeren van grensvlaklagen. (Bron: N. Hornsveld, "Atomic layer deposition for Li-ion batteries: Novel chemistries, surface reactions and film properties", TU Eindhoven, 2022)

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. 2:
1 juli 2026

Van materiaalonderzoek tot toepassing op Li-anodes

Lithium-ionbatterijen zijn een veelbelovende technologie om fluctuaties in zonne- en windenergie op te vangen. Hun prestaties worden echter beperkt door degradatieprocessen aan het grensvlak tussen elektrode en elektrolyt. Wij onderzoeken hoe atoomlaagdepositie (ALD) deze uitdagingen kan helpen oplossen. Met ALD kunnen we ultradunne, kunstmatige grensvlaklagen met atomaire precisie aanbrengen, wat mogelijk leidt tot verbeterde stabiliteit, verkorte formatiecycli (de eerste laad- en ontladcycli van een batterij waarbij een stabiele grensvlaklaag wordt gevormd) en een langere levensduur.

Niels Hoogendoorn, Meike Pieters, Cristian van Helvoirt en Mariadriana Creatore

In 2025 werd voor het eerst meer dan 50% van de elektriciteit in Nederland hernieuwbaar opgewekt; 48% van het totaal was afkomstig uit zon en wind [1]. De beschikbaarheid van hernieuwbare elektriciteit fluctueert en daarom is het noodzakelijk om de opgewekte elektriciteit te kunnen opslaan. Batterijen kunnen hierin een grote rol spelen, op verschillende schalen: van stationaire opslag (woningen en industrie) tot mobiliteit (elektrische voertuigen) en micro-opslag (mobiele en draagbare medische apparaten).

Met de toekenning van de Nobelprijs voor Scheikunde in 2019 is de impact van de Li-ionbatterij (LiB) erkend en de verdere ontwikkeling ervan zet door [2]. Het onderzoek richt zich nu op de volgende generatie LiB's, met als doel hogere energiedichtheid, verbeterde veiligheid en langere levensduur. Innovaties op het gebied van de materiaalkunde kunnen deze verbeteringen tweevoudig brengen, maar zo ver zijn we nog niet. In Nederland is dit onderzoeksveld sterk in ontwikkeling, met consortia als BatteryNL, waar dit werk deel van

uitmaakt (*battery.nl*) en SMARTCBAT, waarin industrie en wetenschap samenwerken aan de batterij van de toekomst.

Van state-of-the-art naar volgende generaties LiB's

State-of-the-art LiB's (Gen I in Figuur 2) bereiken momenteel energiedichtheden tot 300 Wh/kg en 800 Wh/l [4]. Door nieuwe materialen voor de anode, kathode en elektrolyt te implementeren (Gen II en III in Figuur 2), kan deze energiedichtheid aanzienlijk toenemen. Dit vergroot de actieradius van elektrische voertuigen en maakt compactere batterijen mogelijk voor draagbare apparaten [5]-[9].

De introductie van nieuwe materialen in batterij-architecturen vereist inzicht in en onderdrukking van degradatieprocessen zoals dendrietgroei, elektrolytdecompositie en metaaldissolutie bij de kathode. In plaats van natuurlijke elektrode-elektrolytgrensvlakken (*electrode-electrolyte interfaces*, EEIs), die voortdurend actieve materialen consumeren, is er behoefte aan stabiele, passiverende en ionisch geleidende kunstmatige grensvlakken.

Over de auteurs

Niels Hoogendoorn (promovendus), Meike Pieters (promovenda), Cristian van Helvoirt (ALD process engineer) en Mariadriana Creatore (professor) zijn verbonden aan de onderzoeksgroep Plasma & Materials Processing, Faculteit Applied Physics and Science Education van de TU Eindhoven. Dit artikel is bekroond met de NEVAC-prijs 2026, voor het beste ingezonden artikel geschreven door een student of promovendus. De hoofdauteur, Niels Hoogendoorn, geeft tijdens de NEVAC-dag op 5 juni (zie elders in dit nummer) een presentatie over zijn werk.

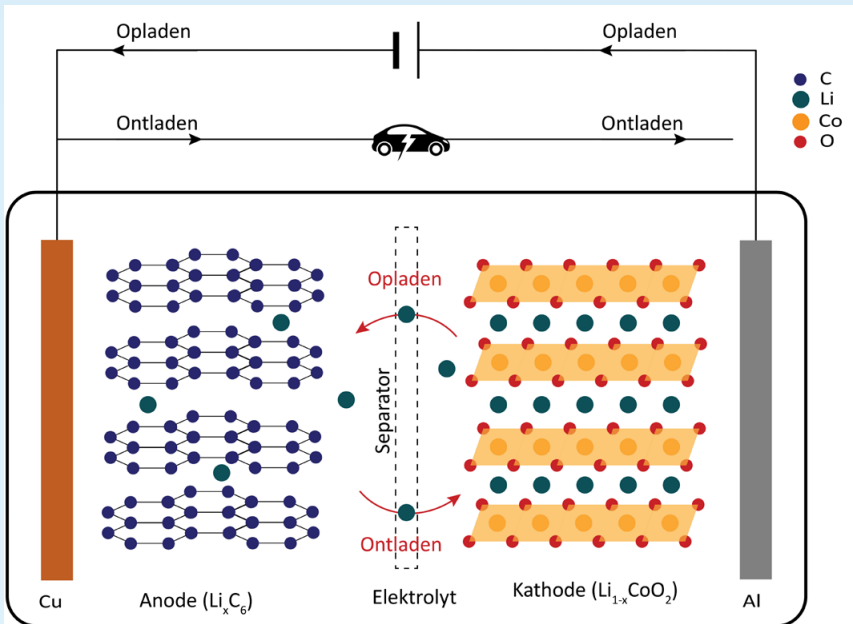
n.t.hoogendoorn@tue.nl
www.tue.nl/pmp
www.atomiclimits.com

Atoomlaagdepositie voor batterijen

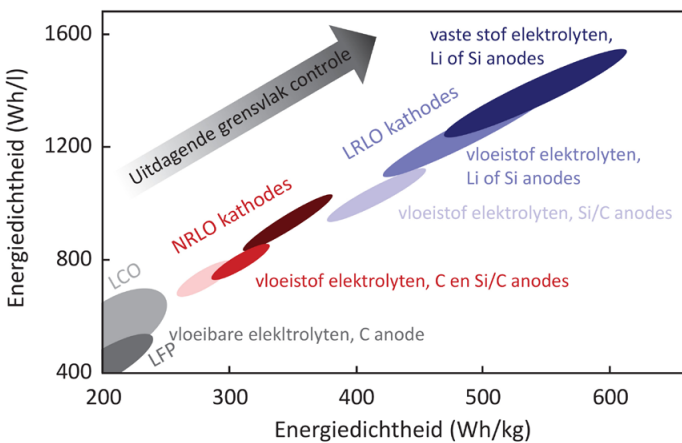
Geïnspireerd door de chemie van natuurlijk gevormde EEIs, bieden kunstmatige, ultradunne en ionisch geleidende grensvlaklagen een veelbelovende oplossing voor deze problemen aan het grensvlak. Bovendien kunnen deze lagen, aangebracht tijdens het productieproces, de formatiecycli verkorten die normaal nodig zijn om een natuurlijke EEI te vormen. Atoomlaagdepositie (*atomic layer deposition*, ALD), een depositietechniek diep geworteld in de halfgeleiderindustrie, leent zich uitstekend voor aan-

Hoe werken Li-ion batterijen?

- Batterijen bestaan uit twee elektrodes en daartussen een Li-iongeleidend elektrolyt (Figuur 1). Tijdens het ontladen van de batterij bewegen de ionen en elektronen via respectievelijk de elektrolyt en een extern circuit van de anode naar de kathode. Aan de grafietanode verloopt de reactie als volgt:
 $z \text{Li}_x \text{C}_6 \rightleftharpoons y \text{Li}^+ + y \text{e}^- + z \text{C}_6$, waarin $x = y/z \leq 1$.
- Aan de kathode worden het Li-ion en het elektron opgenomen. In het voorbeeld volgt dat: $y \text{Li}^+ + y \text{e}^- + \text{Li}_{1-y} \text{CoO}_2 \rightleftharpoons \text{LiCoO}_2$. Hierbij wordt kobalt gereduceerd tot Co^{3+} en worden de Li-ionen opgenomen in het gelaagde kristalrooster van LiCoO_2 (LCO) via intercalatie.
- Tijdens het opladen van de batterij keren de reacties om; de Li-ionen komen vrij uit de gelaagde kathode en intercaleren (voegen zich) terug in de gelaagde grafietanode. De totaalreactie voor het op- en ontladen (naar links en naar rechts, respectievelijk) van de batterij is daarmee als volgt:
 $z \text{Li}_x \text{C}_6 + \text{Li}_{1-y} \text{CoO}_2 \rightleftharpoons z \text{C}_6 + \text{LiCoO}_2$.
- De opslagcapaciteit van een batterij volgt uit: $E = C \cdot V$. Hierin is E de opgeslagen energie (in Wh), C de capaciteit (in Ah) en V het voltage (in V). Door E te delen door het volume of gewicht van de batterij volgt de volumetrische, respectievelijk gravimetrische energiedichtheid.



Figuur 1. Schematische weergave van een LiB met een grafietanode en LiCoO_2 -kathode. Tijdens ontlading bewegen de elektronen en ionen van de anode naar de kathode via respectievelijk een extern circuit en de elektrolyt; tijdens oplading omgekeerd. De anode is op een koperen stroomcollector aangebracht, de kathode op aluminium. (Figuur gebaseerd op [3])



Gen III: Li-metaalanodes en vaste-stofelektrolyten

- Anode: lithium metaal
 - Uitermate gevoelig voor dendrietvorming
- Kathode: lithiumrijke gelaagde oxides (lithium rich layered oxides, LRLO)
- Elektrolyt: vaste stof
 - Uitdagingen m.b.t. ionische geleiding, argyrodieten zijn hierin koploper en evenaren vloeibare elektrolyten [9]

Gen II: Silicium anodes en nikkelrijke kathodes

- Anode: silicium
 - heeft een 25x hogere Li-opnamecapaciteit dan grafiet
 - lijdt onder grote volumetrische uitzetting, tot wel 300%
- Kathode:
 - Nikkelrijke gelaagde oxides (nickel rich layered oxides, NRLO)
- Elektrolyt: vloeibaar

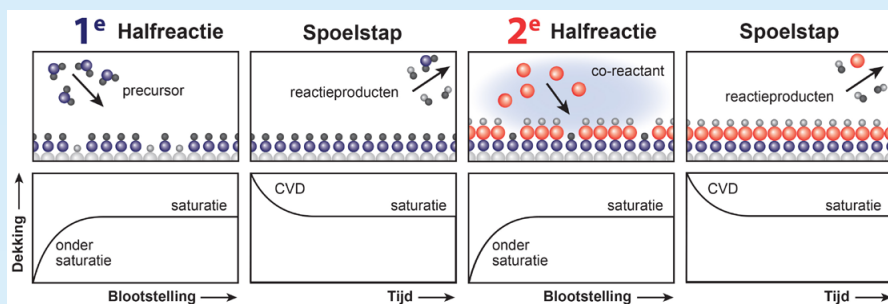
Gen I: Grafietanodes en vloeibare elektrolyten

- Anode: grafiet
- Kathode:
 - LiCoO_2 (LCO)
 - $\text{LiNi}_x \text{Mn}_y \text{Co}_{1-x-y} \text{O}_2$ (NMC): hogere energiedichtheid dan LCO [6]
 - LiFePO_4 (LFP): is goedkoop [7], [8]
- Elektrolyt: vloeibaar

Figuur 2. Energiedichtheid van verschillende chemische LiB-samenstellingen. De volumetrische en gravimetrische energiedichtheid zijn weergegeven. De chemische samenstellingen waarop elk van de drie generaties LiB's is gebaseerd, worden toegelicht. (Figuur gebaseerd op [4])

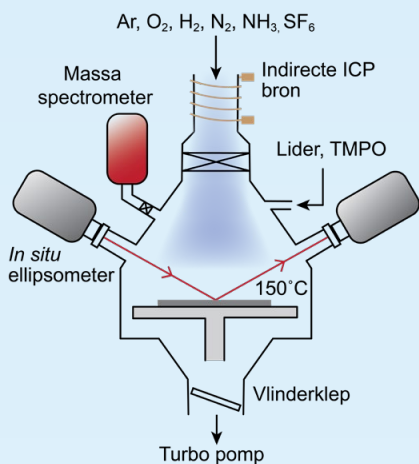
Wat is atoomlaagdepositie (ALD)?

ALD is een vacuümtechniek die atomaire precisie biedt bij het aanbrengen van ultradunne lagen. Een ALD-cyclus bestaat uit twee zelfbeperkende halfreacties (zie Figuur 3). In de eerste halfreactie adsorbeert de precursor op het oppervlak en reageert met actieve oppervlaktegroepen. De overtollige precursormoleculen en reactieproducten worden vervolgens verwijderd met een spoelstap. Daarna reageert een coreactant in de tweede halfreactie met de geadsorbeerde precursor. Na een opvolgende spoelstap, waarin de gevormde reactieproducten wederom worden verwijderd, zijn het oppervlak en de reactor klaar voor een nieuwe ALD-cyclus. De zelfbeperkende aard van ALD zorgt voor de kenmerkende voordelen van de techniek: atomaire controle over laagdikte en chemische samenstelling, en het aanbrengen van conforme en uniforme lagen.



Figuur 3. Schematische weergave van de stappen in een ALD-cyclus. (Figuur gebaseerd op [20])

druk in de kamer rond de 10^{-6} mbar wordt gehouden. Tijdens de ALD-cyclus neemt de druk in de kamer toe tot waarden tussen de 10^{-2} en 10^{-1} mbar, wat wordt geregeld met een vlinderklep. Op de bovenkant van de reactor is een indirecte ICP-bron (inductief gekoppeld plasma) gemonteerd, waarmee we verschillende gassen tot plasma kunnen ontsteken. Deze plasma's kunnen als oppervlaktebehandelingen worden gebruikt, bijvoorbeeld om een substraat schoon te maken, of als coreactant worden ingezet.



Figuur 4. Schematische weergave van de FlexAL ALD vacuümreactor van Oxford Instruments die wordt gebruikt voor het ontwikkelen en deponeren van de grensvlaklagen. (Figuur gebaseerd op [3])



Figuur 5. Foto van de in-huis ontwikkelde VTM met een interne diameter van 7 cm.

De inlaadsluis is in-huis gemodificeerd om vacuümtransport van luchtgevoelige materialen mogelijk te maken tussen de ALD-reactor en een glovebox. Hiervoor is een speciale vacuümtransportmodule (VTM) ontwikkeld, bestaande uit een substraathouder en een vacuümdeksel, met een interne diameter van 7 cm (zie Figuur 5). Aan de glovebox-zijde van het transport wordt het vacuüm gecreëerd door de VTM in de antechamber te brengen en deze af te pompen. Wanneer de druk in de antechamber weer toeneemt, is de VTM geseald. De VTM kan in de glovebox worden belucht middels de schroef op de bovenkant van de deksel. Aan de reactorzijde wordt de gesealde VTM in de inlaadsluis geplaatst, waarna deze wordt afgepompt en het drukverschil binnen en buiten de VTM verdwijnt. Hierdoor kan de vacuümdeksel worden opgetild en de substraathouder in de reactorkamer worden gebracht. Wanneer het ALD-proces klaar is, kan de vacuümdeksel terug op de substraathouder worden geplaatst in de afgepompte inlaadsluis. De VTM wordt opnieuw geseald zodra de inlaadsluis wordt belucht.

Qua analytische technieken is de vacuümkamer voorzien van een in-situ spectroscopische ellipsometer (SE) en een quadropool-massaspectrometer (QMS), via een $150 \mu\text{m}$ pinhole. SE meet twee grootheden, ψ en Δ , van gepolariseerd licht dat op het substraat reflecteert. ψ geeft de amplitudeverhouding tussen p- en s-gepolariseerd licht en Δ het faseverschil tussen beide, waarmee laagdikte, optische constanten (n en k) en oppervlakteruwheid kunnen worden bepaald. De QMS wordt differentiaal afgepompt met een turbopomp en opereert onder een druk van 10^{-6} mbar om de werking veilig te stellen. Met de QMS wordt de massaladingverhouding (m/z) van moleculen in de gasfase geanalyseerd om de chemische samenstelling van reactieproducten tijdens ALD-processen te monitoren [21]. Met SE en MS kunnen we tijdens ALD-cycli monitoren hoe de laagdikte ontwikkelt en welke reactieproducten worden gevormd wanneer precursor en coreactant met het substraat reageren.

De vacuümopstelling die we gebruiken voor het ontwikkelen en deponeren van onze dunne lagen is een FlexAL ALD-reactor van Oxford Instruments (zie Figuur 4). De vacuümkamer is verbonden met een inlaadsluis (loadlock), welke wordt afgepompt met een scrollpomp. De kamer zelf is verbonden met een draaischuifpomp, die als voorpomp dient, en een turbomoleculaire pomp waarmee de

Röntgen-foto-elektronenspectroscopie (XPS)

XPS is een techniek waarmee, op basis van het foto-elektrisch effect, de bindingsenergieën van de elementen in een materiaal kunnen worden bepaald. Een XPS-diepteprofiel combineert spectroscopie met sputteren van het materiaal. Om het diepteprofiel op te stellen, wordt de laag in stappen gesputterd en vervolgens worden er spectra gemeten van de verschillende elementen. XPS opereert onder ultrahogvacuüm en vereist een basisdruk lager dan 10^{-8} mbar, die wordt bereikt met een turbopomp en een titaniumsublimatiepomp. De XPS-opstelling is voorzien van een commerciële VTM voor vacuümtransport van luchtgevoelige materialen.

brenge van deze ultradunne gesloten grensvlaklagen; zie het kader. ALD-lagen worden al uitgebreid onderzocht op NMC-kathodes (Gen I) [10]-[13] en er is ook toenemende interesse voor ALD op Si-anodes (Gen II) [14]-[16]. Doorgaans worden hiervoor metaaloxides, zoals Al_2O_3 , gebruikt met sub-nanometer diktes. Dit is essentieel, omdat deze metaaloxides doorgaans slechte ionische geleiders zijn. Recentere ontwikkelingen richten zich op ALD-lagen specifiek voor toepassing in batterijen, waarbij ionische geleiding en elektrochemische stabiliteit hoge prioriteit hebben [17]-[19].

Ons onderzoek focust zich op het toepassen van ALD-lagen op Gen II- en Gen III-batterijmaterialen: Si-anodes, Li-anodes en vastestofelektrolyten, waarvan Li-argyrodiet ($\text{Li}_6\text{PS}_5\text{X}$ ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}$)) de hoogste ionengeleiding bereikt en vloeibare elektrolyten evenaart. ALD-processen van Li-bevattende materialen voor Li-metaalanodes vormen het hoofdonderwerp van dit artikel.

ALD van Li_2CO_3

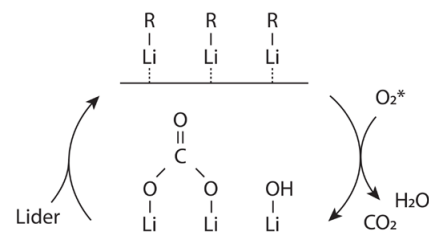
Een van de materialen waarvoor we een ALD-proces ontwikkelden is Li_2CO_3 , een materiaal dat ook veel voorkomt in natuurlijk gevormde EEI's. Hiertoe hebben we een nieuwe lithiumprecursor, LiderTM (organometallische lithiumprecursor van Air Liquide), gecombineerd met een zuurstofplasma (O_2^*) (zie Figuur 6). Op basis van diagnostiek die wij in situ toepassen, oftewel tijdens het ALD-proces, kunnen we het groeimechanisme verklaren. In de eerste halfreactie adsorbeert Lider op het substraatoppervlak. Vervolgens wordt het oppervlak blootgesteld aan een O_2^* ; hierbij worden de organische liganden van de lithiumprecursor

verwijderd en Li-OH oppervlaktegroepen gevormd. De verwijderde liganden ondergaan een verbrandingsreactie met het O_2^* , waarbij H_2O en CO_2 worden gevormd. De CO_2 reageert vervolgens met de -OH oppervlaktegroepen, waardoor Li_2CO_3 wordt gevormd.

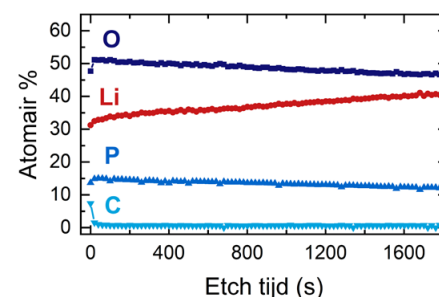
ALD van lithiumfosfaat (LiPO)

De Lider + O_2^* ALD-cyclus, waarmee we Li_2CO_3 groeien, vormt de basis voor de synthese van lithiumfosfaat (LiPO). Wanneer dit materiaal vervolgens wordt gedoteerd met stikstof, is het interessant als grensvlaklaag vanwege de hoge stabiliteit en ionische geleidbaarheid [22]-[24]. De LiPO-cyclus begint wederom met Lider, gevolgd door een O_2^* . Het fosfaat wordt vervolgens toegevoegd middels een extra ALD-cyclus waarin de precursor trimethylfosfaat (TMPO) gecombineerd wordt met een tweede O_2^* -stap. Zo'n complexere ALD-cyclus wordt een supercyclus genoemd. Opmerkelijk genoeg observeren we dat de lagen, gegroeid met deze Lider-en-TMPO-supercycli, vrij zijn van koolstofverontreinigingen (zie het XPS-diepteprofiel in Figuur 7 en het kader over XPS), ondanks het feit dat de eerste helft van de supercyclus Li_2CO_3 vormt.

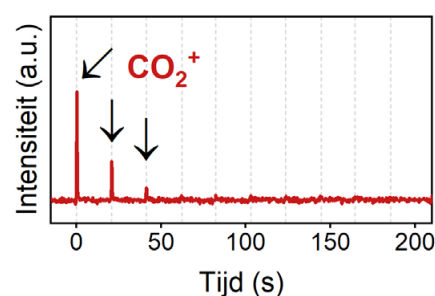
Via massaspectrometrie bestuderen wij welke moleculen worden gevormd tijdens de interactie van de ALD-precursoren met het oppervlak. Hierbij merken we specifiek op dat het blootstellen van Li_2CO_3 -lagen aan TMPO-pulsen leidt tot de formatie van CO_2 (zie Figuur 8). TMPO zorgt dus voor een chemische transformatiereactie waarbij carbonaat gesubstitueerd wordt door fosfaat; hierdoor zijn de LiPO-lagen vrij van carbonaatverontreinigingen.



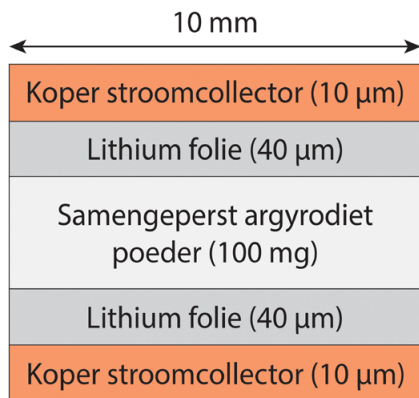
Figuur 6. Schematische weergave van het Li_2CO_3 ALD-proces.



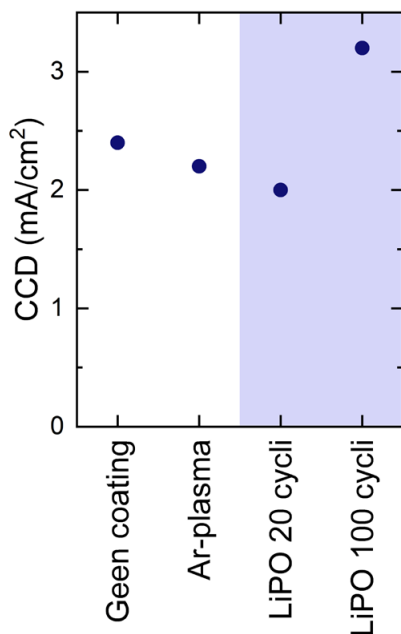
Figuur 7. XPS-diepteprofiel van een LiPO ALD-laag. Het atomaire percentage koolstof in de bulk is verwaarloosbaar. (Figuur is onderdeel van [24])



Figuur 8. Intensiteit van het $m/z = 44$ amu signaal, dat kenmerkend is voor CO_2^+ , van de massaspectrometer gevolgd over tijd. (Figuur is onderdeel van [24])



Figuur 9. Schematische weergave van de Li | argyrodiet | Li halve cel. Via de koperen stroomcollector wordt de stroom over de cel aangebracht.



Figuur 10. Kritieke stroomdichtheid voor Li-folies zonder coating, blootgesteld aan Ar-plasma, en met een LiPO-laag van 20 of 100 ALD-cycli. (Ongepubliceerde data).

Toepassing van ALD LiPO op Li-metaalanode

We hebben de LiPO-laag aangebracht op Li-folie om de impact op de batterijprestaties te onderzoeken. Wegens de extreme luchtgevoeligheid van metallisch Li is de in-huis ontwikkelde VTM een onmisbare schakel in dit proces. Voorafgaand aan de LiPO-depositie hebben we de Li-folies met een Ar-plasma behandeld om koolstofverontreinigingen te verwijderen van het oppervlak. De chemische samenstelling, bepaald met XPS-metingen (waarvoor transport met de VTM essentieel is), van de LiPO-laag ($\text{Li}_{2,4}\text{PO}_{3,2}$) op Li-folie is vergelijkbaar met die op een

kristallijn-silicium-wafer ($\text{Li}_{2,7}\text{PO}_{3,7}$). Dit toont aan dat de ALD-laag consistent wordt gevormd, ongeacht het substraat.

Om de impact van de LiPO-laag op de batterijprestaties te kwantificeren, is de kritische stroomdichtheid (*critical current density*, CCD) bepaald. Hierbij wordt een symmetrische Li | argyrodiet | Li halve cel (zie Figuur 9) cyclisch belast met toenemende stroomdichtheden, terwijl de celspanning wordt gemeten. Bij lage stroomdichtheden blijft het voltage stabiel, maar zodra de kritische waarde wordt overschreden, treedt lokaal lithiumafzetting op, wat leidt tot dendrietgroei en interne kortsluiting. Dit is waarneembaar als een abrupte daling in het voltage. De maximale stroomdichtheid vóór deze daling wordt gedefinieerd als de CCD-waarde. Figuur 10 toont de CCD-waarden voor vier verschillende Li-folies: onbehandeld, blootgesteld aan Ar-plasma, en met een LiPO-laag van 20 of 100 ALD-cycli. Hoewel de laagdikte niet volledig geoptimaliseerd is in deze studie, toont de dikste LiPO-laag een significante verbetering in de CCD: 3,4 mA/cm² ten opzichte van 2,4 mA/cm² voor de onbehandelde folie. De verwachting is dat een hogere CCD leidt tot de volgende voordelen:

- Verhoogde veiligheid door gelijkmatigere stroomverdeling, wat dendrietgroei en kortsluiting onderdrukt.
- Snellere oplaadtijden, doordat de anode hogere (ont)ladingsstromen kan verwerken zonder degradatie.
- Langere levensduur, dankzij de betere stabiliteit van de anode.

Conclusie en toekomst van ALD voor batterijonderzoek

Dit onderzoek toont aan dat ALD een beloftevolle techniek is om de prestaties en stabiliteit van LiB's te verbeteren. Met *in-situ* diagnostiek hebben wij het groeimechanisme van Li_2CO_3 en LiPO onderzocht en verklaard. De toepassing van LiPO op Li-folie vertoont een significante CCD-verbetering, wat kan leiden tot verhoogde veiligheid, snellere

oplaadtijd en langere levensduur door de onderdrukking van dendrietgroei en degradatie. Deze resultaten markeren onze eerste stappen in het toepassen van ALD voor Gen III-batterijmaterialen.

In toekomstig werk willen we de transformatiereacties met TMPO op Li_2CO_3 verder inzetten voor het verwijderen van oppervlaktevontreinigingen op Li-folie. Daarnaast willen we de impact van meerdere ALD-processen op batterijprestaties onderzoeken, om zo de compatibiliteit van procesparameters (bijvoorbeeld: plasma of thermische co-reactanten, de depositietemperatuur en de chemie van de ALD-precursoren) met gevoelige batterijmaterialen (zoals Li-metaal en argyrodieten) te verkennen. Al met al zien we dat ALD een unieke kans biedt; door ultradunne, gesloten lagen aan te brengen kunnen we formatiecycli verkorten, degradatieprocessen onderdrukken en de levensduur, veiligheid en energiedichtheid van batterijen verbeteren. Ook belangrijk is het benchmarken van de prestatie van ALD-lagen ten opzichte van de reeds gebruikte coatingtechnologieën. Tot slot, we werken binnen het BatteryNL-consortium samen met industriële partners om met ALD-processen op te schalen naar *high-throughput spatial* ALD (een versie van ALD waarin de verschillende halfreacties plaatsvinden op verschillende locaties, in plaats van op verschillende momenten in de tijd). Dit met het oog op de toekomstige integratie van ALD in batterijproductiefaciliteiten.

Dankwoord

Dit onderzoek is deel van het "BatteryNL – next generation batteries based on understanding materials interfaces" project (NWA.1389.20.089) van het NWA-onderzoeksprogramma "Onderzoek op Routes door consortia (ORC)" gefinancierd door NWO. Met dank aan Jan Franse Brakenhoff (RUG en BatteryNL) voor het uitvoeren van de CCD-metingen.

Referenties

- [1] “Jaaroverzicht 2025 | Nationaal Energie Dashboard”, www.ned.nl/index.php/nl/achtergrond/jaaroverzicht-2025 (24-2-2026).
- [2] “Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2019 - Lithium-ion batteries”.
- [3] N. Hornsveld, “Atomic layer deposition for Li-ion batteries: Novel chemistries, surface reactions and film properties”, TU Eindhoven, 2022.
- [4] R. Schmich, *et al.*, “Performance and cost of materials for lithium-based rechargeable automotive batteries”, *Nat. Energy*, vol. 3 (4), pp. 267-278, 2018, doi:10.1038/s41560-018-0107-2.
- [5] A. Manthiram, “An Outlook on Lithium Ion Battery Technology”, *ACS Cent. Sci.*, vol. 3 (10), pp. 1063-1069, 2017, doi:10.1021/acscentsci.7b00288.
- [6] S. Chen, *et al.*, “Issues and challenges of layered lithium nickel cobalt manganese oxides for lithium-ion batteries”, *J. Electroanal. Chem.*, vol. 895, p. 115412, 2021, doi:10.1016/j.jelechem.2021.115412.
- [7] B. Visone, *et al.*, “Recovery of LiFePO₄ cathodes: Criticalities and prospect towards a long-term eco-friendly solution”, *J. Power Sources Adv.*, vol. 31, p. 100168, 2025, doi:10.1016/j.powera.2025.100168.
- [8] M. Dorri, *et al.*, “Exploring sustainable lithium iron phosphate cathodes for Li-ion batteries: From mine to precursor and cathode production”, *J. Power Sources*, vol. 656, p. 238041, 2025, doi:10.1016/j.jpowsour.2025.238041.
- [9] J.C. Bachman, *et al.*, “Inorganic Solid-State Electrolytes for Lithium Batteries: Mechanisms and Properties Governing Ion Conduction”, *Chem. Rev.*, vol. 116 (1), pp. 140-162, 2016, doi:10.1021/acs.chemrev.5b00563.
- [10] M.D.H.C. Peiris, *et al.*, “Aluminum Oxide Coatings on Co-Rich Cathodes and Their Interactions with Organic Electrolyte”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, p. 14976, 2025, doi:10.1021/acscami.5c14976.
- [11] Y.S. Jung, *et al.*, “Ultrathin Direct Atomic Layer Deposition on Composite Electrodes for Highly Durable and Safe Li-Ion Batteries”, *Adv. Mater.*, vol. 22 (19), pp. 2172-2176, 2010, doi:10.1002/adma.200903951.
- [12] Z. Ahaliabadeh, *et al.*, “Understanding the Stabilizing Effects of Nanoscale Metal Oxide and Li-Metal Oxide Coatings on Lithium-Ion Battery Positive Electrode Materials”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 13 (36), pp. 42773-42790, 2021, doi:10.1021/acscami.1c11165.
- [13] J.A. Nguyen, *et al.*, “Identifying the Role of the TMA/H₂O Atomic Layer Deposition Process on NMC811 Electrochemical Performance”, *ACS Appl. Energy Mater.*, vol. 8 (12), pp. 8117-8129, 2025, doi:10.1021/acsaem.5c00625.
- [14] Y. Li, *et al.*, “Tuning electrochemical performance of Si-based anodes for lithium-ion batteries by employing atomic layer deposition alumina coating”, *J. Mater. Chem. A*, vol. 2 (29), pp. 11417-11425, 2014, doi:10.1039/C4TA01562B.
- [15] E.M. Lotfabad, *et al.*, “Si nanotubes ALD coated with TiO₂, TiN or Al₂O₃ as high performance lithium ion battery anodes”, *J. Mater. Chem. A*, vol. 2 (8), pp. 2504-2516, 2014, doi:10.1039/C3TA14302C.
- [16] J. Li, *et al.*, “Atomic Layered Coating Enabling Ultrafast Surface Kinetics at Silicon Electrodes in Lithium Ion Batteries”, *J. Phys. Chem. Lett.*, vol. 4 (20), pp. 3387-3391, 2013, doi:10.1021/jz4018255.
- [17] X. Zhou, *et al.*, “High-Performance Sulfide All-Solid-State Batteries Enabled by High-Voltage Ni-Rich Cathode with a Conformal and Conductive Protective Layer”, *ACS Appl. Energy Mater.*, vol. 7 (6), pp. 2524-2532, 2024, doi:10.1021/acsaem.4c00127.
- [18] O. Tiurin, *et al.*, “Atomic layer deposition (ALD) of lithium fluoride (LiF) protective film on Li-ion battery LiMn_{1.5}Ni_{0.5}O₄ cathode powder material”, *J. Power Sources*, vol. 448, p. 227373, 2020, doi:10.1016/j.jpowsour.2019.227373.
- [19] J. Pope, *et al.*, “Enhanced Performance of Silicon Anodes through Hybrid Surface Engineering”, *ACS Appl. Energy Mater.*, vol. 8 (11), pp. 7182-7192, 2025, doi:10.1021/acsaem.5c00537.
- [20] H.C.M. Knoops, *et al.*, “Atomic Layer Deposition”, in *Handbook of Crystal Growth*, Elsevier, 2015, pp. 1101-1134, doi:10.1016/B978-0-444-63304-0.00027-5.
- [21] M.J. Pieters, *et al.*, “Role of the Coreactant on the Dual-Source Behavior of Lithium Hexamethyldisilazide for ALD Li-Containing Films”, *J. Phys. Chem. C*, vol. 128 (46), pp. 19638-19647, 2024, doi:10.1021/acsc.jpcc.4c05987.
- [22] B. Put, *et al.*, “Plasma-Assisted ALD of LiPO(N) for Solid State Batteries”, *J. Electrochem. Soc.*, vol. 166 (6), pp. A1239-A1242, 2019, doi:10.1149/2.1191906jes.
- [23] T. Tsuruoka, *et al.*, “Effects of Plasma Reactants on Atomic Layer Deposition of Lithium Phosphate and Lithium Phosphorus Oxynitride Electrolyte Films”, *Chem. Mater.*, vol. 36 (12), pp. 6193-6204, 2024, doi:10.1021/acs.chemmater.4c00960.
- [24] M.J. Pieters, *et al.*, “Chemical Vapor Transformation of Lithium Carbonate during Plasma-Assisted ALD Growth of Lithium Phosphate”, *J. Phys. Chem. C*, p. 6c00538, 2026, doi:10.1021/acsc.jpcc.6c00538.

5 juni, VSL, Delft NEVAC-dag 2026

De NEVAC-dag 2026 vindt plaats op vrijdag 5 juni bij VSL, het Nationaal Metrologie Instituut van Nederland, in Delft. Organisatie: Freek Molkenboer (NEVAC, freek.molkenboer@tno.nl) en Wouter Stiphout (VSL, wstiphout@vsl.nl); contacteer onder vermelding van NEVAC-dag 2026.

Aanmelding

De inschrijving sluit op vrijdag 22 mei.

Meld je aan met het formulier op www.nevac.nl/over_NEVAC/NEVAC-dag.php (via de QR-code hiernaast te benaderen).

Bedrijven kunnen zich hier ook aanmelden voor de bedrijvenmarkt.

Informatie: Pieter Heidema, pieter.heidema@vacuubrand.com



Programma

8:45	Opbouw stands bedrijvenmarkt
9:00	Ontvangst met koffie en thee
10:00	Opening door NEVAC-voorzitter Freek Molkenboer en dagvoorzitter Wouter Stiphout (VSL) Introductie door Fabienne van Booma - de Smit, CEO van VSL
10:15	Titel nader aan te kondigen, Valerie Derpmann (Inficon)
10:50	Advances in traceable vacuum and outgassing rate measurements, Matthias Bernien (PTB)
11:25	Uitreiking NEVAC-prijs
11:35	Presentatie door NEVAC-prijswinnaar, Niels Hoogendoorn (TU/e)
12:00	Algemene Ledenvergadering NEVAC, incl. lunch Bedrijvenmarkt, incl. lunch
13:00	Rondleiding VSL-laboratoria, incl. lunch Bedrijvenmarkt, incl. lunch
14:00	Vacuümitdagingen voor de Einstein Telescope, Patrick Werneke (Nikhef)
14:35	RGA: naar een hogere nauwkeurigheid in gasanalyse, Timo Huijser (TNO)
15:10	Koffie en thee
15:40	At the Interface of EUV Lithography and Plasma Catalysis, Roland Bliem (ARCNL)
16:15	Uitreiking NEVAC-diploma's
16:30	Afsluiting
16:35	Rondleiding VSL-laboratoria / Borrel
18:00	Einde NEVAC-dag

VSL

De NEVAC-dag 2026 bij VSL in Delft wordt een dag vol kennis delen en netwerken, met een bedrijvenmarkt en een kijkje achter de schermen tijdens een rondleiding in de laboratoria.

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. 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.

Adres

VSL
Thijsseweg 11
2629 JA Delft

Bereikbaarheid met OV en auto:

- Reisinformatie VSL: www.vsl.nl/wp-content/uploads/2023/11/General-Information-visit-VSL-1.pdf
- Parkeren: bij en rond VSL, gratis.

HiScroll - uiterst stil, compact én olievrij
Gebruik de code: NEVAC | Geldig tot 30 juni 2026

Gratis TipSeal onderhoudskit bij een nieuwe HiScroll

HiScroll-pompen zijn efficiënte, krachtige en olievrije vacuümpompen. Dankzij het extreem lage geluids- en trillingsniveau zijn ze ideaal voor analytische, industriële en wetenschappelijke toepassingen in het vacuümbereik tot 10^{-3} hPa (mbar).



Part of the **BUSCH GROUP**

PFEIFFER
VACUUM + FAB SOLUTIONS

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

Advances in traceable vacuum and outgassing rate measurements



Matthias Bernien
Werkgroepleider Vacuum Metrology, PTB

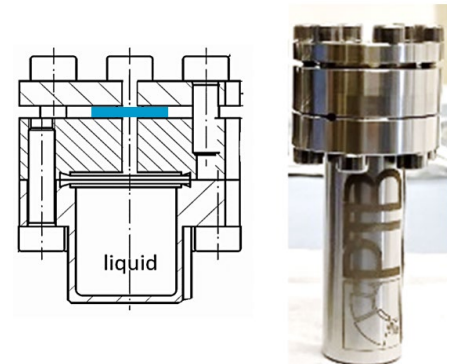
reducing the uncertainty of primary pressure realisations in the vacuum regime and in improving the reliability of transfer standards for pressure and outgassing rates.

In the pressure range from 10 mPa to 1,300 Pa, a fully automated static expansion system made of aluminium has been set up and validated. Its principle involves transferring a fixed amount of gas from a smaller volume to a larger one, creating a well-defined lower pressure, provided that the initial pressure and the volume ratio are accurately known. Relative standard measurement uncertainties between 0.08% and 0.012% are achieved.

Primary standards based on cold atom traps promise a new route to the realisation of the Pascal in the ultra-high vacuum range by measuring the loss rate induced by collisions with gas molecules. To establish such standards, com-

parisons with conventional standards must be carried out to validate their working principle.

In the semiconductor industry, the outgassing of components in vacuum must be well controlled. These contaminants are monitored using quadrupole mass spectrometers (QMSs). However, a quantitative measurement of the amount of contamination is challenging as QMSs inherently lack stability. To improve the comparability of outgassing rate measurements, PTB together with IMT and industrial partners has developed outgassing rate reference samples for dodecane and water.



Outgassing reference leak for water or dodecane.

The reliability of quantitative pressure and outgassing rate measurements in vacuum is a prerequisite for many industrial and scientific applications. Accuracy is ensured through a chain of calibrations relating it to a primary standard at a national metrology institute. This presentation will provide an overview on the advances of PTB's Vacuum Metrology Group both in

Vacuümitdagingen voor de Einstein Telescope

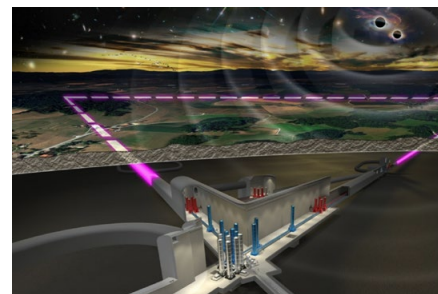


Patrick Werneke

Senior engineer bij Nikhef en hoofd van de Engineeringafdeling van de Einstein Telescope Organisation

ropa's meest geavanceerde observatorium voor zwaartekrachtsgolven worden. Daarmee kunnen onderzoekers extreem kleine trillingen meten van onder meer botsende zwarte gaten en zo nieuwe inzichten verkrijgen over het zeer vroege heelal. De extreem hoge meetnauwkeurigheid maakt de telescoop echter bijzonder gevoelig voor externe trillingen en verontreiniging in de detector. In deze presentatie worden het ontwerp en de werking van de Einstein Telescope besproken,

alsmede de redenen voor en technologische uitdagingen van het realiseren van het ultrahoge vacuüm (UHV).



Artist impression van de Einstein Telescope, met een zwaartekrachtgolf opgewekt door twee botsende zwarte gaten. Elke detectorarm van 10 km lang bevat vier vacuümbuizen van 1 m diameter. (Beeld: Marco Kraan, Nikhef)

De ondergrondse Einstein Telescope (www.einsteintelecope.eu) moet Eu-

RGA: naar een hogere nauwkeurigheid in gasanalyse

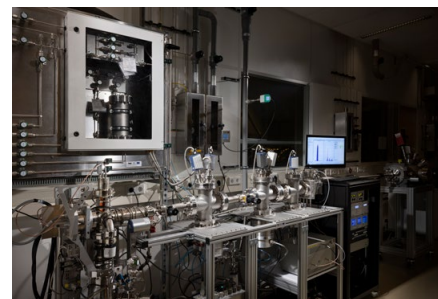


Timo Huijser

Research engineer vacuümsystemen, TNO

Het nauwkeurig bepalen van gassenstellingen en de bijbehorende partiële drukken vormt echter een grote uitdaging, met name bij relatief hoge gasdrukken. Klanten van TNO stellen vaak hogere eisen aan de nauwkeurigheid dan standaard RGA-systemen kunnen bieden. Om aan deze behoefte te voldoen, ontwikkelt TNO verbeterde RGA-metrologie door optimalisatie van instellingen en meetmethoden, én door modellering van de ionenbron om te corrigeren voor chemische en fysieke artefacten. Deze presentatie licht

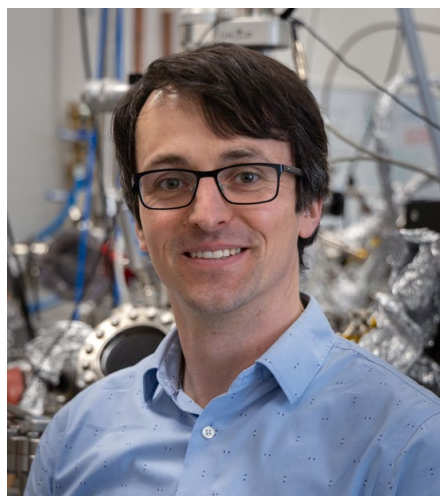
de uiteenlopende werkzaamheden toe op het gebied van RGA binnen TNO, afdeling Semiconductor Equipment Metrology, in Delft.



TRACER, een van de RGA-testopstellingen van TNO.

Restgasanalyse (RGA) wordt veelvuldig toegepast voor kwalitatieve analyses zoals lekdetectie en contaminatieonderzoek binnen vacuümsystemen.

At the Interface of EUV Lithography and Plasma Catalysis



Roland Bliem

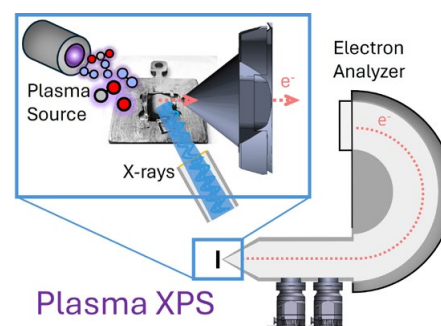
Groepsleider Materials and Surface Science for Extreme Ultraviolet Lithography bij ARCNL en universitair hoofddocent aan de UvA

accurate prediction of surface reactions in plasma requires in-depth knowledge of the active state of the surface and its evolution in plasma.

For latest-generation nanolithography for chip manufacturing as well as plasma-assisted catalytic conversion, selected materials are exposed to plasma conditions, characterised by highly reactive species. These often experience a lower barrier for interactions at surfaces, which can, for example, enhance catalytic reactions and facilitate plasma-assisted cleaning, thus preventing oxidation and carbon build-up during exposure to ionising radiation in extreme-ultraviolet lithography (EUVL). The

At ARCNL, surface reaction mechanisms in the plasmas of EUVL and plasma catalysis are unravelled, untangling the interactions of surfaces with the 'zoo' of reactive species by combining in-situ photoelectron spectroscopy in plasma-activated environments with optical emission spectroscopy and residual gas analysis. Copper, for example, is a promising material regarding resistance to the hydrogen plasma of EUVL, while also being considered as the prime candidate for plasma-catalytic hydrogenation of CO₂ to valuable fuels such as methanol. Upon exposure to plasma-activated N₂, a common trace gas

in EUVL set-ups, Cu(111) surfaces are covered with a disordered monolayer of adsorbed nitrogen. In hydrogen, the metallic state of the surface is restored, leaving a small fraction of reacted nitrogen behind. In CO₂-rich plasma for hydrogenation, on the other hand, the Cu(111) surface remains terminated by an oxidised layer. Tracking the individual steps of oxidation and reduction processes allows identification and characterisation of a non-equilibrium Cu(I) phase as a relevant termination for Cu-based plasma catalysis.



In-situ X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) in plasma-activated environments.

Concept-agenda NEVAC Algemene Ledenvergadering 5 juni 2026

1. Opening
2. Bestuur
3. Vaststellen van de agenda
4. Mededelingen
 - Interne en externe activiteiten bestuur
5. Conceptnotulen
6. Jaarverslagen
7. Financieel overzicht en begroting
8. Kascommissieverslag
9. Benoeming nieuwe kascommissieleden
10. Decharge bestuur
11. Bestuursmutatie
12. Rondvraag
13. Sluiting

De vergaderstukken voor de punten 5 t/m 8 zijn vanaf 20 mei online in te zien, op www.nevac.nl/pdf/NEVAC_ALV_2026.pdf of via de link van de QR-code.



Word nu NEVAC-lid

en ontvang driemaal per jaar het NEVAC blad.

Andere voordelen Kosten per jaar

Contact met vakgenoten	Gewone leden € 35,-
Vakexcursies	Studenten en promovendi € 5,-
Symposia	Bedrijfsleden € 205,-

Voor bedrijfsleden U kunt zich aanmelden op
Vermelding op de NEVAC-website www.nevac.nl



PFAS-consultatie

Op 26 maart 2026 heeft het Risk Assessment Committee (RAC) van de European Chemicals Agency (ECHA) een finale opinie gepubliceerd op het gebied van een EU-breed verbod op PFAS. Tege-

lijk heeft het Socio-Economic Analysis Committee (SEAC) een concept-opinie gepubliceerd. Daarvoor loopt nu gedurende twee maand een consultatie; belanghebbenden kunnen reageren tot en

met 25 mei 2026. Dit is ook voor NEVAC-leden belangrijk.

echa.europa.eu/restrictions-under-consideration/-/substance-rev/72301/term

Alvast in de agenda: IUVSTA Vacuum School

De Vacuum Technology division van IUVSTA is bezig om een vijfdaagse cursus te organiseren, die moet plaatsvinden van 19 tot en met 23 oktober 2026. Het zal grotendeels gaan over het ontwerpen en bedienen van vacuümsystemen. De voorgenomen locatie is het Karlsruhe Institute of Technology (KIT) in Karlsruhe (D). Wanneer er meer bekend is, wordt dit gedeeld op de NEVAC-website.

www.dvg-online.org/iuvsta-schools.html



Save the Date for IUVSTA Vacuum School at KIT in Karlsruhe (Germany)

19-23 October 2026

Logos: DVG, IUVSTA, KIT (Karlsruher Institut für Technologie)

ACCLON TECHNOLOGIES

Dé professional voor vacuümpompen & gloveboxen



DOOR INNOVATIE OP WEG NAAR EEN DUURZAME TOEKOMST

Scan voor contact



Mooie mix voor NEVAC-dag

In deze editie vindt u het programma voor de aankomende NEVAC-dag, op vrijdag 5 juni. Het programma wordt gezamenlijk samengesteld door het NEVAC-bestuur en de organiserende organisatie, in dit geval VSL. Elke editie proberen we een mooie mix te maken van onderwerpen. We benutten graag het netwerk van VSL om extra aandacht te geven aan de state-of-the-art ontwikkelingen in drukmeters. Daardoor zijn we dit keer niet volledig Nederlandstalig.

Op ledenverzoek is de ALV nu direct na de afsluitende presentatie van de ochtend. De verwachting is dat dit zal bijdragen aan een hogere opkomst. We bespreken tijdens de ALV de activiteiten van het afgelopen jaar, de plannen voor het komende jaar en de financiële positie van de NEVAC. De stukken zullen minimaal twee weken voor de ALV op de NEVAC-website worden geplaatst. U ontvangt hiervoor een link per e-mail. Mocht u twijfelen of uw e-mailadres bij ons

bekend is, stuur dan een bericht naar secretaris@nevac.nl.

Over de secretaris gesproken, de eerste termijn van Pieter Heidemaloop dit jaar af. Pieter stelt zich graag beschikbaar voor een nieuwe termijn, en hiervoor dragen wij als bestuur hem graag voor. Andere kandidaten kunnen zich tot één maand voor de ALV aanmelden via voorzitter@nevac.nl.

Vorig najaar hebben we onze eerste binnenlandse excursie sinds tijden ge-

organiseerd: een bezoek aan Demaco. Zoals beschreven in de vorige editie van het NEVAC blad was dit een zeer geslaagd bezoek. We willen hiermee doorgaan en zijn inmiddels in gesprek met een volgend bedrijf. Andere bedrijven nodigen wij van harte uit om zich bij het bestuur te melden voor het organiseren van toekomstige excursies.

Onze overige activiteiten van het afgelopen jaar, evenals nieuwe voorstellen, zullen we presenteren tijdens de ALV.



Agilent Leak Detectors

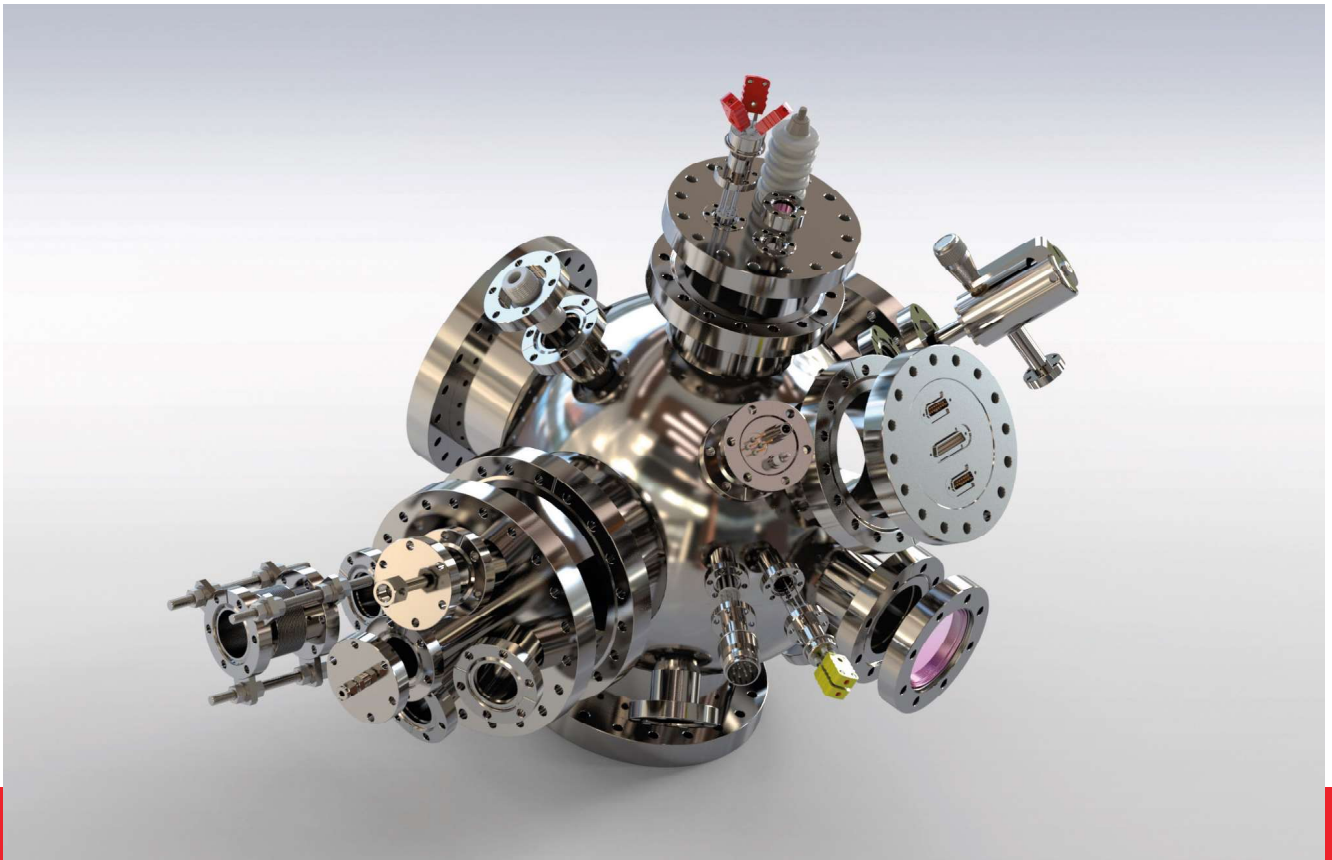
Stability and Performance in Any Leak Detection Application

Agilent's range of leak detection solutions ensure the safety, security, and consistent performance of research, vacuum, and industrial process systems. Our Helium Leak Detector (HLD), PHD-4 and Multi-Gas CrossLab sniffers, as well as C15 component leak detector are rugged, precise, and easy-to-use instruments that accurately and efficiently detect leaks in an array of industrial applications.



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

© Agilent Technologies, Inc. 2025



- 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

Synchrotron-globetrotter

Friso van der Veen studeerde Experimentele Natuurkunde, werd er ook hoogleraar in en deed vooral onderzoek aan de atomaire en moleculaire structuur van oppervlakken. Daarvoor gebruikte hij veelal röntgenstraling uit synchrotrons, die strenge vacuümcondities vereisen. Dat deed hij bij diverse synchrotrons in Europa en Amerika; in 2000 werd hij onderzoeksdirecteur van de nieuwe Swiss Light Source van het Paul Scherrer Instituut. “Dat was een hoogtepunt in mijn loopbaan, om die faciliteit mede vorm te geven en te gaan runnen.” Op vacuümgebied was hij (inter)nationaal actief in de NEVAC en IUVSTA. Het leverde hem een IUVSTA-prijs en het NEVAC-erelidmaatschap op.

Tijdens zijn studie Experimentele Natuurkunde in Utrecht liep Friso van der Veen (Utrecht, 1949) stage bij CERN. “Ik was geïnteresseerd in deeltjesfysica, maar ben daarna van pad veranderd en in de plasmafysica gedoken bij FOM, toen nog in Rijnhuizen. Dat liep echter niet zo goed en daarom ben ik overstapt naar FOM-instituut AMOLF (Atoom- en Molecuulfysica, red.) in Amsterdam voor mijn promotieonderzoek.” Hij deed er onderzoek aan de atomaire structuur van oppervlakken met behulp van ionenverstrooiing. “Daar kwam de vacuümtechnologie weer om de hoek kijken (die bij CERN natuurlijk ook een grote rol speelt, red.)” In 1978 promoveerde hij bij de hoogleraren Jacob Kistemaker, toenmalig directeur van AMOLF, en Frans Saris, de latere directeur van AMOLF en van Energieonderzoek Centrum Nederland in Petten; titel van het proefschrift: “Ion-beam crystallography of clean and adsorbate covered metal surfaces”.

Voor Pampus

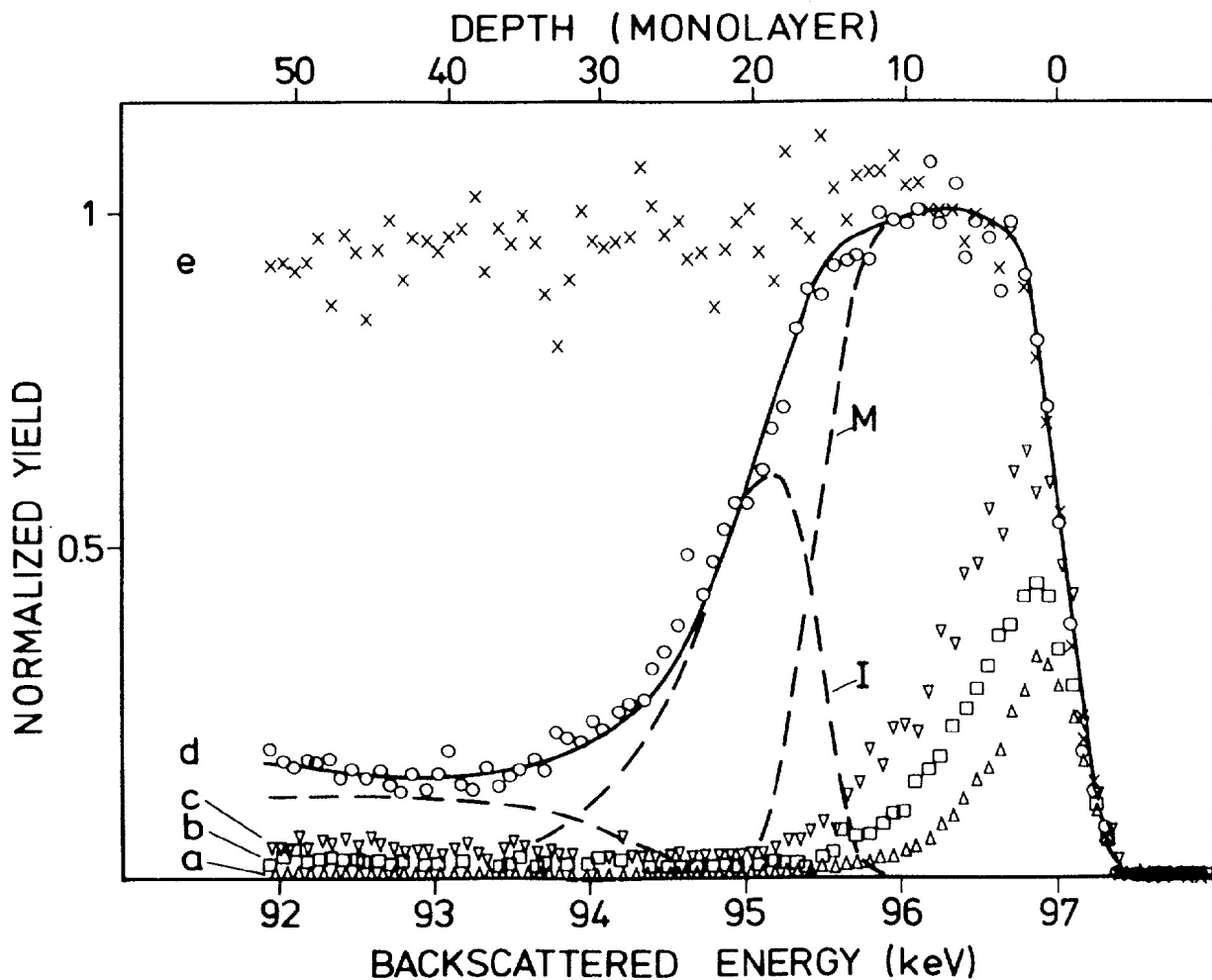
Als post-doc onderzoeker bij IBM in de VS maakte hij in Wisconsin voor het eerst kennis met een synchrotronstralingsfaciliteit. In een opslagring rondcirkelende elektronen ondergaan er een centripetale versneling, waardoor zeer intense, voorwaarts gerichte röntgenstraling wordt opgewekt. De röntgenbundels worden gebruikt voor multidisciplinair onderzoek. “Ik had gehoord van plannen, project Pampus, om een synchrotron in Nederland te bouwen. Daarom leek het me een goed idee om in Amerika te beginnen aan onderzoek met een synchrotron. Dat ging goed en ik kon er blijven, maar besloot om toch terug te gaan naar Nederland. Daar hoorde ik thuis en zou ik aan de slag kunnen met Pampus, dat waarschijnlijk wel door zou gaan. Helaas werd het al spoedig afgeblazen omdat er te weinig geld voor was, met als argument dat het voor het bedrijfsleven niet interessant was. Dat bleek achteraf een volkomen verkeerde inschatting. In de synchrotrons waar ik heb gewerkt, werd het in toenemende mate belangrijk om röntgenbundels beschikbaar te stellen voor industriële research, bijvoorbeeld om met beeldgevende technieken diep in materialen te kunnen kijken.”

Smelten van oppervlakken

Van der Veen kon wel aan de slag als staflid bij AMOLF en werd er leider van de oppervlaktefysicagroep. “Het onderzoek leidde in 1985 tot de in mijn ogen belangrijkste publicatie uit mijn loopbaan, samen met Joost Frenken, over het detecteren van het smelten van oppervlakken. Tegelijkertijd was er een fijne samenwerking met Philips Natlab voor moleculaire bundelepitaxie, waarvoor vacuümcondities ook belangrijk waren. Ik maakte onder meer gebruik van de bundellijn van het synchrotron in Orsay (Fr). En samen met onderzoekers van Philips zijn we atoomlaag voor atoomlaag halfgeleiderkristallen gaan groeien. We bleken er nanolaagjes mee te kunnen opbouwen en werkten vooral met galliumarsenide. Met steun van NWO ben ik toen een bundellijn gaan opbouwen bij het synchrotron in Daresbury (VK) om kristalgroei verder te bestuderen.”



Friso van der Veen.



Voorspellingen dat smelten al ruim onder het normale smeltpunt bij het oppervlak zou beginnen, bestonden in 1985 al enige tijd. Het eerste overtuigende bewijs voor dit belangrijke verschijnsel kwam van ionenverstrooiingsmetingen aan het (110) oppervlak van lood. (Bron: "Impact – 60 jaar AMOLF", 2010).

De metingen werden uitgevoerd bij verschillende temperaturen (a 295 K, b 506 K, c 561 K, d 600,5 K en e 600,8 K), tot net boven de normale smeltemperatuur van lood (600,7 K). Verbreiding van de piek wijst op meer wanordelijk (vloeistof)gedrag aan het oppervlak, al ver onder de smeltemperatuur. (J.W.M. Frenken and J.F. van der Veen, *Phys. Rev. Lett.* 54, 134 (1985)).

Professor Experimentele Natuurkunde

Hij werd deeltijd-hoogleraar in Leiden (Oppervlaktefysica) en in Amsterdam om een studie Technische Natuurkunde van de grond te krijgen, wat niet echt lukte. Geleidelijk raakte hij meer in het management verzeild; zo werd hij technisch directeur van AMOLF. In 1997 stapte hij over naar de Universiteit van Amsterdam, waar hij professor in de Experimentele Natuurkunde werd in het Van der Waals-Zeeman Instituut. "We zaten toen in Nederland op het dieptepunt van de aanmeldingen voor een studie Natuurkunde. Ik kwam midden in een bezuinigingsgolf; dat was een moeilijke periode. Toen kwam er ineens een telefoontje uit Zwitserland, van het Paul Scherrer

Instituut (PSI), een overheidsinstituut tussen Basel en Zürich voor onderzoek in de natuurkunde en de chemie. Ik wist dat zij een synchrotron wilden bouwen en die plannen gingen door. Ze waren al begonnen met studies en zochten iemand die fulltime leiding ging geven aan het opzetten van de faciliteit. Daar kwam lastige vacuümtechnologie bij kijken en dat vond ik hartstikke interessant."

Naar Zwitserland

Van der Veen stapte erin en ging in 2000 naar Zwitserland. "Mijn echtgenote had zinvol werk hier dat ze wilde aanhouden. Ze wilde niet in Zwitserland achter de geraniums terechtkomen, dus vertrok ik alleen en ging

elke veertien dagen op en neer voor een weekend. Ik dacht dat het voor zeven, acht jaar zou zijn; dan was de faciliteit wel opgezet en zou de Swiss Light Source (SLS) goed draaien. Maar ik vond het zo leuk dat ik er tot mijn pensioen in 2014 heb gewerkt. Het was een hoogtepunt in mijn loopbaan, dit proces mee te maken en mede vorm te geven. Het begon met een groep van twintig mensen en groeide uit tot 150-200 medewerkers voor het synchrotron. Er wordt wel eens gedacht over Zwitserland als land van banken en alpenweiden, maar op de lijn van Basel naar Zürich vindt ontzettend veel innovatie plaats, vergelijkbaar met Silicon Valley. Per hoofd van de bevolking is het in Europa het innovatiefste land."



Panoramafoto van de Swiss Light Source, met in het midden de betonnen tunnel die de elektronenbundel herbergt. Links een eindstation, waar experimenten plaatsvinden met de röntgenstraling die wordt opgewekt door de elektronenbundel magnetisch van richting te laten veranderen. (Foto: Wikipedia, David Haberthür)

Structuur van opgesloten vloeistoflaagjes

Gekoppeld aan zijn functie bij PSI kreeg Van der Veen een professoraat in de Experimentele Natuurkunde aan de fameuze ETH Zürich. “Dat was eervol. Ik heb er veel college gegeven en onderzoek gedaan, dat we bij PSI uitvoerden, en intensief samengewerkt met collega’s van de ETH en de EPFL in Lausanne.” Zelf onderzocht hij de structuur van opgesloten vloeistoflaagjes. “Mijn oude werk met ionenbundels, om te zien hoe kristallen van buiten naar binnen smelten, wilde ik voortzetten met synchrotronstraling. Het smelt- en vriesgedrag van nanolaagjes tussen vaste kristallijne materialen komt in het dagelijks leven veel voor; als je een legering wilt maken, is het belangrijk om te weten wat er gebeurt dicht bij het smeltpunt. We hebben toen mooie resultaten behaald, niet met atomaire vloeistoffen, omdat het oplossend vermogen daarvoor onvoldoende was, maar met grotere, colloidale modelsystemen.”

Succesvolle Swiss Light Source

Van der Veen vindt het te veel eer om te worden betiteld als geestelijk vader van de SLS. “Het was allemaal teamwork. Samen hebben we de SLS kunnen uitbouwen tot een succesvolle experimentele faciliteit. Die trekt onderzoekers van over de hele wereld voor gebruik van onze technieken om te komen tot mooie publicaties. Samen met een versnellerfysicus was ik verantwoordelijk voor het runnen van de faciliteit, maar het was vooral een moedig besluit van de ETH-raad om hier veel geld in te steken. Er worden heel veel verschil-



Friso van der Veen met drie leden van het SLS-managementteam op het dak van de tunnel.

lende onderzoeksgebieden aangeboden, zoals chemie en materiaalkunde, met onder meer onderzoek aan katalysatoren, en ook eiwitkristallografie. Zo is hier de beslissende studie gedaan voor de structuurbepaling van het ribosoom (dat een centrale rol speelt in de eiwitsynthese, red.). Daarvoor is in 2009 de Nobelprijs voor Scheikunde toegekend; we waren er best trots op.”

Begrijpen hoe vacuüm werkt

Vacuüm was een rode draad in de loopbaan van Van der Veen. “Sterker nog, altijd een kritische aangelegenheid. In een synchrotron zijn de vacuümcondities heel streng, je hebt het over UHV. Het is moeilijk om dat allemaal goed te berekenen en daadwerkelijk te realiseren. Het gaat om faciliteiten van vele miljoenen en dan mag je geen fouten maken. Dat was best spannend bij de SLS, maar het is allemaal goed gegaan. Het vraagt

ook geduld. In het begin zag ik weinig vooruitgang in het wegpompen van gas om de installatie op vacuüm te brengen. Dat proces duurt een paar maanden, vertelde mijn collega.”

Gelukkig is sindsdien veel vooruitgang geboekt in de vacuümtechniek, stelt hij tevreden vast. Dat is volgens hem mede te danken aan de inzet van de vacuümverenigingen voor professionalisering van het vakgebied. “Een heleboel dingen waar ik vroeger tegenaan liep, zijn nu allemaal gestandaardiseerde praktijk. HBO’ers en MBO’ers die goed zijn opgeleid, nemen al het werk over dat je vroeger zelf deed. Goede contacten met leveranciers van de vacuümspullen zijn ook heel belangrijk. Maar je moet nog altijd zelf ook heel goed begrijpen hoe het werkt. Je moet meedenken en niet alles overlaten aan de experts die de spullen verkopen.”



Concert voor cello en twee versnellers (1990), met van links naar rechts Frances Marie Uitti, Friso van der Veen en Arjen Vredenberg. (Bron: Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde, december 2024)

Prijzen

De Zwitsers waren bij Van der Veen terechtgekomen via zo'n vacuümvereniging. Dat was bij de uitreiking van de IUVSTA Prize for Science, ingesteld door de internationale unie van nationale vacuümverenigingen. In 1998 werd deze driejaarlijkse prijs voor het eerst uitgereikt, aan Van der Veen, voor "pioneering investigations of surface and interface structure, disordering and melting through the development and application of medium energy ion scattering and surface x-ray diffraction". In de zaal zat iemand uit het zoekcomité voor de positie van SLS-onderzoeksdirecteur. "Ze wisten ook van mijn experimentele werk in Daresbury, Hamburg (DESY), Orsay en Wisconsin." Prijzen had Van der Veen ook eerder al gewonnen, zoals de Jacob Kistemaker Prijs, in 1987 door FOM toegekend aan hem en Frans Saris voor de ontwikkeling van ionenbundelkristallografie. In 1991 volgde de John Yarwood Memorial Medal van The British Vacuum Council.

Verenigingswerk

Over vacuümverenigingen gesproken, Van der Veen was vicevoorzitter en voorzitter van de NEVAC in de periode 1984-1990. Ook binnen de IUVSTA was

hij actief, als lid van de *executive council* en als voorzitter van het organisatiecomité voor het twaalfde International Vacuum Congress, dat in oktober 1992 plaatsvond in Den Haag. "Dat was veel werk, voor een groot congres en parallel daaraan een bedrijvenexpositie. Het was een mooie week, al was het jammer dat het de hele tijd keihard regende." Zijn verenigingswerk leverde hem het NEVAC-erelidmaatschap op.

Met collega-erelid Jan Verhoeven, die eerder al hoofdpersoon was in 'Loopbaan in chemie' (NEVAC blad, 62 (2), 2024), had hij in zijn tijd bij AMOLF veel contact. "Ik was beste maatjes met hem. We hadden heel veel gesprekken over technische zaken rond ons onderzoek met moleculaire bundelepitaxie. In het lab was hij de expert in vacuüm. Jan deelt op een heel fijne manier kennis met anderen en hij gaat nog altijd door met zijn onderzoek; dat verbaast me niets."

Mantelzorg en muziek

Na zijn pensioen in Zwitserland keerde Van der Veen terug naar ons land. "Mijn voornemen was om nog wat actief te blijven in de wetenschappelijke wereld, bijvoorbeeld als adviseur van het bedrijvent centrum van PSI. Helaas is dat an-

ders gelopen. Mijn vrouw werd ziek en ik heb toen het roer omgegooid en werd mantelzorger. In de supermarkt kwam ik wel eens een oud-collega tegen, ik bleef contact houden met Frans Saris en met mijn vroegere promovendi bleven we bij elkaar komen; dat was hartstikke leuk. Maar verder had ik alle afspraken afgezegd. Ik heb mijn energie naast de mantelzorg vooral gestopt in muziek, zoals het bespelen van een cello."

Overigens was de cello al eerder in zijn leven opgedoken. In 1990 werd er ter gelegenheid van de ingebruikname van een MeV-versnellerfaciliteit bij AMOLF een concert voor cello en twee versnellers gegeven. "Dat was een grap, een origineel idee van Frans Saris om de feestelijke opening op te luisteren met geluiden die je met een versneller kon maken. Het was in de grote experimenteerhal, met een beroepscelestiste. Ik was bespeler van een van de versnellers."

Tien jaar was Friso van der Veen mantelzorger, tot mijn vrouw eind 2024 overleed. "Je zou misschien denken dat ik al die jaren de wetenschap heb gemist, maar nu mis ik de zorg voor mijn vrouw. Het draait in het leven niet alleen om de dingen die je bijvoorbeeld in je werk doet, maar ook om de zorg voor je naaste."

Passion. Precision. Purity.

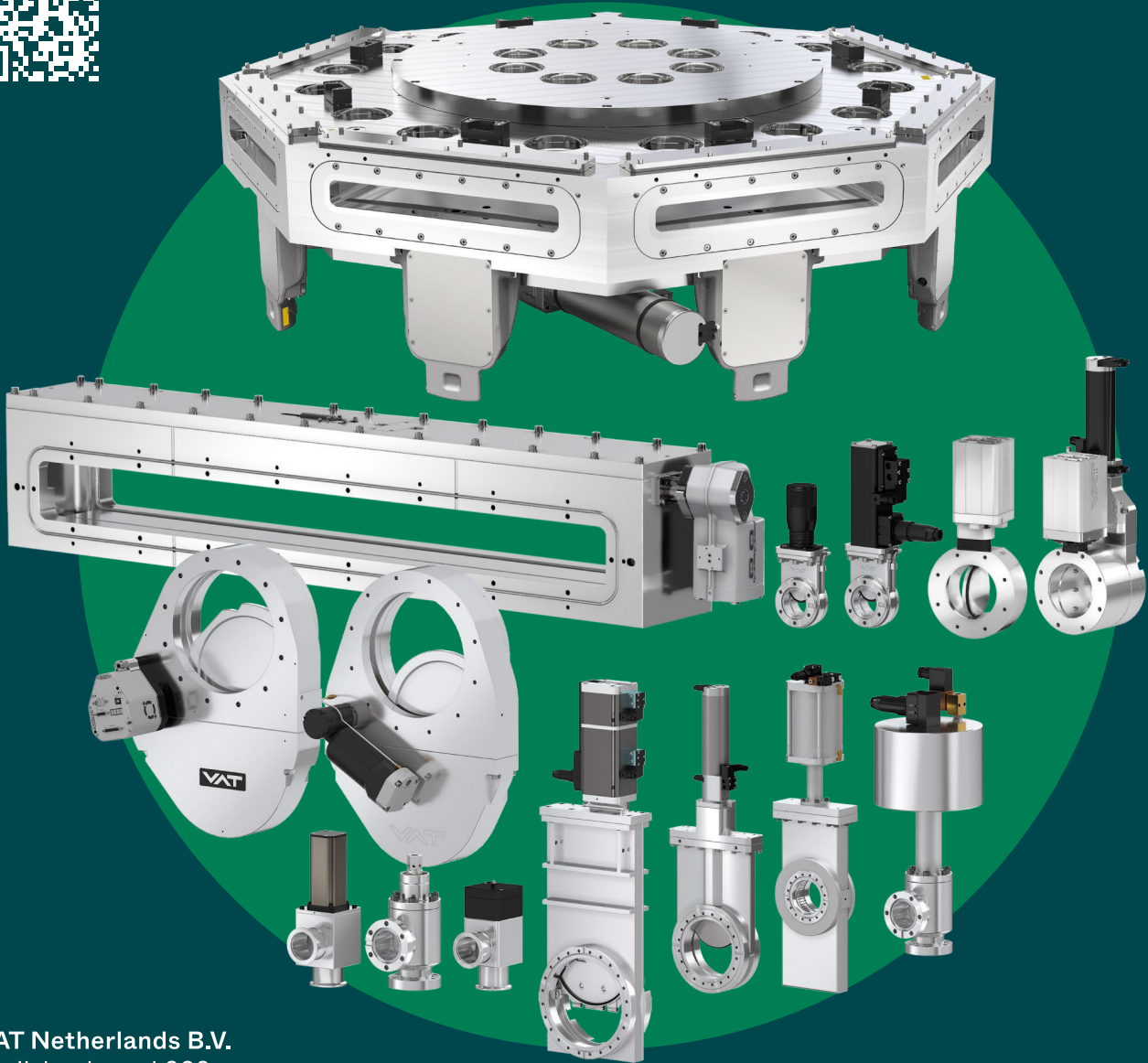


We change the world with vacuum solutions

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

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

vatgroup.com



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

Stel je voor: Gesa Welker

Zij werkt al heel haar academische loopbaan met machines die alleen onder vacuüm kunnen opereren. Die gedragen zich niet altijd zoals het moet, maar daar leert ze juist veel van. Naast haar onderzoek is ze ook in haar onderwijs volop met vacuüm bezig, als docent en als lid en (voormalig) voorzitter van de NEVAC Onderwijs- en Examencommissie. Ze brengt kennis naar de NEVAC-leden en zo nodig haalt ze er bij experimentele problemen ook kennis op. Zo is ze vol overtuiging NEVAC-lid. Gesa Welker stelt zich voor.

Gesa Welker werkt bij de TU Eindhoven als docent en daarnaast is ze als gastwetenschapper verbonden aan de TU Delft. "Ik heb natuurkunde gestudeerd in Duitsland en de VS. Voor mijn PhD ben ik naar Nederland verhuisd en in 2021 ben ik gepromoveerd in de natuurkunde bij de Universiteit Leiden. Al mijn functies tot nu toe waren bij universiteiten, in onderzoek en onderwijs. Er is voor mij weinig mooiers in de wereld dan te begrijpen hoe de natuur in elkaar zit, hoe wonderbaarlijk alles is gemaakt."

Niet aan alle knoppen zitten

Tijdens haar afstudeerproject in Duitsland deed Welker onder meer metingen met een rastertunnelmicroscopie en daarvoor gebruikte ze een ultrahoogvacuümsysteem. "Het was een ingewikkeld systeem en je kon zomaar een fout maken die niet alleen je eigen metingen, maar ook die van alle andere gebruikers van het systeem, zou verpesten. Het was daarom de gewoonte dat je als beginner niet zomaar aan alle knoppen mocht zitten. Ik heb er wat basisdingen geleerd, maar de echte verantwoordelijkheid hadden de meer ervaren gebruikers."

Enorm veel leren

Haar 'vacuümreis' begon pas echt tijdens haar PhD. "Eigenlijk zonder dat ik het van tevoren doorhad. Ik wilde kwantummechanische effecten bestuderen en daarvoor bleek je onverwacht veel vacuümtechniek nodig te hebben. Nu mocht en moest ik zelf aan de knoppen zitten. Samen met een collega-promovendus had ik een ingewikkelde cryostaat met bijbehorende pompen, etc. onder mijn hoede. We hebben er behoorlijk over zitten klagen, want dat apparaat gedroeg zich vaak niet. Het voordeel was wel dat we er enorm veel door leerden, onder meer over vacuümtechniek."



Gesa Welker: "Hoe goed je soms je best moet doen om je vacuüm-doelen te behalen, hoe nauw het soms luistert, dat spreekt mij aan in de vacuümtechniek." (Foto: Marie-Louise Boissevain)

Tallose machines opereren onder vacuüm

Vacuümtechniek komt steeds opnieuw langs bij Welker's werk, op elke werkplek net weer op een andere manier. “Zonder goed vacuüm kun je in sommige vakgebieden van de experimentele natuurkunde helemaal niets. Veel materiaalonderzoek en kwantumonderzoek zoals tijdens mijn PhD vindt bijvoorbeeld plaats dicht bij het absolute temperatuurnulpunt. Als je thermische isolatie door slecht vacuüm is verpest, kun je nooit een experiment doen omdat je sample te warm is. Een ander voorbeeld is het werken in de cleanroom. In Delft maak ik daar nu nanostructuren van diamant om daaruit piepkleine magneetveldsensoren te kunnen bouwen. Daarvoor gaat mijn sample in tallose machines die alleen onder vacuüm kunnen opereren: etsers, opdampers, lithografiemachines, elektronenmicroscopen...”

Onderwijs en onderzoek

Daarnaast is er nog een ander verband tussen vacuümtechniek en haar werk. “Ik ben bij beiden veel bezig met onderwijs. Zeker in mijn huidige baan als docent op een technische universiteit heb ik veel baat bij de ervaring die ik als docent onder auspiciën van de NEVAC heb opgedaan. Ook de tijd als voorzitter van de NEVAC Onderwijs- en Examencommissie was heel waardevol voor mij. Ik hoop de NEVAC te kunnen helpen doordat ik op de universiteit continu in aanraking kom met de nieuwste onderwijstechnieken voor de huidige generatie technische vakmensen. Die kennis kan ik dan weer doorgeven aan andere vacuümdocenten.”

Vernuftige én simpele technische oplossingen

Er spreekt Welker veel aan in de wereld van de vacuümtechniek. “Hoe goed je soms je best moet doen om je vacuümdoelen te behalen, hoe nauw het soms luistert. Hoe vernuftig technische oplossingen kunnen zijn, maar ook hoe simpel. Een persoonlijke herinnering is het oplossen van een hardnekkig probleem met een multi-stage Roots-pomp tijdens mijn PhD. Ik was ten einde raad omdat de pomp steeds om onverklaarbare redenen oververhit raakte en ons experiment daardoor helemaal plat lag. Ik had al behoorlijk wat getest en geprobeerd en de enige optie leek het opsturen van de pomp naar de leverancier. Dat had echter weken of maanden vertraging opgeleverd.”

Spoelen met schoonmaakazijn

Uiteindelijk wist ze het probleem te vinden door de hulp van een NEVAC-lid, tijdens een lang en uitgebreid telefoongesprek. “Het bleek dat het koelwatercircuit bijna overal goed functioneerde, waardoor de pomp keurig binnen de *flow-rate* specs zat. Maar een kleine parallelle tak van dat watercircuit was verkalkt, zo klein dat het in totaal weinig waterflow scheelde. Een specifiek deel van de pomp werd daardoor echter niet meer gekoeld en gaf steeds problemen. De oplossing was simpel: spoelen met schoonmaakazijn en we konden weer door met onze experimenten.”

Dankbaar

Alle reden voor Gesa Welker om vol overtuiging lid te zijn van de NEVAC. “Ik leer er veel en vind het een fijne club mensen. Als jong lid van de Onderwijs- en Examencommissie werd ik door de oude garde vriendelijk aan de hand genomen, ik kreeg er vertrouwen, verantwoordelijkheid en de ruimte om te groeien. Daar ben ik enorm dankbaar voor.”



In de cleanroom, waar Gesa Welker nanostructuren van diamant maakt om daaruit piepkleine magneetveldsensoren te kunnen bouwen.

Inspiratie voor beheersing van contaminatie

Contamination control is een middel voor het bereiken van cleanliness in hightech productie. Die boodschap stond centraal tijdens de Cleanliness Day 2026 van VCCN (Vereniging Contamination Control Nederland) Het draait daarbij om het optimaliseren van processen en vooral ook om samenwerking en respect tussen alle partijen die elk hun eigen expertise van reinheidsbeheersing en schone productie inbrengen.

De tweede VCCN Cleanliness Day vond op 12 februari 2026 plaats op de High Tech Campus Eindhoven. Het event bracht zo'n 200 professionals bijeen, telde liefst 28 stands op de bedrijvenmarkt en bood een gevarieerd programma. Dagvoorzitter (en VCCN-penningmeester) Philip van Beek (Figuur 1) benadrukte dat er veel aspecten van belang zijn voor het bereiken van *cleanliness* in high-tech productie, van product- en procesontwerp tot cleanroombeheer tot validatie en monitoring. Uiteraard is *contamination control*, waar VCCN zich op richt, hier onderdeel van. Van Beek introduceerde VCCN, gaf een kort overzicht van het dagprogramma en moedigde alle aanwezigen aan iets te leren, volop te netwerken, slimme dingen te ontdekken op de bedrijvenmarkt, vooral ook veel plezier te hebben en inspiratie op te doen.

Reinheidsuitdagingen voor ET

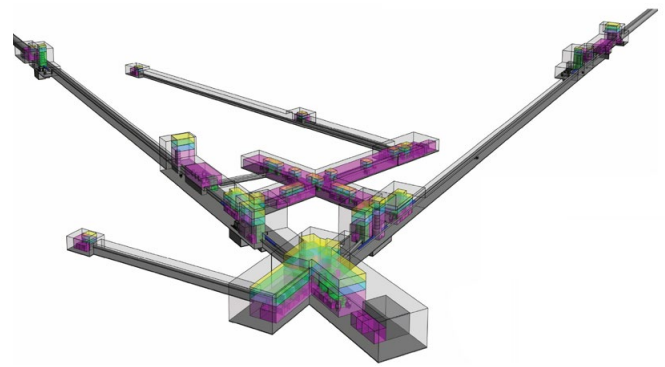
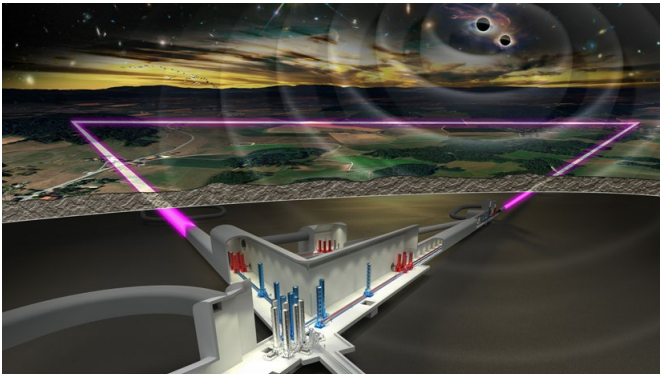
Inspiratie kwam er in ieder geval uit een onderwerp over gravitatie. De eerste presentatie ging over de Einstein Telescope (ET), die Europa's meest geavanceerde observatorium voor zwaartekrachtsgolven moet worden. ET wordt de veel gevoeligere opvolger van de huidige generatie Amerikaanse en Europese detec-

toren, die sinds 2015 tal van waarnemingen hebben gedaan. De ondergrond van het Belgisch-Duits-Nederlandse grensgebied bij Zuid-Limburg is een kandidaat-locatie. Het instrument moet extreem kleine trillingen (orde 10^{-22} meter) ten gevolge van zwaartekrachtsgolven gaan meten die bijvoorbeeld ontstaan door botsende zwarte gaten in de ruimte, voor meer inzicht in het zeer vroege heelal. De uitzonderlijk hoge meetnauwkeurigheid die hiervoor is vereist, maakt de detector uiterst gevoelig voor externe trillingen, hoe klein die ook zijn. De meting wordt uitgevoerd op basis van interferometrie in kilometerslange buizen, met laserstralen die zich door een vacuüm voortplanten. Verontreinigingen, hoe minimaal ook, zijn daar uit den boze. Omdat versturende warmtetrillingen ongewenst zijn, worden de spiegels gekoeld tot 10-20 K, waarbij condenserende elementen zoals water als contaminant ongewenst zijn. De vacuumbuizen zijn in totaal ruim 120 km lang en 1 m in diameter (volume 94.000 m^3 , 380.000 m^2) en worden naar ultrahoog vacuüm ($< 10^{-10}$ mbar) gebracht. Hiervoor worden gigantische ondergrondse cleanrooms (totaal 21.000 m^2) gebouwd die schoongehouden dienen te worden tijdens de bouw (Figuur 2).



Figuur 1. Dagvoorzitter Philip van Beek benadrukte dat er veel aspecten van belang zijn voor het bereiken van cleanliness in high-tech productie, van product- en procesontwerp tot cleanroombeheer tot validatie en monitoring. (Foto: VCCN)

Patrick Werneke, senior engineer bij Nikhef en hoofd van de Engineeringafdeling van de Einstein Telescope Organisation, beschreef de impact die zelfs microscopische vervuiling of individuele deeltjes kunnen hebben op de prestaties van de detector. Hij gaf vervolgens een overzicht van de belangrijkste reinheidsuitdagingen tijdens het ontwerp- en bouwproces, en de strenge cleanroom- en reinheidseisen. Hij liet ook zien welke maatregelen nodig zijn om de vereiste reinheidsniveaus te bereiken en te behouden – een zware opgave.



Figuur 2. Artist impression van ET, met een zwaartekrachtsgolf opgewekt door twee botsende zwarte gaten. Elke detectorarm van 10 km lang bevat vier vacuümbuizen van 1 m diameter. Rechts een schematische weergave van de detectorlay-out met cleanrooms. (Beeld: Marco Kraan, Nikhef)

Clean build

Vervolgens kwam Aydin Köyük, consultant healthcare & life science op het gebied van contamination control by Apleona, met een iets meer ‘down-to-earth’-verhaal. Dat ging over de bouw van cleanrooms, die in veel gevallen onmisbaar zijn voor het bereiken van reinheid. Dan moet zo’n cleanroom van zichzelf natuurlijk wel schoon zijn. Schoon en gedisciplineerd werken tijdens de bouw – *clean build* – van cleanrooms is daarom essentieel voor een succesvolle oplevering, betoogde Köyük (Figuur 3). Hij liet zien hoe het bouwproces daarvoor moet worden ingericht op het gebied van cleaning en contaminatiebeheersing, en ging in op ‘clean build’-aspecten als toegang, kleding, gedrag en schoonmaak. Zoals in het hele cleanliness-domein is ook hier de menselijke factor heel belangrijk.

Praktische aspecten die in de ontwerpfase en werkvoorbereiding aan bod moeten komen, zijn onder meer toegangsbeleid, sluisen voor personen, materieel en materialen, compartimentering van de ruimte, inrichting van een eventuele werkplaats, en een strategie voor contamination control. Cleaning moet worden geïntegreerd in het volledige bouwproces, van start tot oplevering en ingebruikname, om schoon werken en schoon houden structureel te borgen en uiteindelijk te komen tot schoon opleveren. Köyük presenteerde volop praktijkervaringen uit nieuwbouwprojecten om te laten zien hoe continue optimalisatie van het cleaningproces, pre-

ventieve maatregelen en strikte naleving van procedures bijdragen aan het beheersen van bouwcontaminatie.

Aanpak van belangrijkste productreinheidsaspecten

De volgende spreker was Koos Agricola, specialist bij Brookhuis Applied Technologies en docent bij VCCN. Hij is al zijn hele werkzame leven bezig met contamination control, voor zijn werkgevers, VCCN en de bredere high-tech community, met publicaties, trainingen en bijdragen aan wereldwijde normering. In zijn voordracht gaf hij een mooi overzicht van de ontwikkelde kennis en opgedane ervaring. Hij liet zien hoe productreiniging en contaminatiebeheersing in de praktijk werken. Zo besprak hij de vaststelling van reinheidseisen, de identificatie van relevante contaminanten, en maatregelen om vervuiling te voorkomen. Verder ging hij in op de selectie van de juiste reinigingstechniek en procesontwikkeling, en hoe te borgen dat het product schoon blijft tijdens handling, opslag en verdere verwerking.

Voor de strategiebepaling voor contamination control moet volgens Agricola een aantal vragen worden beantwoord:

- Kan ongewenste contaminatie worden voorkomen, door toeleverancier en/of producent?
- Kan ongewenste contaminatie door reiniging worden verwijderd, door toeleverancier en/of producent?
(Bij samengestelde producten is dat vaak lastig vanwege de veelheid aan materia-

len en verminderde toegankelijkheid van functionele of kritieke oppervlakken.)

- Kan het product beschermd worden na reiniging?
- Kan de blootstelling tijdens assemblage voldoende worden geminimaliseerd?

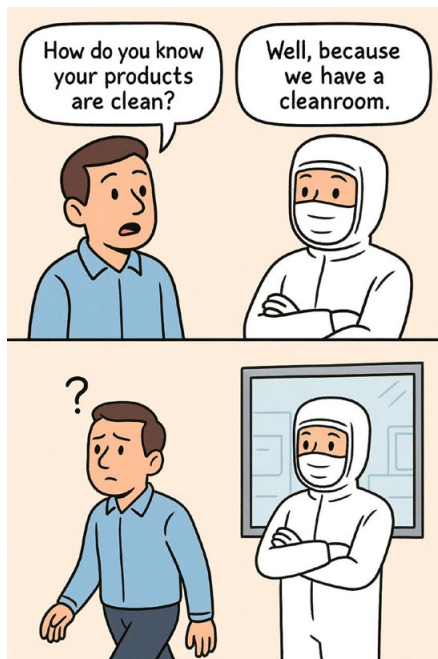
Indien tijdens assemblage vermoedelijk een beheerst schone omgeving of cleanroom nodig is, kan de gewenste reinheid worden bepaald aan de hand van de limiet voor de deeltjesdepositiesnelheid.

Deeltjesreinheid meten

Aansluitend ging Maarten Bouwman, service engineer bij Fastmicro, ontwikkelaar en producent van meetapparatuur voor deeltjesverontreiniging, in op



Figuur 3. Aydin Köyük, contamination control consultant bij Apleona: “Schoon en gedisciplineerd werken tijdens de bouw – *clean build* – van cleanrooms is essentieel voor een succesvolle oplevering.” (Foto: Apleona)



Figuur 4. (Bron: Fastmicro)

het belang van meten. Gebruik van een cleanroom is immers geen garantie op reinheid. Want een cleanroom is – hoe schoon ook gebouwd – zelf nooit 100% schoon en maakt een product ook niet schoner als het erin komt (Figuur 4). Sterker nog, in een cleanroom kan een productoppervlak verontreinigd raken, al was het maar door de aanwezigheid van operators; de mens is vaak de grootste bron van vervuiling.

Bouwman gaf een overzicht van de relevante normen en standaarden voor lucht- en oppervlaktereinheid en deeltjesdepositie op oppervlakken. Vervolgens vertaalde hij die naar kwantitatieve specificaties voor oppervlaktereinheid, in termen van deeltjesgrootte- en concentratielimieten voor productkwalificatie. Daar komt meting om de hoek kijken, maar die moet dan wel zinvol en betrouwbaar zijn. Zo waarschuwde Bouwman voor de 'zero count' val: als je nul deeltjes meet, wil dat niet zeggen dat ze niet aanwezig zijn. Metingen moeten altijd voldoende data opleveren om tot statistisch significante uitspraken te kunnen komen. Voldoende data betekent een voldoende aantal gedetecteerde deeltjes. De manieren om dit te behalen zijn 1) de kleinste deeltjesgrootte (LDL: *lower*

detection limit) naar beneden bijstellen, 2) voldoende oppervlak analyseren, of 3) voldoende blootstellingstijd in acht nemen voor deeltjesdepositie in de tijd.

Vervolgens zette hij verschillende meetmethoden op een rij, met een overzicht van de plussen en minnen. Handmatige inspectie met UV/*bright light* bijvoorbeeld is goedkoop en snel, maar ook subjectief en niet kwantitatief. Optische microscopie levert juist erg veel objectieve informatie op, maar is onpraktisch voor grootschalige toepassing. Een aantrekkelijke middenweg wordt onder meer geboden door 'sample & measure', de methode die in de apparaten van Fastmicro is verwerkt. Met speciale tape wordt een oppervlak gesampled (indirecte meting) of een wafer wordt blootgesteld aan deeltjesdepositie (directe meting). In beide gevallen wordt met lichtverstrooiing bestudeerd hoeveel vervuiling is blijven plakken. Volgens Bouwman geeft deze methode een goede balans tussen relatief lage detectielimiet, snelheid en geschiktheid voor verschillende oppervlakken, terwijl de methode herhaalbaar kwantitatieve resultaten voor grootschalige validatie van producten oplevert.

Metten kost geld, maar de 'price of non-quality' ten gevolge van productverontreiniging kan nog hoger zijn, zo luidde zijn slotboodschap. Die prijs zit 'm niet alleen in de directe kosten van herstel of vervanging van verontreinigde producten. Er zijn ook verborgen (indirecte) kosten ten gevolge van uiteenlopende aspecten, van foutenanalyse en eventueel herontwerp tot een verstoorde relatie met toeleveranciers (vanwege de schuldvraag) en reputatieschade bij klanten. Kortom, een goede meetstrategie is 'n geld dubbel en dwars waard.

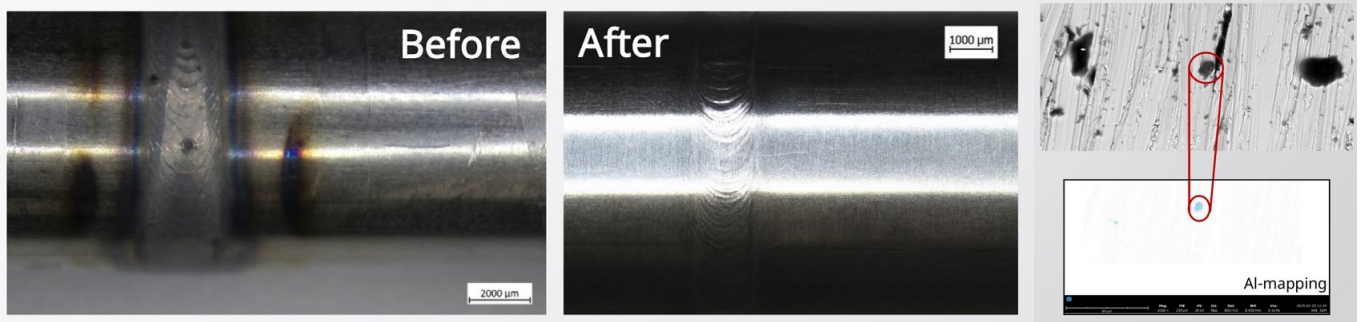
Van ruw materiaal tot cleanroom-assemblage

Thijs van Raak, technology specialist Cleanliness & Contamination Control bij high-tech machine- en modulebouwer AAE, sprak vanuit zijn eigen praktijk

over reinheidsvraagstukken in het gehele productieproces. Met een moleculaire benadering analyseert en bestrijdt hij verontreinigingsproblemen en werkt hij systematisch aan het verhogen van de interne reinheidsstandaarden bij AAE.

Voor bewerkingsprocessen begint het bij het ontwerp en de specificaties van onderdelen. Stel die op een respectvolle manier ter discussie, adviseerde Van Raak. Als voorbeeld noemde hij lasverkleuring, ten gevolge van elementaire insluitingen die door de verhitting tijdens het lasproces naar het oppervlak diffunderen. Is lasverkleuring ongewenst, dan kan die abrasief worden verwijderd. Dat kan echter deeltjes, zoals aluminiumoxide, introduceren die in een volgende reinigungsstap eventueel weer moeten worden verwijderd. Een alternatief is te onderzoeken of andere instellingen van het lasproces de verkleuring kunnen verminderen of helemaal voorkomen. De eenvoudigste optie is, zoals gezegd, de specificatie zelf ter discussie te stellen. Want specificaties worden soms uit gewoonte, zonder er veel over na te denken, overgenomen. Misschien kan in overleg met de klant de specificatie op lasverkleuring worden versoepeld of zelfs helemaal weggelaten.

Een volgend aandachtspunt zijn de media die bij bewerkingsprocessen zoals verspaning worden gebruikt voor koeling en smering. Die moeten bijvoorbeeld HIO-vrij, dat wil zeggen dat ze geen *hydrogen-induced outgassing* veroorzaken. HIO is vooral uit den boze voor optische componenten en oppervlakken in vacuümomgevingen. Liefst veertien elementen, van calcium tot zink, kunnen HIO bevorderen en moeten dus in de media worden geminimaliseerd, om adsorptie op het product te voorkomen. Maar ook reinigungsmiddelen kunnen een negatief effect hebben op de oppervlaktereinheid. Een verandering van reinigungsmiddel in het proces kan leiden tot vervelende verrassingen zoals verkleuringen (denk onder meer aan galvanische corrosie), waarschuwde Van



Figuur 5. Lasverkleuring (links) na abrasieve verwijdering (midden). Uit EDS-analyse (*energy-dispersive X-ray spectroscopy*) blijkt echter dat abrasieve aluminiumbevattende deeltjes zijn achtergebleven (rechts).

Raak. Om problemen vroegtijdig te signaleren en zoveel mogelijk te voorkomen, is het belangrijk het complete proces te loggen en eventuele uitval goed te analyseren, zei hij tot besluit.

Procesoptimalisatie

Het programma werd afgesloten met een duo-presentatie over schone assemblage door twee ASMLers. Cost-of-goods architect Steffijn de Koning en cleanliness expert Tim Wissink ondersteunen de toeleveringsketen van ASML bij het opbouwen van expertise in het reinigen en verifiëren van kritische machineonderdelen. De reinheidseisen van ASML, zoals ‘Molecular Grade 1 cleanliness’, reiken soms diep in de toeleveringsketen. Processen in de vroege fasen van productie kunnen namelijk resulteren in moeilijk te reinigen of zelfs niet-reinigbare contaminatie aan het eind van de productiestroom. Daarom is efficiënte ketencommunicatie essentieel om te voldoen aan de eisen die gelden voor kritische onderdelen.

ASML zet in op optimalisatie van het hele proces rond reinheid. Zo heeft het samen met zijn optische systeemleverancier ZEISS SMT een geharmoniseerd *cleanliness framework* ontwikkeld. Dat maakt het mogelijk om gezamenlijk duidelijke eisen te definiëren, kosten te reduceren en dubbel werk te voorkomen voor leveranciers die beide partijen bedienen. Ook wordt ingezet op betere procesbeheersing van reinheid in de hele keten. Concreet kan dit bijvoorbeeld betekenen dat *bake-out* en restgasanalyse (RGA) kunnen worden overgeslagen voor losse

onderdelen en alleen nog op samenstellingen wordt uitgevoerd. Vertrouwen in deze procesbeheersing kan ertoe leiden dat RGA's alleen nog steekproefsgewijs hoeven te worden uitgevoerd. Reinheid fungeert hier als een soort pilot; bij succes wil ASML deze efficiënte kwaliteitscontrole doortrekken naar andere disciplines, melden De Koning en Wisink. Het zijn allemaal maatregelen die kunnen helpen bij het opvangen van de verwachte *upturn* bij ASML, de verdere opschaling van productie in de komende jaren.

Geen trucje

Eerder op de dag had Hans Cools, manager Operations bij Meilink Precision Cleaning, ook al het belang van procesbeheersing benadrukt. “Cleanliness in de hightech is geen trucje of kwestie van dure apparatuur. Alleen met procesbeheersing kun je écht kwaliteit leveren: betrouwbaar, efficiënt en tegen acceptabele kosten. Daarom geloven wij in

samenwerking binnen de hele leveranciersketen. Omdat je enkel met elkaar het hele proces onder controle krijgt. Iets wat nodig is om te voldoen aan de hoge eisen van de markt, zonder kwaliteitsverlies, onnodige kosten of vertragingen.” Cools illustreerde zijn verhaal met een uiteenzetting over specificaties in de technische productdocumentatie (TPD) van opdrachtgevers en de RGA's die zijn bedrijf uitvoert als cleanliness service provider.

Samenwerking en respect

Ter afsluiting van een zeer geslaagde dag (Figuur 6) benadrukte Philip van Beek nogmaals dat contamination control, de missie van de VCCN, een middel is om cleanliness te bereiken. Dat draait om het optimaliseren van processen en vooral ook om samenwerking en respect tussen alle partijen die elk hun eigen expertise daarbij inbrengen.

www.vccn.nl



Figuur 6. Impressie van de VCCN Cleanliness Day 2026. (Foto: VCCN)

**10⁻ⁿ
mbar** VACOM



CASSINI

Vacuum Sensor

The CASSINI vacuum sensor delivers highly accurate total pressure measurements from atmospheric pressure down to high vacuum. Combined with intuitive visualization, every detail is designed to simplify your workflow and ensure reliable results across **nine pressure decades**.

Your benefits at a glance:

- **Wide pressure measurement range**
over 9 decades from ATM to 10⁻⁶ mbar
- **Unmatched accuracy and repeatability**
provides consistently reliable measurements
- **Color-coded LED status ring**
displays changes in pressure immediately and intuitively
- **PFAS-free design**
ensures a sustainable and future-proof solution



**VACOM Vacuum
Components & Metrology bv**

Eikenlei 161 Sint-Job-in-t'-Goor
Belgium

+32 16 62 27 66

customer@vacom.be

www.vacom.net

Agenda

5 juni 2026
NEVAC-dag
Delft

8 - 11 juni 2026
ICTF 2026 – 20th International
Conference on Thin Films
Biarritz, FR

17 juni 2026
Nationaal Symposium
Contamination Control 2026
Bussum

27-30 oktober 2026
Big Science Business Forum 2026
Maastricht

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

18-19 november 2026
Precisiebeurs 2026
Den Bosch

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



**Advanced
Vacuum**

TVAC+

**Thermal Vacuum Chamber
for Research
and Space Industry**

innovative design
cleanroom compatibility
user-friendly operation
wide temperature range
excellent high-vacuum performance
modular concept that grows with your needs



sales@streicher-advancedvacuum.com
www.streicher-advancedvacuum.com

process
control 0-10V,
less than 20mA



PRV

- PRECISE
GAS
CONTROL
- LEAK RATE
11,2 SCCM



MADE IN GERMANY

WWW.ANDREAS-MATTIL.DE