

Publieke verantwoording

Beheer Nationale Meetstandaarden en
Research 2022

Verplichtingenummer 1300032559 en 1300032950

Woord van de directeur

Beste lezer,

Voor u ligt de publieke verantwoording van VSL. VSL is het Nationaal Metrologisch Instituut van Nederland en beheert de nationale fysieke meetstandaarden voor Nederland. Daarnaast ontwikkelen wij nieuwe meetstandaarden.

Meetstandaarden zijn voor veel inwoners van Nederland onzichtbaar, maar toch heeft een ieder er elke dag mee te maken. 's-Morgens een eitje 10 minuten koken, is in de basis herleidbaar naar de Nationale Tijd die wij in Delft onderhouden. Kijken naar het weer en de buitentemperatuur kan in Nederland via onze temperatuurstandaard. Zeker weten dat een pond tomaten bij de groenteboer ook daadwerkelijk een pond is, is een onderdeel van de kwaliteitsinfrastructuur die wij in Nederland kennen waarbij de meetstandaard kilo aan de basis staat. En zo zijn er nog vele voorbeelden te noemen.

Meetstandaarden zijn cruciaal voor de ondersteuning van de (inter)nationale handel, de gezondheidszorg, energietransitie, milieu, klimaat en de industrie. Overal waar nauwkeurige metingen noodzakelijk zijn, zijn er (internationale) afspraken over meetstandaarden.

Naast het beheer van de bestaande meetstandaarden, werken wij aan vele researchprojecten om de meetvraagstukken voor de toekomst op te kunnen lossen. De energietransitie waar Nederland nu midden in zit, is daar een voorbeeld van. De ambities van de Nederlandse overheid om het aardgasnet om te bouwen naar een waterstof net, vragen uiteraard om meting van waterstof. Zowel in de stroming van waterstof als analyses van samenstellingen. VSL heeft in de afgelopen jaren in vele researchprojecten waterstof meegewerkt en daardoor veel expertise opgedaan over waterstof metingen. Een andere uitdaging die we dagelijks in de krant lezen is de overbelasting van het elektriciteitsnet. VSL is betrokken bij vele research projecten over dit onderwerp en is wereldleider op het gebied van load-loss metingen.

In 2022 hebben de 100 collega's van VSL met veel plezier en enthousiasme uitvoering gegeven aan het onderhoud van de meetstandaarden en zijn er mooie stappen gemaakt in diverse research projecten. Meer detail leest u hierover in deze verantwoording. Jaarlijks spreken wij een werkprogramma af met het Ministerie van Economische Zaken, waarvoor wij een vergoeding ontvangen. Deze publieke verantwoording geeft aan welke inzet wij hebben gedaan om de meetstandaarden te onderhouden en tegen welke vergoeding.

Mocht u, na het lezen van dit verslag, nog vragen hebben, dan kunt u ons bereiken op vsl@vsl.nl

Hoogachtend,

VSL B.V.

Drs F.J.M. van Booma – de Smit RC

Algemeen Directeur

Samenvatting 2022

Inleiding

In opdracht van de Nederlandse overheid beheert en ontwikkelt VSL primaire meetstandaarden en primaire referentiematerialen. Deze meetstandaarden zijn de eerste schakel in de betrouwbaarheid van elke meting in onder meer wetenschap, industrie en eerlijke handel. Daarnaast participeert VSL in onderzoeksprojecten voor het ontwikkelen van nieuwere en betere meetmethoden.

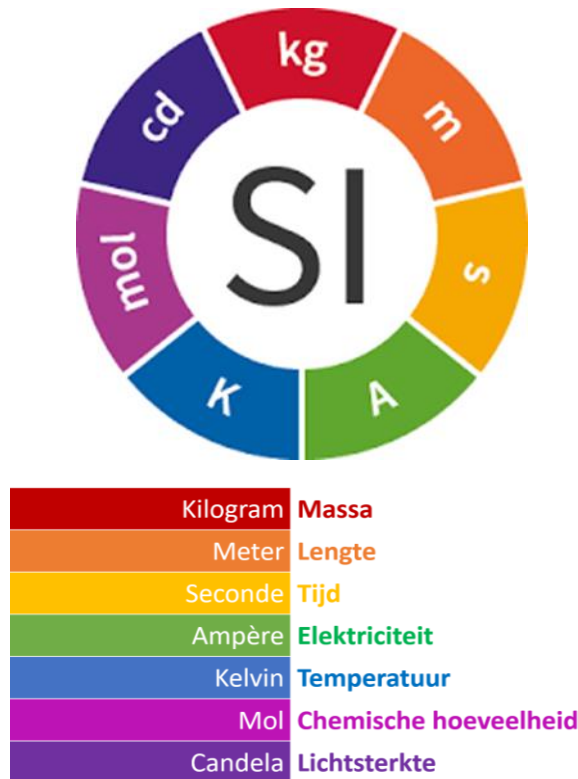
Bij het verhandelen van goederen waarbij wordt afgerekend op basis van hoeveelheid, is het van groot belang dat afnemer en leverancier het eens zijn over de hoeveelheid die geleverd is. Het vaststellen van de hoeveelheid vereist een meting en de betrouwbaarheid van deze meting moet dus voor beide partijen boven twijfel verheven zijn. Metingen waarvan de betrouwbaarheid onafhankelijk kan worden vastgesteld vormen daarmee een belangrijke pijler binnen het economisch verkeer. Ook voor industriële productie en innovatie, wetenschappelijk onderzoek, medische toepassingen en op tal van andere gebieden zijn metingen nodig waarvan de betrouwbaarheid geborgd is.

Het borgen van de betrouwbaarheid van metingen begint met het afspreken van eenduidige eenheden waarin de resultaten van deze metingen worden uitgedrukt. In de moderne wereld wordt hiervoor het stelsel van SI-eenheden gebruikt, dat uitgaat van zeven basiseenheden zoals de meter en de seconde, waaruit afgeleide eenheden kunnen worden gevormd door vermenigvuldigen of delen (zie kader). Het SI-stelsel heeft in Nederland een wettelijke basis in de Metrologiewet.

De definities van de eenheden worden in de praktijk gebracht in fysieke instrumenten die als meetstandaard dienen. Meetstandaarden van dezelfde grootte kunnen met elkaar worden vergeleken, waarbij het verschil tussen de ene en de andere meetstandaard wordt bepaald. Dat proces heet kalibreren. Aan het begin van de keten staat een bijzonder soort standaard, waarvan de waarde niet is bepaald door vergelijking met een hogere standaard van dezelfde soort, maar door het zo zorgvuldig mogelijk realiseren van de definitie van de eenheid. Een dergelijke standaard heet een primaire standaard. Alle andere standaarden zijn secundaire standaarden, die dan herleidbaar zijn naar de primaire standaard die aan het begin van de keten staat. Uiteindelijk kunnen zo ook de meetinstrumenten worden gekalibreerd waarmee hoeveelheden in het economisch verkeer worden bepaald of processen in de industrie beheerst.

Het SI-stelsel

Sinds 1960 vormt het Internationale stelsel van eenheden 'SI' (Système Internationale), oftewel het metrieke stelsel, de officiële basis voor metingen, zodat we nationaal en internationaal met dezelfde maten meten.



Het eenhedenstelsel definieert zeven SI-basiseenheden: seconde (tijd), meter (lengte), kilogram (massa), kelvin (temperatuur), candela (lichtsterkte), mol (hoeveelheid stof) en ampère (elektrische stroom). Dit zijn fundamentele eenheden voor natuurkundige grootheden, die door de algemene conferentie voor maten en gewichten (CGPM: Conférence Générale des Poids et Mesures) zijn aangenomen en aanbevolen.

In 1999 ondertekende VSL namens Nederland samen met vele andere landen het Mutual Recognition Arrangement (CIPM MRA) van het Internationaal Bureau voor Maten en Gewichten (BIPM). Hierin is afgesproken dat de landen elkaars nationale standaarden en daarmee samenhangende meetresultaten accepteren.

Sinds 20 mei 2019 worden alle SI eenheden gedefinieerd aan de hand van natuurlijke constanten, daarmee zijn ze niet meer afhankelijk van stoffelijke objecten en derhalve stabiel.

Op basis van de Metrologiewet is VSL door het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat aangewezen als Nationaal Metrologie Instituut en belast met het beheer van de primaire standaarden voor Nederland. Voor het beheer van deze nationale standaarden is de Standaarden Beheer Overeenkomst (SBO) afgesloten. Naast het beheren van de primaire standaarden en een aantal hoogwaardige secundaire standaarden omvat deze overeenkomst ook het vertegenwoordigen van Nederland in de internationale overleggen op het gebied van metrologie en het borgen van de kwaliteit door middel van een ISO 17025 accreditatie en deelname aan internationale ringvergelijkingen (key comparisons). De meetmogelijkheden (zogenaamde Calibration and

Measurement Capabilities, CMC's) van VSL worden internationaal geaccepteerd onder de wederzijdse erkenning (Mutual Recognition Arrangement, MRA) van het internationale metrologiecomité CIPM en zijn terug te vinden op <https://www.bipm.org/kcdb>.

Om aan de veranderende behoefte in de maatschappij aan nieuwe of betere standaarden te voldoen, doet VSL ook wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de metrologie. Daarvoor ontvangt VSL aparte financiering vanuit het Ministerie van EZK in de vorm van een Research subsidie. Belangrijke onderzoeksthema's waaraan in 2022 gewerkt werd waren energie en klimaat, milieu, gezondheid, high-tech industrie en digitalisering. Veel van de onderzoeksprojecten wordt uitgevoerd met samenwerkingspartners in nationaal of Europees verband. Binnen Europa zijn er een apart onderzoeksprogramma's op het gebied van metrologie: het European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR) en de opvolger daarvan, het European Partnership on Metrology. De looptijd van deze projecten bedraagt typisch drie jaar.

Kerngetallen 2022

Totale budget	€ 11.565.550,00
SBO	€ 7.825.550,00
Research	€ 3.740.000,00
Aantal CMC's onder de CIPM MRA	719
Chemie	202
Elektriciteit	213
Ioniserende Straling	23
Massa, Druk en Viscositeit	54
Lengte	72
Temperatuur en Vocht	70
Optica	28
Tijd en Frequentie	26
Volumetrie	31
Lopende key comparisons	51
Lopende Research projecten	52
EMPIR	29
Partnership	4
Overige	19
Publicaties en conferentiebijdragen	135

Standaardenbeheer 2022

Het beheer van de meetstandaarden is in 2022 grotendeels conform plan verlopen. Naast de geplande interne kalibraties en het reguliere onderhoud, werd een aantal verbeteringen in de processen doorgevoerd.

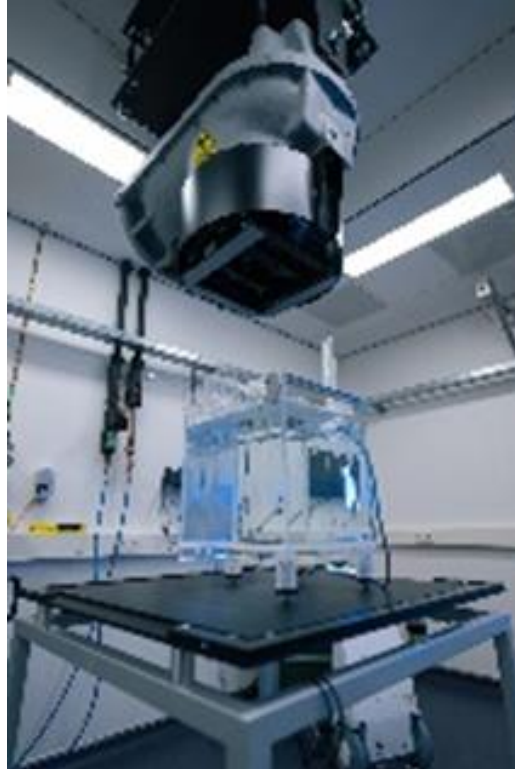
Bij **Chemie** zijn nieuwe CMCs ingediend voor een grote hoeveelheid referentie gasmengsels, zoals gasmengsels met BTEX (benzeen, toluen, ethylbenzeen, p-xyleen, m-xyleen en o-xyleen), siloxanen in methaan, zuurstofhoudende vluchtige organische stoffen in stikstof, stikstof monoxide, aardgas, raffinage- en kooksofengas. Hiermee is de vooraanstaande positie van VSL op deze belangrijke energie en milieugassen verder versterkt.

Bij **Elektriciteit** zijn verbeteringen doorgevoerd bij o.a. de faciliteit voor conversie tussen gelijkstroom en wisselstroom (AC/DC). De revisie, die in 2021 is gestart, is grotendeels afgerond en de beoogde onzekerheden worden ruimschoots gehaald. De AC/DC faciliteit is een cruciale schakel in de keten voor herleidbaarheid van elektrische energie. Ook bij de faciliteit voor primaire weerstand door middel van het quantum Hall effect, waar geïnvesteerd is de afgelopen jaren in nieuwe software en het opleiden van nieuwe wetenschappers, is een mooi resultaat gehaald: twee 10 k Ω weerstanden zijn bij het BIPM in Parijs gemeten, waaruit bleek dat de VSL waarden bijzonder goed overeenkwamen met de BIPM-waarden. De FAME software bij de faciliteit voor hoogfrequente elektrische metingen die VSL zelf heeft ontwikkeld is verder uitgebreid en naast zogenaamde S-parameter metingen nu ook geschikt voor het meten van hoogfrequent vermogen.

De nieuwe Terabalt Co-60-faciliteit (zie kader) bij **Ioniserende Straling** is opgeleverd, uitvoerig getest en na validatie in gebruik genomen. Daarmee is de herleidbaarheid voor gammabestraling bij stralingstherapie weer voor langere tijd geborgd. Dat is cruciaal om een effectieve behandeling te kunnen bieden aan kankerpatienten zonder onnodige schade aan omliggend weefsel. Ten behoeve van de grootte geabsorbeerde-dosis-in-water in de Co-60-bundel is een nieuw waterfantom aangeschaft. Dit is zodanig ontworpen dat het efficiënter is uit te lijnen op de bestralingsbundel en er verscheidene typen ionisatiekamers eenvoudig in dezelfde waterbak geplaatst kunnen worden.

Terabalt faciliteit voor gammastraling

Op de foto is de nieuwe faciliteit voor gammastraling op basis van een Co-60 bron te zien. VSL prijst zich bevoorrecht om middels deze faciliteit een bijdrage te kunnen leveren aan veilige en effectieve kankerbehandeling. Daarbij de neveneffecten van de behandeling zo klein mogelijk houden is tevens een zeer belangrijk onderdeel.



De validatie van de 3D-coördinatenmeetmachine (3D CMM) bij **Lengte** is grotendeels compleet en de werkzaamheden kunnen worden gecontinueerd onder de RvA-accreditatie. **Thermometrie** is begonnen aan de inventarisatie voor een nieuw klimaatregistratiesysteem voor alle laboratoria. Bij **Optica** is de meetsoftware van de 3-meter integrerende bol is aangepast om lichtstroom van LED-lampen met een hoog vermogen te kunnen kalibreren.

Bij **Tijd en Frequentie** is de modernisering van de set atoomklokken verder doorgevoerd, waarbij een nieuwe Cs-klok is besteld en ondertussen de waterstofmaser wordt gemonitord om deze op termijn als hoofdklok te kunnen inzetten. Het plan voor redundantie van de tijdsstandaarden door middel van een externe backup locatie is wat betreft technische eisen en ontwerp gereed. Met deze investeringen kan het 24/7 leveren van de nationale tijd UTC(VSL) zeker worden gesteld, wat van toenemend belang is voor vitale infrastructuur zoals communicatiesystemen en financieel verkeer.

Bij **Volumetrie** is de geometrische kalibratie van de Gas-Oil Piston Prover (GOPP), de primaire standaard voor hogedruk gasdebiet, met succes afgerond. De kalibratie is uitgevoerd in nauwe samenwerking met de afdeling Lengte. Bij Waterflow ging de aandacht uit naar de ontwikkeling, uitbreiding en verhuizing van de nieuwe faciliteit, gepland voor 2023. Deze faciliteit biedt een unieke mogelijkheden voor flowmeterkalibraties met grotere debieten dan voorheen mogelijk.

Op het gebied van internationale **infrastructuur** zijn in 2022 belangrijke stappen gezet binnen de European Metrology Networks (EMN's), waarin vanuit EURAMET de metrologie instituten nader

samenwerken op brede thema's en daarbij de verbinding leggen met stakeholders. VSL bekleedt de rol van voorzitter binnen het EMN Energy Gases en heeft vanuit die hoedanigheid mee vorm gegeven aan een nauwe samenwerking met de platformen Hydrogen Europe (HE) en Hydrogen Europe Research (HER) (zie kader). Verder speelt VSL een actieve rol in o.a. het EMN Smart Electricity Grids, waarvan in 2022 de nieuwe website (<https://www.euramet.org/smart-electricity-grids>) werd gelanceerd, de strategische onderzoeksagenda werd afgerond en een succesvolle zomerschool werd gehouden.

EMN Energy Gases

Als voorzitter van het EMN Energy Gases is VSL nauw betrokken bij de weg naar minder afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en het beperken van de klimaatveranderingen. Door in gesprek te gaan met de belangrijkste belanghebbende in de energie-gassector komen vruchtbare samenwerkingen tot stand. Dit draagt bij aan het opstarten van nieuwe projecten die zullen bijdragen aan het correct meten van de kwantiteit en kwaliteit van bijvoorbeeld waterstof op Europees niveau. Zo komt het grootschalig gebruik van waterstof steeds dichterbij.



Ook op het gebied van normalisatie heeft VSL in 2022 actief bijgedragen. Zo werd de vergadering van NEC TC14-38 “power transformers – instrument transformers” bij VSL gehouden.

Research 2022

Binnen het Researchprogramma werd in 2022 gewerkt aan de thema's energie en klimaat, milieu, gezondheid, high-tech industrie en digitalisering. In de paragrafen hieronder staat een samenvatting per thema. Voor details, zie bijlage C.

Energie en Klimaat

Energie en Klimaat is een belangrijk thema voor VSL en omvat een groot aantal projecten die zich richten op metrologie ter ondersteuning van de energietransitie en het beperken van de CO₂ uitstoot. Deze projecten richten zich enerzijds op groene energiegassen zoals waterstof en biomethaan en anderzijds op elektrische energie.

Het onderzoek op het gebied van energiegassen vindt plaats aan de hand van de researchagenda van het gelijknamige EMN (zie hiervoor). VSL kijkt naar zowel de samenstelling van de gassen en als de hoeveelheid, waarbij wordt samengewerkt tussen Chemie en Volumetrie, met ondersteuning van Massa en Thermometrie.

Het gebruik van hernieuwbare gassen stelt natuurlijk nieuwe eisen aan gasmeters. In het EMPIR project **NewGasMet** (2019-2022) heeft VSL een technisch werkpakket geleid waarin het doen van aanbevelingen ten aanzien van het geschikt maken van gasmeterstandaarden voor het gebruik met hernieuwbare gassen centraal stond. De evaluaties van de gasmeternormen bij het gebruik van hernieuwbare gassen zijn actief besproken met de CEN/TC 237/WG5 Task Group "non-conventional gases" gedurende het project. De opgestelde aanbeveling ter herdefiniëring van het toepassingsgebied is aangenomen. Ook zijn duurzaamheidstesten uitgevoerd aan gasmeters met biogas en waterstof en is de VSL hoge-drukstandaard technisch en wat betreft vergunningen gereed gemaakt voor nauwkeurigheidstesten van een rotormeter bij een gasstroom van met waterstof verrijkt aardgas.

Het EMPIR project **STELLAR** (2020-2023) richt zich op het meten van verschillen tussen methaan met verschillende isotoopsamenstellingen, om zo biomethaan van fossiel methaan te kunnen onderscheiden, ter voorkoming van fraude. Hiervoor heeft VSL een nieuwe Cavity Ring Down Spetrometer (CRDS) ontwikkeld, met een absorptie padlengte van maar liefst 7,5 km. Dit is nodig om zeer kleine concentraties van specifieke isotopen de orde van 1 nmol/mol te kunnen meten. Het bleek daarnaast een grote uitdaging om isotoop zuivere referentiesamples te bemachtigen, maar dat is inmiddels gelukt. Meetmethoden voor de conformiteit van biomethaan met de specificaties worden ontwikkeld in het nieuw gestarte Partnership project **BiometCAP** (2022-2025).

Op het gebied van waterstof en met waterstof verrijkt aardgas lopen er verschillende onderzoeksprojecten. Het EMPIR project **Decarb** (2021-2024) richt zich op debietmetingen van waterstof en van met waterstof verrijkt aardgas, zodanig dat deze metingen voldoen aan de vereisten van de EU Measuring Instruments Directive (MID). In dit project zijn in 2022 succesvolle testmetingen gedaan aan een nieuwe flowstandaard met lucht, waterstof, stikstof en methaan, waarbij de flowstandaard tot drukken van 10 bar is gebruikt en lekdicht is gebleken met waterstof.

Vloeibare waterstof vormt de kern van het werk van VSL binnen het EMPIR project **MetHyInfra** (2021-2024). Een van de uitdagingen van het meten aan vloeibaar waterstof is de lage temperatuur (tot -253 °C). Aan de start van het project heeft VSL een training georganiseerd aangaande herleidbare cryogene flowmeting, waarvoor grote belangstelling was vanuit de industrie en de metrologische

wereld. Een rapportage volgende uit de literatuurstudie naar materiaal-eigenschappen en onzekerheids-bronnen op zeer lage temperaturen en het effect ervan op flowmeters is afgerond. Ook zijn er testen uitgevoerd aan flowmeters voor vloeibaar waterstof met alternatieve vloeistoffen, waaronder vloeibaar aardgas (LNG). Testen met vloeibaar waterstof staan voor 2023 op de planning.

In het RVO project **HyScaling** (2021-2024) heeft VSL samen met TNO en ISPT twee brainstormsessies georganiseerd met als doel een overzicht te krijgen van de huidige en toekomstige meetvereisten voor waterstofproductie en -utilisatie.

Het RVO project **Green Transport Delta – Waterstof** (2022-2025) is gericht op het ontwikkelen van waterstof voor zwaar transport en de bijbehorende tankinfrastructuur. VSL leidt het werkpakket over tankinfrastructuur, waarbinnen ontwerpen zijn gemaakt voor de te ontwikkelen faciliteiten.

De tweede poot van het onderzoek op het gebied van Energie en Klimaat betreft elektrische energie.

Voor een betrouwbaar hoogspanningsnet is het testen op blikseminslag, zogenaamde Lightning Impulse (LI), zeer belangrijk. In het EMPIR project **FutureEnergy** (2020-2023) heeft VSL een LI-meetsysteem gerealiseerd, dat in 2022 tijdens een uitgebreide internationale meetcampagne bij TU Delft is gevalideerd. Tevens is een prototype van een nieuw type sensor voor lineariteitsmetingen aan wisselspanningsdelers tot 800 kV ontwikkeld en getest. De resultaten lagen ruim binnen de specificatie van 500 ppm onzekerheid.

In 2022 is ook het Partnership project **Digital-IT** (2022-2025) gestart waarin gewerkt gaat worden aan digitale instrumentatie voor onderstations in het hoogspanningsnet. Belangrijke uitdaging hierbij is het digitaal samenvoegen van samples van stroom en spanning om tot elektrisch vermogen te komen. Omdat hierbij de tijdsduur van elk sample een cruciale rol speelt wordt nauw samengewerkt tussen de groepen Elektriciteit en Tijd en Frequentie.

De kwaliteit van energie uit het elektriciteitsnet wordt negatief beïnvloed door moderne elektronica die stoorsignalen genereert. In de frequentieband 2-150 kHz bestonden nog geen goede normen en regelgeving. In het EMPIR project **SupraEMI** (2019-2022) is daarvoor een meetmethode ontwikkeld en voorgesteld aan de betreffende normcommissie. VSL heeft hieraan bijgedragen door het kaart brengen van de aard van de verstoring voor verschillende soorten apparaten en het realiseren van zowel een draagbaar meetinstrument voor veldgebruik als een referentie opstelling in het laboratorium.

Bij hogere wisselspanningen zijn transformatoren nodig om de spanning terug te brengen tot een meetbaar niveau. Deze transformatoren hebben een effect op de gemeten stoorsignalen. In het EMPIR project **IT4PQ** (2020-2023) heeft VSL het werkpakket geleid waarin eisen voor dergelijke meettransformatoren zijn opgesteld en een draagbaar instrument ontwikkeld om deze ter plekke te kunnen karakteriseren.

Een nieuwe ontwikkeling op het gebied van elektrische energy zijn DC-netten (zie kader). VSL coördineert het EMPIR project **DC grids** (2021-2024) dat hiervoor de benodigde metrologie ontwikkeld. Er wordt hiervoor een testbed gebouwd, waarmee DC energiemeters kunnen worden getest op robuustheid tegen stoorsignalen. Om de aard en omvang van dergelijke signalen in de praktijk vast te stellen is een draagbaar meetinstrument ontwikkeld. Met dit instrument zijn in 2022 veldmetingen gedaan bij Lelystad Airport en in The Green Village in Delft. Ook is er een goedbezochte stakeholder workshop georganiseerd in Malaga, waar een operationeel DC net ligt.

Het DC grids project

Dit project onderzoekt de overstap van wisselstroom naar gelijkstroom. Door de opkomst van bijvoorbeeld zonnepanelen en elektrische voertuigen wordt er steeds meer gebruik gemaakt van het elektriciteitsnet. Al deze apparaten werken op gelijkstroom, terwijl het elektriciteitsnet wisselstroom levert. VSL werkt aan de meest urgente meetvraagstukken binnen dit project.



Tot slot is VSL ook betrokken bij onderzoek naar CO₂ afvang, gebruik en opslag. Dit is een belangrijk element in de Europese strategie om in 2050 geheel CO₂-neutraal te zijn. In het nieuwe Partnership project **MetCCUS** (2022-2025) wordt onderzoek gedaan naar volumemetingen, chemische samenstelling en fysische eigenschappen van CO₂. Dit ondersteunt een eerlijke Europese meetinfrastructuur voor CO₂ in lijn met het EU Emissions Trading System.

Milieu

VSL heeft ervoor gekozen om zich op het thema Milieu te concentreren op luchtkwaliteit, om zo de expertise op het gebied van gaschemie optimaal te benutten.

Zo is in het EMPIR project **SI-Hg** (2020-2023) gewerkt aan een protocol voor het kalibreren van de output van kwikgasgeneratoren opgezet, herleidbaar naar SI. Het protocol bevat methodes voor het vergelijken van een kwikgasgenerator met een referentiestandaard en het bepalen van de onzekerheid van de kwikconcentratie die gegenereerd wordt.

Een belangrijke bron van luchtvervuiling is wegverkeer, waarbij het o.a. gaat om stikstofoxide. VSL draagt bij aan het betrouwbaar kunnen meten van deze uitstoot door in het EMPIR project **MetroPEMS** (2020-2023) referentiegassen te ontwikkelen waarmee uitlaatgasmeetsystemen kunnen worden gekalibreerd. Deze gassen moeten niet alleen worden gemaakt, maar de samenstelling moet nauwkeurig worden gemeten en er moet een model zijn dat de stabiliteit van de gemaakte referentiegassen beschrijft.

Op het gebied van binnenlucht werkt VSL aan referentiegassen voor Vluchtige Organische Componenten (VOC's) zoals formaldehyde in het EMPIR project **MetriAQ** (2021-2024).

Het Partnership project **QuantiAGREMI** (2022-2025) richt zich op het meten van emissies van ammoniak en broekgassen uit de veehouderij (zie kader). Het hoofddoel is een verbeterde bepaling

van ammoniakemissies van veehouderijbedrijven. Hierbij wordt zowel gekeken naar de bepaling van de ammoniakconcentraties in en rond de stallen als ook naar het volumebiet door de open stallen. Binnen dit project zal VSL werken aan de ontwikkeling van een tweetraps verdunningsstelsel voor ammoniak dat kan worden gebruikt voor kalibratie en validatie van ammoniakmeetapparatuur. Verder wordt er gewerkt aan het modelleren van het volumedebiet door open stallen met als doel het verkleinen van de thans zeer grote onzekerheid in de bepaling van het debiet (>30%).

Het QuantiAGREMI project

De resultaten van ammoniak- en broekgasmetingen staan aan de basis van ingrijpende beslissingen in de veehouderij. Daarom is het belangrijk dat de metingen correct worden uitgevoerd en de resultaten betrouwbaar zijn. In dit project werkt VSL hard aan onder andere het verkleinen van de meetonzekerheid, die nu tot wel 50% is en zijn we op zoek naar de beste meetopstelling. Zodat zowel de overheid als de veehouderij zelf kan vertrouwen op de meetresultaten.



Gezondheid

Een belangrijke activiteit op het gebied van gezondheid zijn de activiteiten van de groep Ioniserende Straling, waar onderzoek wordt gedaan naar metrologie van afgegeven stralingsdosis ter ondersteuning van nieuwe methoden van stralingstherapie. Een van die methoden is radiotherapie in combinatie met hyperthermie, waarbij door temperatuurverhoging van het weefsel, de gevoeligheid van (tumor)cellen voor radiotherapie wordt verhoogd. In het EMPIR project **RaCHy** (2019-2022) heeft VSL onderzoek gedaan naar een specifieke vorm hiervan, waarbij radioactieve magnetische nanodeeltjes in een electromagnetisch worden gebruikt om lokaal het weefsel te verwarmen terwijl gelijk een stralingsdosis wordt afgegeven. Door middel van uitgebreide simulaties is er voor verschillende dimensies en configuraties een dosisverdeling ten gevolge van de nanodeeltjes gesimuleerd.

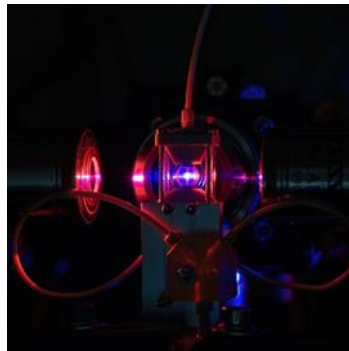
In het EMPIR project **PRISM-eBT** (2019-2022) is onderzoek gedaan naar het bestralen van tumoren met röntgenstralen van dichtbij. Deze methoden heeft een aantal voordelen, maar het ontbrak aan een uniforme kalibratiemethode voor de gebruikte apparatuur. In het PRISM-eBT project is een met simulaties en metingen aan systemen van verschillende fabrikanten een belangrijke stap gezet naar een geharmoniseerde kalibratiemethode. Hiervoor is onder andere een speciaal waterfantom voor metingen met film aan de oppervlakte en op 1 cm diepte gerealiseerd.

Ook bij andere technologieën werd gewerkt aan projecten op het gebied van gezondheidszorg. In samenwerking met het Amsterdam UMC coördineerde VSL het EMPIR project **MetVes II** (2019-2022), waarin gekeken werd naar de metrologische karakterisatie van extracellulaire deeltjes. Dit zijn microscopische losse stukjes celweefsel in lichaamsvloeistoffen, die worden gezien als een

waarschuwingssignaal voor bepaalde ziekten zoals kanker. Doordat er echter geen goede metrologie bestaat voor de gebruikte meetapparatuur is er geen consensus over gezonde en verdachte concentraties. Door de ontwikkeling van een metrologische flowcytometer (zie kader) heeft VSL een bijdrage geleverd aan het verhogen van de betrouwbaarheid en vergelijkbaarheid van dit soort metingen.

Het MetVes II project

In dit project komen medische ontwikkeling en metrologie echt samen. Door het ontwikkelen van een metrologische flowcytometer kunnen dokters in de toekomst ook daadwerkelijk vroegtijdig ziektes detecteren op basis van de medische ontdekking van celblaasjes als marker.



Behalve aan meettechnieken voor behandeling en diagnose, werkt VSL ook aan methoden om producten betrouwbaar te testen op gezondheidsschade te voorkomen. Een voorbeeld hiervan is het EMPIR project **MetTLM** (2021-2024) waarin gewerkt wordt aan meetmethoden voor optische flicker van lichtbronnen. In dit project zijn in 2022 uitgevoerd voor karakterisatie van een aantal commerciële meetinstrumenten voor gepulseerd licht met behulp van speciaal ontwikkelde software en is een serie validatiemetingen uitgevoerd aan een referentiebron. Ook heeft VSL samen met de internationale verlichtingsorganisatie CIE een workshop gehouden over dit onderwerp.

High-tech industrie

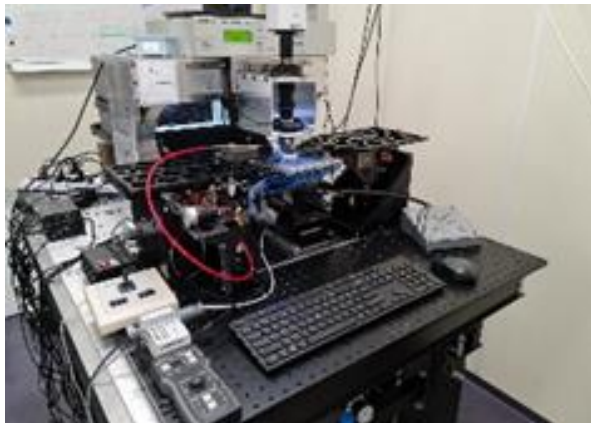
VSL neemt deel aan verschillende projecten die de high-tech industrie ondersteunen bij het produceren van geavanceerde nanostructuren. In het EMPIR project **NanoWires** (2020-2023) gaat het bijvoorbeeld om nanostructuren voor lokale opwekking van kleine hoeveelheden energie uit beweging, bijvoorbeeld voor het voeden van lichaamsgebonden sensoren. Verwante projecten zijn de EMPIR projecten **ATMOC** (2021-2024), **POLight** (2021-2024) en **TracOptic** (2021-2024).

In deze projecten wordt gebruik gemaakt van de faciliteiten van VSL voor optische scatterometrie (meting door middel van lichtverstrooiing) en atoomkrachtmicroscopie (AFM). Ook het verder ontwikkelen van de mogelijkheden van optische scatterometrie zelf is daarbij een belangrijk doel. Zo is in 2022 de scatterometer uitgerust met optische componenten om golflengtegebieden te kunnen selecteren uit het door een super-continuümlaser gegenereerd breedbandig spectrum en is de mechanica voor de sampleuitlijning van een upgrade voorzien. Belangrijk is ook het ontwikkelen van modellen voor de lichtverstrooiing. Hierin werkt de Lengtegroep samen met de nieuw opgerichte Data science en Modeling groep.

In het EMPIR project **TEMMT** (2019-2022) en het vervolgproject **FutureCom** (2021-2024) heeft VSL gewerkt aan een meetopstelling voor het doormeten van hoogfrequente elektronische componenten op wafers (zie kader). Een belangrijk punt daarbij is het contact maken tussen de probes en de contactvlakken van de componenten, waarbij de uitlijning heel precies moet zijn. Hiervoor heeft VSL zelflerende algoritmes ontwikkeld die gebruik maken van beeldverwerking en terugkoppeling op het meetsignaal en een geheel autonome nadering mogelijk maken. Deze algoritmes zijn ingebouwd in de VSL meetsoftware FAME en het eigen probing station. Daarnaast zijn er on-wafer referentiestandaarden ontwikkeld om herleidbaarheid te kunnen leveren aan gebruikers.

Het FutureCom project

De wijdverbreide implementatie van toekomstige communicatietechnieken zoals 5e generatie (5G) en connected autonome voertuigen stellen hoge eisen aan de nieuwe generatie elektronische radiofrequent (RF) componenten, subsystemen en systemen. Deze dienen nauwkeurig gekarakteriseerd te zijn om gestelde prestaties in 'real world' omstandigheden te leveren. Momenteel hebben NMI's in Europa niet de capaciteit om de benodigde RF-metingen, die nodig zijn om de communicatiesector te ondersteunen, uit te voeren. Dit project zal bijdragen aan metrologie voor actieve RF-componenten door standaardisatie in de communicatietoepassingen te ondersteunen door meetmogelijkheden te bieden om de prestaties van apparaten op realistische wijze te beoordelen en het gebruik van de technologie te bevorderen. VSL richt zich daarbij op het meten van RF devices op wafers, met haar unieke RF probingstation.



Nieuw is het combineren van complexe elektronische componenten in combinatie met 3D printen van geleidende sporen. In het PENTA-project **AMPERE** (2021-2024) werkt VSL aan het meten en testen van producten tijdens het fabricageproces, zodat het gewenste product in één keer accuraat wordt gefabriceerd. In 2022 is samen met TNO onderzoek gedaan naar de dimensionele nauwkeurigheid van de hiervoor gebruikte printmachines. Daarnaast is begonnen aan het ontwikkelen van technieken om in-situ de geleiding te meten.

Bij steeds meer processen in de high tech industrie is het belangrijk dat in bepaalde processen weinig vocht aanwezig is (laag $\mu\text{mol/mol}$ of zelfs nmol/mol) om de kwaliteit van het eindproduct te kunnen garanderen. In het EMPIR project **PROMETH2O** (2021-2024) wordt gewerkt aan Herleidbaarheid voor vocht voor zeer lage fracties voor diverse matrixgassen. In 2022 is gestart met het voorbereiden van de dauwpuntsgenerator van VSL om de zogenaamde enhancementfactoren van waterdamp in diverse matrixgassen te meten. Het systeem is getest bij 6 kPa absolute druk met CO_2 -vrije perslucht

als matrixgas bij een thermostaatbad temperatuur van $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. De resultaten zullen worden vergeleken met literatuurwaardes om de experimentele methode te valideren en de nauwkeurigheid van de generator te kunnen bepalen.

Digitalisatie

Een belangrijke component van de digitale infrastructuur is de nauwkeurige distributie van de nationale tijdsschaal UTC(VSL). Synchronisatie van klokken is o.a. van belang voor veilige communicatie, financiële transacties en controle van het elektriciteitsnet. De meest nauwkeurige methode voor distributie van tijd over netwerken is op dit moment White Rabbit. VSL heeft intern een White Rabbit netwerk tussen de atoomklokken en de diverse laboratoria waar herleidbaarheid naar de seconde nodig is en biedt ook extern White Rabbit tijdsynchronisatie aan via glasvezel. Op basis van de ervaringen met White Rabbit is in het EMPIR project **TiFOON** (2019-2022) een nieuwe tijdstransfer techniek ontwikkeld op basis van pseudo-willekeurige ruis, die nog nauwkeuriger is. VSL heeft hiervoor software ontwikkeld en geïmplementeerd in een prototype modem. Hiermee zijn tijdsinterval metingen op picoseconde niveau mogelijk.

In de toekomst wil VSL investeren in meer onderzoek op het gebied van digitalisatie. Hiervoor is een aparte **Data Science en Modeling** groep (zie kader) in het leven geroepen. In 2022 is een intern project gestart om de rol van metrologie op gebieden zoals Machine Learning in kaart te brengen en hiervoor een raamwerk op te zetten.

Data Science en Modeling

Bij DSM zijn we geïnteresseerd in de berekeningen die plaatsvinden op basis van de ruwe meetdata die uit sensoren en meetinstrumenten komen. Deze berekeningen worden steeds complexer, zeker door de inzet van kunstmatige intelligentie en machine learning (ML) technieken binnen de metrologie. Op termijn willen we binnen het raamwerk concrete, gestandaardiseerde methodes ontwikkelen om ML-gebaseerde systemen te valideren en metrologisch herleidbaar te maken. Als we de onzekerheden van ML-gebaseerde systemen beter begrijpen en kunnen kwantificeren, kan dit een waardevolle bijdrage leveren aan het gebruik en de acceptatie van dergelijke systemen binnen de maatschappij. Technieken uit de kunstmatige intelligentie kunnen potentieel een grote bijdrage leveren aan het oplossen van maatschappelijke problemen waar een meetcomponent in zit. Er is echter nog veel onbekend. Het is geweldig dat we nu bij VSL een eigen Data Science & Modeling groep hebben om hiermee aan de slag te gaan!

