

Algemeen

Groepen standaarden

In de Metrologiewet uit 2006, artikel 3 lid 1, is opgenomen dat de Minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK) een in Nederland gevestigde instelling aanwijst, die tot taak heeft zorg te dragen voor het verwezenlijken en beheren van de nationale meetstandaarden. Deze meetstandaarden dienen het openbaar belang en zijn relevant voor onder meer de industrie, volksgezondheid, milieu en wetenschap. VSL is door de Minister aangewezen als de instantie die verantwoordelijk is voor de nationale meetstandaarden.

Via een overeenkomst heeft VSL zich verplicht bovengenoemde standaarden met de daarbij behorende kalibratiefaciliteiten alsmede andere, nader overeen te komen standaarden met de eveneens daarbij behorende kalibratiefaciliteiten in stand te houden. De wijze waarop dit wordt uitgevoerd is omschreven in de jaarlijks af te sluiten StandaardenBeheerOvereenkomst (SBO). Deze nationale standaarden zijn meestal primaire en in een aantal gevallen secundaire realisaties van de bij de grootheid behorende SI-eenheid. De realisatie van meetstandaarden vindt plaats op de volgende gebieden:

- Chemie
- Elektriciteit (DC/LF en HF)
- Ioniserende straling
- Massa en gerelateerde grootheden (Druk en Viscositeit)
- Lengte
- Thermometrie (en vochtigheid)
- Optica
- Tijd en Frequentie
- Volumetrie (lage en hoge druk gas, vloeistof)

Op basis van de beheerde standaarden worden kalibraties verricht en gecertificeerde referentiematerialen geleverd. De bijbehorende certificaten zijn internationaal erkend onder de CIPM (= Comité Internationale des Poids et Mesures) MRA (Mutual Recognition Arrangement). Dit is een overeenkomst van wederzijdse erkenning van nationale meetstandaarden en van de validiteit van kalibratie- en meetcertificaten die uitgegeven worden door nationale metrologische instituten. Op de BIPM Key Comparison Data Base (KCDB) website (<http://kcdb.bipm.org>) is een volledig overzicht beschikbaar van alle "Calibration and Measurement Capabilities" en alle referentiematerialen van VSL die onder de MRA erkend zijn.

Standaardenbeheer (SBO)

De term "**Standaardenbeheer**" omvat een drietal activiteiten, te weten **Basisbeheer**, **Beheerontwikkeling** en **Key Comparisons**.

Onder **Basisbeheer** wordt verstaan:

- i. het beheren en verwezenlijken van de betreffende standaarden op het huidige nauwkeurniveau,
- ii. het operationeel houden van de apparatuur die ingezet wordt bij het basisbeheer,
- iii. het in standhouden van het door RvA geaccrediteerde kwaliteitsborgingsysteem op basis van de ISO/IEC-normen: ISO/IEC 17025:2017 (kalibratie), ISO/IEC 17043:2010 (ringvergelijkingen) en ISO/IEC 17034:2016,
- iv. het onderhouden van de contacten binnen de Metrologische Infrastructuur.

Beheerontwikkeling omvat met name projecten rond bestaande standaarden, die leiden tot een verbetering in de efficiëntie van het basisbeheer van een standaard door automatisering van het meetproces. Daarnaast loopt er binnen de technologie Elektriciteit een ontwikkelingsproject in samenwerking met de Universiteit Twente, dat gekoppeld is aan de deeltijdaanstelling van één van de senior wetenschappers van VSL als hoogleraar aldaar.

Onder **Key Comparisons** worden de internationale vergelijkingen verstaan die gericht zijn op het aantonen van de vergelijkbaarheid van de Nederlandse nationale standaarden met de nationale standaarden van andere landen die de CIPM MRA hebben ondertekend. De Key Comparisons kunnen uitgevoerd worden onder de vlag van CIPM en onder de vlag van de regionale metrologie-organisatie EURAMET.

Researchsubsidie

Het meer fundamentele onderzoek dat gericht is op het ontwikkelen van nieuwe standaarden en nieuwe meetprincipes vindt plaats via de **Researchsubsidie**.

Publieke rapportages

Hieronder volgen de afzonderlijke rapportages over de activiteiten die in 2021 zijn uitgevoerd binnen alle bovengenoemde programmaonderdelen. De totale financiële omvang van de programma's bedroeg in 2021 € 6.390.000,00 (waarvan € 6.155.000,00 incl. BTW en € 235.000,00 BTW-vrij) voor het Standaardenbeheer en € 3.464.000,00 BTW vrij voor de Researchsubsidie.

Research

Metrologie voor geoxideerd kwik

In het in 2017 afgeronde EMRP-project “Herleidbaarheid van kwikmetingen” is een faciliteit ontwikkeld voor de herleidbare kalibratie van meetmethodes voor elementair kwik (Hg(0)). Deze primaire gasvormige kwikstandaard is herleidbaar via gravimetrie, oftewel wegingen. Dit soort herleidbare meetmethoden en standaarden zijn echter ook nodig voor geoxideerd kwik (Hg(II)) om te voldoen aan de vereisten van EU-regelgeving en de implementatie van de Minamata conventie. Het doel van het project was om herleidbare kalibratiemethode en standaarden te ontwikkelen voor de belangrijkste geoxideerde kwikverbindingen, in het bijzonder voor kwikchloride (HgCl₂).

De herleidbaarheid voor geoxideerd kwik verloopt via de faciliteit van VSL, die zorgt voor herleidbare kalibratiemethoden en -standaarden voor Hg(0) gebaseerd op gravimetrie. Hiervoor is in 2018 een meetsysteem voor Hg(0) en Hg(tot) ontwikkeld. In 2019 is het meetsysteem naar VSL gebracht voor metingen in combinatie met de Hg(0)-generator. Tijdens deze metingen is het meetsysteem gekalibreerd met de primaire gasvormige kwikstandaard en vervolgens zijn HgCl₂-gasgeneratoren gecertificeerd m.b.v. het gekalibreerde meetsysteem. Het meetsysteem en gecertificeerde gasgeneratoren zijn in 2020 gebruikt voor veldtesten, uitgevoerd door projectpartners.

In 2019 is een wetenschappelijk artikel geschreven over de ontwikkeling en validatie van de primaire gasvormige kwikstandaard ontwikkeld door VSL. Dit artikel is begin 2020 opgestuurd naar het peer-reviewed journal *Measurement* voor review en in augustus 2020 is het geaccepteerd voor publicatie. Tevens is er een tweede wetenschappelijk artikel geschreven over de resultaten van vergelijken van de primaire standaard met kalibratiefaciliteiten voor kwik met andere NMIs en DIs. Dit artikel is in 2020 opgestuurd naar een peer-reviewed journal en in maart 2021 geaccepteerd voor publicatie. Voor de afronding van het project is bijgedragen aan de eindrapportage en publishable summary. Het project is daarmee afgesloten.

De link naar de projectwebsite is: <http://www.mercox.si/>.

Energiemanagement van elektrische spoorwegsysteem

In 2018 heeft VSL een referentiemeetopstelling gebouwd voor het uitvoeren van stroomkalibraties van energiemeetsystemen, zoals toegepast aan boord van treinen met gelijkstroom voeding. Met deze opstelling kunnen DC transducers gekarakteriseerd worden onder sterk vervormde signalen die relevant zijn voor spoorwegsysteem, waaronder een aantal signalen zoals geregistreerd in een locomotief van Metro de Madrid. De resultaten zijn gepresenteerd op een grote conferentie over elektrisch transport en gepubliceerd in *IEEE TIM*. In 2019 is een vergelijkbare opstelling gebouwd voor treinen met AC-voeding, waarbij de nadruk lag op het meten van stroom op hoogspanning, zonder verdere verstoringen.

In 2020 is de AC-referentie-opstelling verder doorontwikkeld voor stroommetingen tot 500 A bij spanningen tot 25 kV. De eerste nauwkeurige metingen zijn uitgevoerd, met unieke resultaten over de spanningsafhankelijkheid van stroomtransformatoren. Ook zijn, samen met projectpartners, data uitgewerkt en is een eerste onzekerheidsbudget opgesteld voor metingen aan de remweerstand, terwijl de trein remt, waarbij de stroom met 500 Hz aan- en uitgeschakeld wordt (gechopt).

Daarnaast is in samenwerking met een MSc-student van de TU Delft een opstelling gerealiseerd om DC energie- en vermogensmeters te kunnen kalibreren voor deze gechopte golfvormen met maximale stromen tot 500 A. Ook is bijgedragen aan de modellen van Strathclyde (universiteit) en NPL m.b.t. power quality signalen in onderstations. De resultaten hebben geleid tot drie presentaties op CPEM (Conference on Precision Electromagnetic Measurements) en een peer-review paper in *Sensors*. Vanwege COVID-19 is het project met 5 maanden verlengd tot en met januari 2021.

In 2021 zijn aanvullende metingen gedaan aan de spanningsafhankelijkheid van MV- stroomtransformatoren voor de AC-referentie-opstelling en het schrijven van een peer-reviewed paper in *IEEE TIM* daarover. Daarnaast zijn alle projectrapportages afgerond. Het project is daarmee succesvol afgesloten.

De link naar de projectwebsite is: <https://myrails.it/>.

Metrologie voor aardobservatie en klimaat

Optische meetinstrumenten, zoals spectroradiometers, leveren een belangrijke bijdrage aan het wereldwijd verkrijgen van klimaatdata, zowel vanuit de ruimte als vanaf de aarde. Dit project richtte zich op het leveren van herleidbaarheid aan spectroradiometers, waarmee (direct of indirect) Essential Climate Variables (ECVs) worden gemeten.

In samenwerking met TNO is een casestudy uitgevoerd. Hierbij zou in eerste instantie een breedverstembare radiantiebron van TNO worden gekalibreerd, waarna deze zou worden ingezet voor het kalibreren van een satellitspectroradiometer van TNO (TROPOLITE). Vanwege het defect raken van de verstembare laser van TNO is de radiantiebron in 2019 opgebouwd bij VSL, op basis van een integrerende bol van TNO en de laser van VSL. Deze opstelling is door VSL gekalibreerd voor radiantie, waarna samen met TNO de metingen voor de casestudy met de TROPOLITE spectrometer zijn uitgevoerd. In de 1^e helft van 2020 is de data-analyse van de metingen uitgevoerd en het onzekerheidsbudget voor de aangeboden radiantie opgesteld. De onzekerheid varieert van 0,4%-0,7% over de range van de spectrometer (370 nm – 480 nm).

De radiantieresponse van het TROPOLITE instrument is vastgesteld en deze is door TNO vergeleken met de traditionele kalibratiemethode op basis van een FEL-lamp met diffusor. De resultaten komen binnen de onzekerheid met elkaar overeen. Een artikel waarin de resultaten worden vastgelegd, is in februari 2021 gepubliceerd. De radiantiebron die is ontwikkeld, bestaat uit een verstembare infraroodlaser en een integrerende bol met diverse add-ons. In 2019 is de integrerende bol ontworpen, extern geproduceerd en geleverd. De add-ons voor de bol (aperturen, houders voor detectoren en een element om 'laser speckle' tegen te gaan) zijn vervolgens ontworpen en door het toenmalige Mechatronica Lab van VSL vervaardigd. In de 1^e helft van 2020 is de opstelling gereedgekomen. De detectoren zijn gemonteerd en de 'despeckle'-methode is met zichtbaar licht getest en werkt goed. Dit EMPIR-project is daarmee afgerond.

De link naar de projectwebsite is: <http://www.meteoc.org/>.

Elektromagnetische interferentie bij statische elektriciteitsmeters

Het project "Elektromagnetische interferentie bij statische elektriciteitsmeters" is in 2018 van start gegaan. Een belangrijke activiteit aan het begin van het project was het verwerven en meten van huishoudelijke apparatuur, teneinde potentieel verstorende golfvormen vast te stellen. Een dertigtal apparaten is inmiddels bij VSL doorgemeten, resulterend in meer dan honderd datasets. Papers hierover zijn gepresenteerd op de AMPS 2019 conferentie in Aken en de EMC Europe 2019 conferentie in Barcelona. Voor het testen van statische elektriciteitsmeters tegen de gevonden golfvormen is een testopstelling ontworpen, gerealiseerd en gevalideerd. De resultaten hiervan zijn eveneens gepresenteerd tijdens de EMC Europe 2019 conferentie in Barcelona.

Er zijn intensieve contacten met stakeholders, zowel op nationaal als Europees niveau. Er is op zeer regelmatige basis contact met de chief stakeholder Netbeheer Nederland. Daarnaast is op Europees niveau samenwerking tot stand gebracht met ESMIG, de organisatie van de meterfabrikanten en met de CEN-CENELEC Coordination Group on Smart Meters, een TC-overstijgende groep specifiek voor de smart meter roll-out in Europa.

In 2020 is de testopstelling verder verfijnd. Met deze opstelling is een benchmarkmeter, ontworpen door UTwente, getest. Deze bleek nog niet bestand tegen alle eerder gebruikte testsignalen. VSL heeft zelf een eigen waveform recorder getest en daarbij de verschillende filtereffecten van de spannings- en stroomingangen gecompenseerd. Deze recorder blijkt, na compensatie, wel bestand tegen de testsignalen. Hierover is een peer-reviewed paper gepubliceerd in *IEEE TIM*. De status van het VSL werk binnen MeterEMI is gepresenteerd op de CPEM (online). Verder is

samengewerkt met UPC in Barcelona en UTwente aan artificiële testgolfvormen voor gebruik in standaarden, gebaseerd op de oorspronkelijke UTwente/VSL-signalen en op veldmetingen van UPC en UTwente, door lineaire interpolatie tussen slechts enkele vaste punten. De diverse testgolfvormen zijn gebruikt in een serie metingen aan meters, die via de projectpartners uit de verschillende Europese landen zijn verkregen.

In 2021 is een vergelijking uitgevoerd tussen de arbitrary-waveform testbeds van VSL en NPL, en de split-signal testbeds van CMI en METAS, met voor VSL goede resultaten. Daarnaast is met JV, UPC en UTwente een peer-reviewed paper geschreven voor in *IEEE TEMC*. Een belangrijke conclusie was dat ook voor onsite gemeten golfvormen grote meterfouten zijn geconstateerd. Daarnaast is aangetoond dat de artificiële testgolfvormen vergelijkbare meetfouten opleveren als de originele signalen. Tevens zijn meters getest met artificiële testgolfvormen van NPL, gebaseerd op wavelets, die zelfs nog betere overeenkomst laten zien met de originele signalen. Ook hierover is een peer-reviewed paper geschreven, met NPL en UTwente, voor *IEEE TIM*.

De bevindingen zijn behalve in papers ook door VSL gepresenteerd op diverse internationale en nationale bijeenkomsten, van o.a. IEC TC13 WG11, Welmec WG11, FHI Platform Energie, EMC/ESD vereniging en FHI Power Electronics Event. De MeterEMI (online) final meeting, waar VSL meerdere presentaties heeft gegeven, is door meer dan 100 deelnemers bezocht. De bevindingen zijn ook beschreven in een rapport dat is aangeboden aan diverse standaardisatiecommissies (IEC TC13 WG11, Cenelec TC13, Welmec WG11, OIML R46 committee, CEN/Cenelec/ETSI Smart Meters Coordination Group). Het project is daarmee succesvol afgesloten.

De link naar de projectwebsite is: <http://empir.npl.co.uk/meteremi/>.

Verliesmetingen voor vermogenstransformatoren en reactoren

VSL was de coördinator van het EMPIR-project "TrafoLoss", dat in september 2021 is afgerond. In dit project is gewerkt aan metrologisch onderzoek naar nauwkeurigere en betrouwbaardere verliesmetingen van vermogenstransformatoren en reactoren die gebruikt worden in het hoogspanningsnet. VSL heeft zich met name gericht op het verbeteren van het referentiemeetsysteem, dat eerder in het EMRP ELPOW-project is ontwikkeld, om de onzekerheid te verlagen tot 10-20 ppm-niveau, zodat ook de nauwkeurigheid van industriële meetsystemen verder kan worden verlaagd.

Een belangrijk onderdeel van het verbeterde referentiesysteem zijn de stroomtransformatoren (CTs). In 2020 is een nieuwe stroomtransformator geconstrueerd op basis van een eerder gemaakt verbeterd ontwerp, die echter onder in het meetbereik een afwijking bleek te hebben van meer dan 10 $\mu\text{A/A}$. In 2021 is een aangepaste versie gemaakt met extra afscherming en verbeterde bedrading waardoor een cruciale verbetering is gerealiseerd: de afwijking bleek gereduceerd tot minder dan 5 $\mu\text{A/A}$ over het gehele stroombereik. Onderzoek hoe dit tot minder dan 2 $\mu\text{A/A}$ teruggebracht kan worden, zodat de CT een verwaarloosbare bijdrage levert aan het totale onzekerheidsbudget van de VSL referentieopstelling, heeft echter niet tot de gewenste resultaten geleid.

Een tweede onderdeel van het verbeterde systeem is een power-samplingtechniek, die nauwkeurig is op het niveau van 10 $\mu\text{W/VA}$ voor alle fasehoeken tussen spanning en stroom, en dan met name bij een fasehoek van 90° (power factor 0). In 2019 is deze onzekerheid in principe gerealiseerd, maar verificatiemetingen waren nodig om deze onzekerheid beter te onderbouwen. In 2020 is samen met een gastonderzoeker van JV, Noorwegen, een start gemaakt met deze verificaties. Inmiddels heeft dit tot goede resultaten in fase geleid (beter dan 7 μrad), waardoor bij een fasehoek van 90° goede onzekerheden gehaald kunnen worden.

In de eerste maanden van 2021 is het stroombereik van de VSL-referentieopstelling uitgebreid naar 2000 A. Voorheen konden deze stromen wel gerealiseerd worden, maar leidde dit tot zeer grote ruis in de opstelling. Door verbeteringen in de control loop van de opstelling is deze ruis teruggebracht tot een niveau, waarop wel zinvolle kalibraties tot 2000 A verricht kunnen worden.

Op basis van de gerealiseerde technische verbeteringen aan de VSL referentieopstelling zijn verbeterde CMCs ingediend en goedgekeurd (in mei 2021) bij zowel de RvA als binnen de CIPM MRA. De VSL-referentieopstelling heeft nu een meetbereik van 230 kV, 2000 A met een onzekerheid van 20 $\mu\text{W/VA}$. Dit is een unieke CMC wereldwijd. NRC, Canada, is het enige NMI dat

vergelijkbare CMCs heeft, maar de VSL-opstelling is door de digitale, geautomatiseerde aanpak in de praktijk een factor 2 sneller. Dit is voor klanten zoals Royal Smit Transformers een belangrijk reden om niet meer NRC maar VSL te kiezen voor hun herleidbaarheid.

Samen met de Chief Stakeholder van het project, ABB Zweden (nu Hitachi Energy), en RISE, Zweden, is een onzekerheidsrekening gemaakt voor verliesmetingen aan reactoren. Deze informatie is gedeeld met CLC TC14, de TC die de trigger heeft gegeven voor het onderzoek in het TrafoLoss project. Een “good practice guide” voor betrouwbare verliesmeting aan vermogenstransformatoren en reactoren is opgezet, die de basis is geweest voor een VSL-bijdrage aan een CIGRÉ Technical Brochure over de efficiëntie van vermogenstransformatoren (CIGRÉ WG A2.56).

De projectwebsite is operationeel (<http://www.trafoloss.eu>) en er is tijdens gehele looptijd van het project goede belangstelling van en interactie met stakeholders geweest. In het bijzonder was er warme interesse vanuit de NEC TC14-38 en CENELEC TC14, die op halfjaarlijkse basis zijn bijgepraat over de projectvorderingen, en vanuit de transformator fabrikanten Royal Smit Transformatoren en ABB Zweden. In juni 2021 is er een succesvolle final stakeholder workshop gehouden met meer dan 40 deelnemers vanuit de Europese industrie, universiteiten en wereldwijde NMI's. De presentaties van deze workshop zijn te vinden op <http://www.trafoloss.eu/news-and-events/final-stakeholder-workshop-of-the-trafoloss-project-17-june-2021/>.

Metrologie voor digitale onderstations

Het EMPIR-project “Metrologie voor digitale onderstations” is in 2018 van start gegaan met als doel een metrologische infrastructuur op te zetten voor digitale instrumentatie, die gebruikt wordt in onderstations. Voor 2021 stond als doel de referentie-SAMU (Stand Alone Merging Unit), die in 2019 is ontwikkeld, te testen en te kalibreren. De grootste uitdaging was de bepaling van de interne vertraging tussen de PPS-ingang (Pulse Per Second) en de analoge ingangen, waar een blokgolf met een sinus vergeleken moest worden. Voor het bepalen van de vertraging tussen de PPS en de analoge golfvorm werd samengewerkt met experts van de groep Tijd en Frequentie. Er is een speciale integrator gemaakt, die de slew rate van de signalen vertraagt. Hierdoor is het makkelijker om de verschillende signalen met elkaar te vergelijken. De referentie-SAMU is operationeel.

Voor de distributed digitizer met een metrologische nauwkeurigheid is in 2020 een ADC-board en een controller board ontwikkeld en gebouwd in samenwerking met VTT (Finland). Er is verder gewerkt aan de embedded software, die nodig is om de digitizer goed te laten werken. In 2021 is een tweede distributed digitizer gemaakt. Er is nog een aantal verbeterpunten geïdentificeerd voor de digitizer. Helaas was de wetenschapper die aan dit deel van het project werkte voor een aanzienlijk deel van 2021 met ziekteverlof. Met het oog op het daadwerkelijk kunnen uitvoeren van toekomstige kalibraties is binnen de resterende looptijd van het project prioriteit gegeven aan het volledig afronden van de referentie-SAMU.

In 2021 is het project afgerond. VSL beschikt nu over een operationele referentie-SAMU die gebruikt kan worden voor kalibraties. Van deze referentie-SAMU is nu bekend wat de interne digitale vertraging is en hoe we die nauwkeurig kunnen vaststellen. De eerste stappen naar het volledig kalibreren van een klant-SAMU zijn gezet. Dit wordt verder uitgewerkt in het vervolproject DigIT, dat medio 2022 start binnen het programma European Partnership on Metrology.

De link naar de projectwebsite is: <https://projectsites.vtt.fi/sites/FutureGrid2/>.

Betrouwbare metingen van supraharmonischen in het elektriciteitsnet

Dit EMPIR-project is in 2019 van start gegaan. Een van de belangrijkste hoofddoelen van het project is om een nieuwe meetmethodiek te ontwikkelen voor het meten van supraharmonische (2-150 kHz) emissie. Om de huidige methodieken te kunnen vergelijken met de nog te ontwikkelen nieuwe meetmethodiek, is er in 2019 een ontwerp gemaakt van een laboratoriumopstelling, die het mogelijk maakt om de supraharmonische (2-150 kHz) emissie van (huishoudelijke) apparatuur te meten. In 2020 is een selectie gemaakt voor de stroomsensoren en componenten voor de spanningsdelers. Ook is gewerkt aan de constructie van een artificiële netvoeding (Artificial Mains Network, AMN). Tot slot heeft VSL voor dit project de draagbare meetset uit het MeterEMI-project

aangepast voor het meten van supraharmonischen in het veld, met name door toepassing van andere spanningsdelers.

Er is, in samenwerking met partners, een definitieve lijst van sterk vervuilende apparatuur samengesteld, die gebruikt gaat worden om de huidige meetmethodieken te kunnen vergelijken met nieuw ontworpen meetmethodieken. De aanschaf van deze apparatuur is afgerond, alsook de formulering van het te volgen testprotocol. De supraharmonische meting van geselecteerde apparaten is gedaan tot 9 kHz met het door VSL ontwikkelde testbed en de door VSL ontwikkelde draagbare meetset. Belangrijk is dat de apparatuur zo reproduceerbaar mogelijk wordt bedreven, omdat deze op verschillende testopstellingen (bij VSL en LNE) en in het veld zal worden gemeten (door TUD en NPL).

Het testbed is met een 16 bit ADC en de draagbare meetset is met een 12 bit ADC uitgerust. In het frequentiebereik van 50 Hz tot 150 kHz zal de resolutie een probleem zijn, vanwege de lage magnitude van het signaal in het relevante frequentiebereik. In 2021 is daarom een hoogdoorlaatfilter ontworpen en gebouwd om de resolutie te verhogen. De supraharmonische meting van geselecteerde apparaten is gedaan tot 150 kHz met het door VSL ontwikkelde testbed en de draagbare meetset. De resultaten worden vergeleken met die van de LNE CISPR-methode en die van het TU Dresden testbed. In 2022 zal de draagbare meetset van VSL wordt vergeleken met die van NPL.

De link naar de projectwebsite is: <http://empir.npl.co.uk/supraemi/>

Herleidbaarheid voor hoogfrequente metingen aan planaire componenten

Het EMPIR-project “Herleidbaarheid voor hoogfrequente metingen aan planaire componenten en materialen” is in 2019 van start gegaan. Er is een referentiewafer ontworpen, met daarop diverse soorten kalibratie- en verificatiecomponenten, voor operationele geschiktheid tot 1,1 THz. Ook is een computergestuurde techniek ontwikkeld voor geautomatiseerd contacteren van planaire componenten. Dit zelflerende algoritme functioneert goed en ondersteunt het planaire probing station van VSL. De eerste meetresultaten van dit algoritme zijn in een wetenschappelijk publicatie gepubliceerd. Een conceptueel ontwerp van het uiteindelijke probing station is gemaakt op basis van het experimenteel gevalideerde functionele eisen.

In 2021 is verder gewerkt aan de software voor het probing station, waarbij gebruik wordt gemaakt van de VSL FAME-software uit het gelijknamige EMPIR-project dat in 2020 is afgerond. Deze software ondersteunt nu ook planaire kalibraties en onzekerheidsberekeningen voor 8-term en 16-term VNA-modellen. Er is een module voor volledig autonome planaire kalibraties ontwikkeld.

Er is inmiddels ook een projectwebsite (<http://projects.lne.eu/jrp-temmt/>). Alle publicaties en experimentele data zijn open access en beschikbaar op deze website. De M27 projectpartners online meeting en de stakeholder workshop is gehouden op 20-21 juli 2021. De doelstellingen van het project en de rapportage over de lopende technische werkzaamheden zijn daar gepresenteerd. Vanwege COVID-19 is het project met 3 maanden verlengd.

Radiotherapie in combinatie met hyperthermie

Hyperthermie (HT) in combinatie met radiotherapie (RT) is een methode om door temperatuurverhoging van het weefsel, de gevoeligheid van (tumor)cellen voor radiotherapie te verhogen. Belangrijk hierbij is dat de temperatuurverhoging beheersbaar en homogeen is en dat hyperthermie en radiotherapie bij voorkeur kort na elkaar, liefst simultaan, worden uitgevoerd. Conventionele hyperthermietekniken zijn hiervoor niet optimaal. In het EMPIR-project “Radiotherapy Coupled with Hyperthermia” (RaCHy) wordt de metrologische basis ontwikkeld om nieuwe technieken een stap dichterbij klinische toepassing te brengen.

Een van de technieken, die onderzocht wordt, is gebaseerd op radioactieve magnetische nanoparticles (MNP), die door middel van elektromagnetische velden gebruikt kunnen worden om lokaal het weefsel te verwarmen. Deze methode maakt het in potentie mogelijk om tegelijkertijd de straling af

te geven en het weefsel te verwarmen. De belangrijkste eigenschappen voor de effectiviteit van deze MNPs zijn deeltjesconcentratie, afmetingen en de dosisverhoging in een gebied rondom een MNP met een diameter van 1 micrometer. VSL onderzoekt in dit project dosimetrische en dimensionele meetmethodes, die nodig zijn voor de bepaling van deze eigenschappen van de radioactieve MNPs.

De MNPs zijn gemeten met een AFM (Atomic Force Microscope), de eerste resultaten wijzen uit dat het nog niet mogelijk is om de dimensies goed te bepalen met behulp van metrologische flowcytometer. Momenteel liggen de activiteiten rondom de metrologische flowcytometer dan ook stil. Er wordt nu gekeken naar alternatieven voor de bepaling van variatie in concentratie en dimensies van de MNPs. Op basis van het Monte-Carlo model is voor verschillende dimensies en configuraties een dosisverdeling gesimuleerd. Dit model kan gebruikt worden om de onzekerheid in de dosis vast te stellen. In samenwerking met de TU Delft is een standard operating procedure opgesteld voor dosimetrische en temperatuurmetingen aan MNPs. Vanwege COVID-19 is het project met 6 maanden verlengd.

In het kader van een Research Mobility Grant werkt een gastonderzoeker voor 6 maanden aan een aanvullend deelproject binnen Rachy in samenwerking met de TU Delft en het Erasmus MC. Het doel van dit deelproject is de ontwikkeling van een model om de concentratie van MNP's in menselijk weefsel te simuleren. Hierbij worden de resultaten van de Monte-Carlo simulaties aan radioactieve MNP's gebruikt om de dosisinhomogeniteit bij radioactieve MNP's vast te stellen.

De link naar de projectwebsite is: <https://rachy-project.eu/>.

Primaire standaard en herleidbaarheid van elektronische brachytherapie-apparatuur

Elektronische brachytherapie (eBT) richt zich op het bestralen van tumoren met röntgenstralen van dichtbij en heeft potentiële voordelen ten opzichte van conventionele radiotherapie. De beschikbare systemen hebben echter unieke kalibratiemethoden, meestal indirect en met onzekerheden groter dan klinisch acceptabel. Dit betekent dat behandelplannen niet eenvoudig kunnen worden aangepast van het ene eBT-systeem naar het andere, wat de voortgang van andere vormen van therapie in de klinische praktijk belemmert.

Het resultaat van dit project zal een geharmoniseerde kalibratieservice zijn, plus kalibratienormen voor onafhankelijke en traceerbare verificatie van dosimetrie, voor zowel nieuwe systemen als voor kwaliteitsborging van bestaande apparatuur. Vergelijkbaarheid, ondersteund door de allereerste normen, zal het klinische vertrouwen verbeteren en kan, aangezien de behandelingskosten lager zijn dan voor conventionele radiotherapie, de kosten voor de Europese gezondheidsstelsels verminderen.

Hierbij zal VSL zich specifiek richten op het framework voor herleidbaarheid van oppervlakkige bestralingsmethoden. Realisatie van dosimetrische herleidbaarheid voor oppervlakkige eBT-bestralingen moeten in lijn zijn met dosimetrierichtlijnen (normen) voor het meten van geabsorbeerde-dosis-in-water (IAEA TRS-398, NCS-10, DIN 6809-4 en IPEMB). Onderdeel hiervan is het bepalen van de dosis op de huid (70 μm) en het uitvoeren van metingen voor de conversie van dosis aan het oppervlak (70 μm) naar de dosis op 1 cm diepte.

Het project is op 1 juli 2019 gestart. Een evaluatie van de kalibratiemethode op basis van het protocol NCS-10 (NCS = Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie) is uitgevoerd. Het project is in 2020 vertraagd geraakt, omdat er een uitbreiding van de ANVS-vergunning (Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming) nodig was, voordat er metingen uitgevoerd mochten worden. Deze vergunning liet langer op zich wachten dan verwacht. Daaropvolgend was het lab niet toegankelijk, vanwege de corona-uitbraak.

In 2020 is de Elekta Esteya in het kader van het project in bruikleen geleverd aan VSL. Spectrometrie heeft plaatsgevonden aan dit systeem. Op basis van berekende spectra van de Xoft Axxent en de Zeiss INTRABEAM zijn alle bundels gematcht met de VSL röntgenfaciliteit. Hierop is begin 2021 een tweetal ionisatiekamers gekalibreerd. Verder is een waterfantom voor metingen met film aan de oppervlakte en op 1 cm diepte gerealiseerd. Eind 2021 heeft, naast een aantal

online voortgangsgesprekken met het consortium, een overgroot deel van de metingen plaatsgevonden, waarvan de resultaten nog een vergelijkende analyse behoeven. De laatste metingen en vergelijkende analyse zullen begin 2022 plaatsvinden.

De link naar de projectwebsite is: <http://www.ebt-empir.eu>.

Metrologie voor extracellulaire deeltjes

Extracellulaire deeltjes (EVs) zijn nanodeeltjes uit lichaamsvloeistoffen, die klinisch relevante informatie bevatten. Om de concentratie en oorsprong (aan de hand van grootte, grootteverdeling, fluorescentie, etc.) van deze deeltjes te kunnen vaststellen, dient de gebruikte meetapparatuur gekalibreerd en de meetmethodiek gevalideerd te zijn. In dit project zal daarvoor referentiemateriaal worden ontwikkeld en meetmethodieken om dit te kunnen karakteriseren. Verder wordt er biologisch referentiemateriaal beschikbaar gemaakt voor een vergelijking van metingen van klinische laboratoria na uitvoering van de kalibratieprocedure met het ontwikkelde, herleidbare referentiemateriaal.

VSL zal een metrologische flowcytometer ontwikkelen. Deze flowcytometer kan vervolgens worden gebruikt ter karakterisering van EV-(referentie)materiaal en ter vergelijking en validatie van klinische metingen. De flowcytometer zal worden voorzien van een vloeistofcel met hydrodynamische focussing van een gravimetrisch gecontroleerde sample-vloeistof. De deeltjes in de vloeistof worden één voor één door een gefocuseerde lichtbundel gestuurd, waarna het verstrooide lichtprofiel kan worden gebruikt om de grootte en de brekingsindex van het deeltje te bepalen. Bovendien wordt in het geval dat de deeltjes voorzien zijn van fluorescerende labels, de fluorescentie-intensiteit bepaald met behulp van een toevoeging van een microRaman-arm aan de opstelling.

Er is bij de start in 2019 een kick-off vergadering georganiseerd bij VSL, als ook projectmeetings in Budapest en online, het datamanagementplan is opgesteld en een stakeholdercommissie is opgericht. Ook is inmiddels de eerste EMPIR-rapportage verzorgd en geaccepteerd en zijn de eerste artikelen verschenen. De analysesoftware wordt momenteel ontwikkeld en aangepast aan de huidige ontwerpkeuzes betreffende de belichting en uitgebreid voor meerlaagse deeltjes. Na het afronden van een optimalisatiestudie, zal de belichting zodanig worden gekozen dat de grootte en brekingsindex van de EVs uniek kan worden bepaald.

Verder is in de periode 2020-2021 de brekingsindexmeetfaciliteit uitgebreid met een flow-through vloeistofcel, geautomatiseerde golflengteselectiefilters en geautomatiseerde data-acquisitie. Naast het meten van vloeistoffen gebruikt in biologische laboratoria zal ook gekeken worden naar de brekingsindex van de referentiedeeltjes d.m.v. brekingsindexmatching. De meetonzekerheid is gemodelleerd d.m.v. een virtueel instrument, waarmee het gedrag van de meetopstelling kan worden gesimuleerd. VSL voert samen met het Amsterdam UMC de coördinatie van dit project. Er is geïnvesteerd in fluïdica en kleine optische en optomechanische componenten om de volgende stappen te ondernemen met de testopstelling bij VSL, samen met het verder ontwikkelen van het simulatiemodel.

De link naar de projectwebsite is: <http://www.metves.eu/>

Nieuwe tijdsignalen voor (sub)ps-tijdintervalmetingen

Het EMPIR project “Nieuwe tijdsignalen voor (sub)ps-tijdintervalmetingen” is in 2019 van start gegaan. De hoofdtaak van VSL in dit project is het bouwen van een nieuwe digitale modem voor tijd- en frequentie-overdracht. De selectie van het hardware platform is voltooid. Zowel de hardware- als software-onderdelen van het platform zijn gebouwd en getest.

De belangrijkste activiteiten, die in 2020 zijn afgerond, zijn de volgende. Een USRP-ontwikkelomgeving (Universal Software Radio Peripheral) voor transceivers voor tijdoverdracht is opgezet. De procedures voor het opzetten van het USRP-platform zijn samengevat als een rapport, waarnaar kan worden verwezen als een praktijkgids. Op basis van het USRP-platform heeft VSL softwareprogramma's ontwikkeld in C++ voor PRN-codemodulatie (Pseudorandom Noise) en demodulatie en de programma's getest in het frequentiebereik van de basisband.

Daarnaast is het onderzoek naar de architectuur van RFNoC-blokken (Radiofrequency Network on Chip) van de Software Defined Radio (SDR) transceiver afgerond. Samen met de projectpartners wordt gewerkt aan de ontwikkeling van RFNoC-blokken voor nauwkeurige tijdoverdracht en realtime signaalverwerking.

Op basis van de ontwikkelde USRP is in 2021 de functietest in het lab uitgevoerd. De apparaten voor het opzetten van de systeemtest zijn in aanschaf. Als validatie zal een glasvezelverbinding worden opgezet via een glasvezelspoel, binnen in het laboratorium en op het dak als simulatie van een verbinding in het veld. De test zal later in 2022 worden uitgevoerd. Een stakeholder workshop is gehouden op 10 februari 2021 in de vorm van een online vergadering. Na overleg met het consortium heeft de coördinator een verlenging aangevraagd van 6 maanden bij het MSU (Management Support Unit voor het EMPIR-programma), gezien de COVID-19 impact op het project. De M30 projectmeeting M30 is gehouden op 9 en 10 november 2021 in de vorm van een online vergadering. Tijdens de bijeenkomst zijn de updates van het USRP-ontwerp geïntroduceerd.

De link naar de projectwebsite is: <http://empir.npl.co.uk/tifoon/>.

Debietmetingen voor 'groene' gassen en gasmengsels in het gasnet

Het EMPIR-project "Debietmetingen voor 'groene' gassen en gasmengsels in het gasnet" is op 1 juni 2019 van start gegaan. Voortgangsmetingen hebben plaatsgevonden in maart 2020, november 2020 en november 2021. De evaluaties van de gasmeternormen bij het gebruik van hernieuwbare gassen zijn actief besproken met de CEN/TC237 WG5 Task Group "non-conventional gases". De opgestelde aanbeveling ter herdefiniëring van het toepassingsgebied is aangenomen.

De duurzaamheidstesten van gasmeters met biogas en waterstof zijn in samenwerking met projectpartners afgerond. Het effect van blootstelling aan biogas of waterstof op het functioneren en op de foutcurve van de gasmeters is vastgesteld en gerelateerd aan de vereisten in de van toepassing zijnde CEN/TC237 gasmeterstandaarden. Samen met de oplevering van de projectdeliverables door projectpartners levert dit de eerste inzichten op over het effect van waterstof op gasmeters in het huishoudelijk debiet (tot dusverre diafragma meters).

De hoge-drukstandaard is technisch gereed gemaakt voor nauwkeurigheidstesten van een rotormeter bij een gasstroom van met waterstof verrijkt aardgas en de toestemming van de omgevingsdienst om de testen te mogen verrichten is verkregen. Vervolgens zijn de kalibraties uitgevoerd met aardgas en met waterstof verrijkt aardgas. Het doorlopen testprotocol voor deze nauwkeurigheidstesten is in samenspraak met gasmeterfabrikanten opgesteld, zodat de relevantie van de nauwkeurigheidstesten maximaal is.

In samenwerking met projectpartners is er een transferstandaard vervaardigd en een testprotocol opgesteld voor het ringvergelijk voor huishoudelijk debiet gas van hernieuwbare gassen.

De projectwebsite is (<https://www.newgasmet.eu>) opgezet evenals een LinkedIn-pagina (<https://www.linkedin.com/groups/13740173/>). Op de projectwebsite zijn nieuws-updates gegeven waaronder een publicatie (niet peer-reviewed) over de door VSL verrichte hoge-druk flowkalibraties van een rotormeter met waterstof verrijkt aardgas.

Metrologie voor herleidbare kwikmetingen

Binnen verschillende EMRP- en EMPIR-projecten ("PartEmission" (2010 – 2013), "MeTra" (2013 – 2016) en "MercOx" (2016 – 2020, zie hoofdstuk 4)) is de metrologische herleidbaarheid voor gasvormig kwik naar de SI-eenheden vastgelegd, voor zowel elementair kwik als geoxideerd kwik. Ondanks deze ontwikkelingen zijn er op dit moment geen gestandaardiseerde procedures, die ervoor zorgen dat kwikmetingen herleidbaar zijn bij kalibratie- en testlaboratoria, instrumentleveranciers, meetnetwerken voor atmosferische lucht en de industrie zoals kolencentrales, afvalverbrandingsinstallaties en cementproducenten. Het project streeft ernaar om wetenschappelijk verantwoorde certificeringsprocedures voor elementair- en geoxideerd-kwikgasgeneratoren te ontwikkelen en valideren.

Het project is 1 oktober 2020 van start gegaan en er is een begin gemaakt met het ontwikkelen van de certificeringsprocedure voor kwikgasgeneratoren. Hiervoor is onderzoek gedaan naar de eigenschappen van bestaande kwikgasgeneratoren, zijn onzekerheidsbudgetten opgezet voor de kwikconcentraties, die de gegenereerd kunnen worden met de kwik gasgeneratoren. Verder zijn de testprocedures ontwikkeld en is een eerste versie van het protocol opgesteld voor de certificeringsprocedure. VSL is coördinator van dit project en heeft de kick-off meeting en M9-meeting georganiseerd en de eerste versie van het Data Management Plan, Exploitation Plan en de M9-rapportage geschreven.

Metrologie voor klimaatrelevante VOCs

Het project is halfweg (18 maanden) en richt zich op de ontwikkeling van een meetmethode voor het bepalen van het verlies van OVOC-samenstelling (alcohol) door adsorptie na bereiding van lage concentraties (100 – 1000 nmol/mol) gasmengsels in cilinders. De GC-meetmethode is geoptimaliseerd, hoewel de meettijd gelijk blijft (verschillende herhaalde metingen zijn nodig om een goede herhaalbaarheid van de meetgegevens te verkrijgen). Alle gasmengsels zijn in juli en augustus 2021 bereid en in september en oktober zijn de verificatie en een vergelijk met dynamische methoden uitgevoerd. Vanwege verlate aankomst van de cilinders zijn de stabiliteitstesten uitgesteld naar volgend jaar (2022).

Het protocol voor de vergelijking van deze gasmengsels met twee metrologische instituten, LNE (FR) en METAS (CH), is opgesteld en het VSL-mengsel wordt nu door METAS geanalyseerd. De monstervoorbereiding in sorbentbuizen voor de vergelijking is uitgevoerd, de resultaten zijn met de partners bediscussieerd en de rapportage is in draffase. De meting van het methanolverlies in cilinders met isotopen is uitgevoerd. De rapportage zal begin 2022 afgerond worden. Niet gepland voor 2021, maar wel al uitgevoerd is de meting van “whole air” luchtmonsters bereid in Zwitserland (EMPA).

De presentatie op een internationale conferentie en bezoek aan een van de projectpartners vonden niet plaats vanwege de coronapandemie, maar er zijn wel twee virtuele projectbijeenkomsten georganiseerd met stakeholders. Tijdens welke de VSL-resultaten zijn gepresenteerd. Alle projectvergaderingen zijn tot nu toe virtueel verlopen. De 18-maandenrapportage is ingediend door de coördinator (METAS) met ondersteuning van VSL.

De link naar de projectwebsite is: <http://www.metclimvoc.eu/>.

Metrologie voor isotoopanalyses

Het EMPIR-project STELLAR is op 1 september 2020 van start gegaan met een virtuele kick-off meeting georganiseerd door NPL. Er is begonnen met de inventarisatie van de isotoopverhoudingen van de beschikbare pure methaanbronnen. Op basis hiervan is een keuze gemaakt voor de aanschaf van methaan om de gewenste δ -ranges voor $^{13}\text{C-CH}_4$ en $^2\text{H-CH}_4$ te produceren.

Het lijkt eindelijk te lukken om methaan van biogene oorsprong te krijgen met de gewenste zuiverheid (3 cilinders zijn hiervoor naar een gasproducent in Finland gestuurd). Cilinders methaan van fossiele oorsprong en de benodigde matrixgassen zijn inmiddels wel verkregen via een projectpartner. Tevens zijn pure isotopen $^{12}\text{CH}_4$, $^{13}\text{CH}_4$ en $^{12}\text{CH}_3\text{D}$ besteld en inmiddels geleverd voor het maken van methaanisotoopstandaarden op atmosferisch concentratie. De CRDS-spectrometer (Cavity Ringdown Spectrometer) is opgebouwd en de eerste testmetingen zijn verricht. De behaalde absorptiepadlengte van 7,5 km is een grote vooruitgang t.o.v. het bestaande systeem en dit is ook nodig om de lage fracties $^{12}\text{CH}_3\text{D}$ (ongeveer 1 nmol/mol in lucht) te kunnen bepalen. Er is nog een aantal kleine aanpassingen aan het systeem nodig om het te kunnen inzetten voor de metingen.

De link naar de projectwebsite is: <http://empir.npl.co.uk/stellarproject>.

Metrologie voor energietransport

Het EMPIR project “Metrologie voor energietransport ” is op 1 juni 2020 van start gegaan. VSL werkt aan twee onderdelen binnen dit project. De belangrijkste doelen in dit project voor VSL zijn het realiseren van een LI-faciliteit (Lightning Impulse) en het ontwikkelen van een methode voor de bepaling van lineariteit van hoogspanningsdelers met een nauwkeurigheid beter dan 500 ppm.

Voor het realiseren van een LI-faciliteit met een bereik van minimaal 300 kV en onzekerheid van 1 % is uitgebreid literatuuronderzoek gedaan en gesproken met andere meetinstituten, die al een dergelijke faciliteit hebben. Op basis van al deze informatie is een systeem samengesteld dat een 600 kV meetbereik heeft met de beoogde meetnauwkeurigheid. De componenten van de opstelling zijn eind 2020 besteld en in 2021 bij RISE in Zweden afgeleverd voor het samenbouwen en testen van het systeem. In maart 2022 zal het LI-systeem van VSL worden gebruikt om een trialkalibratie te hebben voor het LI-systeem van de TU Delft (1 MV-verdeler). In mei 2022 zal een formele kalibratie plaatsvinden voor het 4 MV LI-systeem van de TU Delft. In oktober 2022 vindt de definitieve vergelijking tussen alle partners plaats bij de TU Delft.

Voor het nauwkeurig meten van extreem hoge wisselspanningen (tot 800 kV) moet de spanningsafhankelijkheid van onderdelen worden bepaald. Het meten van dit soort spanningen wordt voornamelijk gedaan met hoogspanning (HV) gascondensatoren. In het project worden twee paden gevolgd om de spanningsafhankelijkheid beter te kunnen bepalen: nieuwe karakterisatietechnieken voor de HV-condensatoren en een veldmeettechniek, waar het elektrisch veld wordt gemeten met een veldsensor. Met de veldsensor zou de lineariteit van hoogspanningsdelers met een nauwkeurigheid beter dan 500 ppm gehaald moeten kunnen worden. Dit is ruim voldoende om in de behoefte van de industrie te kunnen voorzien. VSL is werkpakketleider van dit onderdeel.

VSL heeft de veldsensor ontwikkeld op basis van de dubbelzijdige PCB (Printed Circuit Board). De onzekerheid, die is gemeten tegen de VSL-spanningsdeler, ligt binnen 40 ppm, wat overeenkomt met de resultaten van projectpartner VTT (Finland). Dit is veel nauwkeuriger dan de behoeften van de industrie. Als vervolgstap zal de sensor mechanisch robuuster worden gemaakt. Een laatste test zal worden uitgevoerd met het definitieve ontwerp van de sensor. Naar verwachting zal dit begin 2022 zijn.

De link naar de projectwebsite is: <https://www.ptb.de/empir2020/futureenergy/>.

Meettransformatoren voor power quality metingen

Het EMPIR-project “Meettransformatoren voor power quality metingen” is gestart op 1 augustus 2020. VSL is werkpakketleider van WP1 binnen het EMPIR project, waarin de eisen aan de meettransformatoren bij hogere frequenties (tot 5 kHz) worden vastgesteld. De hoofdtak van VSL binnen het project is het ontwikkelen van een meetopstelling voor de on-site kalibratie van PQ-meettransformatoren. De VSL-inbreng concentreert zich daarbij op de uitlezing van de output van de transformatoren met behulp van een comparator.

In 2020 is een start gemaakt met het ontwerp van een breedbandige comparator, gebaseerd op twee gesynchroniseerde digitizers. Daarnaast is samen met INRIM en Universiteit van Campania literatuuronderzoek gedaan ter bepaling van indicatoren en onzekerheidslimieten voor het evalueren van de nauwkeurigheid van PQ-meettransformatoren. INRIM, University of Campania), TU Dresden en VSL hebben over het project en deze eerste bevindingen een paper geschreven ter presentatie op de CIREC-conferentie (International Conference on Electricity Distribution). Daarnaast is door de projectpartners een gezamenlijke paper gepresenteerd op de CPEM-conferentie.

In 2021 is een definitief ontwerp gemaakt van de comparator en zijn de bijbehorende digitizer en stroomsensoren uitgezocht, aangeschaft en getest. Daarnaast is samen met de University of Campania een paper geschreven en gepresenteerd op de AMPS workshop over de relevante PQ-parameters voor meettransformatoren.

De link naar de voorlopige website is: <https://www.euramet.org/research-innovation/search-research-projects/details/project/measurement-methods-and-test-procedures-for-assessing-accuracy-of-instrument-transformers-for-power/>.

Metrologie voor nanowire energy harvesting devices

Dit project is 1 september 2020 gestart. Energieopwekking d.m.v. duurzame bronnen (zon en beweging) vormt een oplossing voor het creëren van kleine hoeveelheden energie voor toepassingen, die moeilijk bereikbaar zijn. Systemen gebaseerd op nanowires hebben bemoedigende voortgang geboekt, maar de metrologische karakterisering van de nanometercomponenten samen met de grote oppervlakken zijn uitdagend. Hoewel het globale gedrag kan worden gemeten, mist de correlatie met de eigenschappen van de individuele nanowires. Dit project is erop gericht om metrologie te ontwikkelen voor kwaliteitsmanagement van nanowire-energieopwekkingsystemen.

De project kick-off meeting is in 2020 gehouden. In 2021 zijn diverse virtuele projectbijeenkomsten georganiseerd en is de ontwikkeling van analysetools voor de evaluatie van meetdata voortgezet, inclusief het uitbreiden van de reconstructiesoftware voor nanostructuren, gemeten met scatterometrie,

De eerste nanowire samples zijn door de consortiumpartners aangeleverd en door VSL gekarakteriseerd met de Atomic Force Microscoop (AFM). Deze informatie is met de consortiumpartners besproken en zal worden gebruikt om de samplestructuur te verbeteren, zodat de samples ook met de scatterometer kunnen worden gemeten.

De website voor het project is: <https://www.ptb.de/empir2020/nanowires/home>.

Metrologie voor remote sensing van optische eigenschappen van aerosolen

Het EMPIR-project "Metrology for Aerosol Properties" is op 1 september 2020 gestart. Het voornaamste doel van het project is de ontwikkeling van laboratorium- en kalibratiemethoden op locatie voor lineariteit, field of view (FOV) en spectrale irradiantierespons van arrayspectroradiometers in het golflengtebereik van 310 nm tot 1700 nm.

Na diverse personeelwisselingen is het project voor VSL pas echt van start gegaan in maart 2021 (de formele start van het project was in september 2020). De focus ligt vooral op het uitvoeren van SI-herleidbare radiometrische kalibratie van sky-radiometers en arrayspectroradiometers. Het doel van dit project is het ontwikkelen van het metrologisch kader voor wereldwijde oppervlaktenetwerken, die de optische eigenschappen van de aerosolen meten. Atmosferische aerosolen zijn ondergeschikte bestanddelen van de atmosfeer, maar het zijn kritische componenten in termen van effecten op het klimaat. Hun eigenschappen zijn erkend als essentiële klimaatvariabelen (ECV's) door het Global Climate Observing System (GCOS).

De kalibratiefaciliteit van VSL voor arrayspectroradiometers gebaseerd op een verstembare laser, wordt gebruikt om de bandpassfunctie, spectrale radiantieresponsiviteit, polarisatie en lineariteit te meten. Er zijn twee SKYNET radiometers geselecteerd door het consortium, alsmede een grating-spectroradiometer van één van de stakeholders, die door VSL gekarakteriseerd zal worden.

Een onderzoek naar de validatie van een meetmethode gebaseerd op een gepulste laser én van een meetmethode gebaseerd op een continue laser is uitgevoerd. Het belangrijkste doel hiervan was om te begrijpen hoe de elektronica van de gekozen radiometers reageert op een specifieke bron. Dit zal leiden tot een juiste meetprocedure voor alle instrumenten, onafhankelijk van hun interne elektronica. Aldus zal een universele methode worden ontwikkeld.

De online kick-off vergadering en WP1/WP3-vergaderingen hebben plaatsgevonden in september 2020 en januari 2021. Daarnaast hebben er voortgangsmetingen plaatsgevonden begin en eind

2021. Beide vonden eveneens online plaats. De haalbaarheid van het onzekerheidsbudget is besproken met de werkpakketleider. Er is ook een samenwerking met fabrikant EKO-instruments aangaande de meetopstelling en medewerkers van dit bedrijf hebben de faciliteit in Delft bezocht en gaven lovende feedback.

De link naar de projectwebsite is: <https://www.pmodwrc.ch/en/MAPP/>.

Metrologie voor Portable Emission Measurement Systems (PEMS)

Mengsels met hoge concentratie NO₂ zijn gemaakt en gemeten met behulp van de nieuwe FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometer). Het testen van de stabiliteit van de concentratie in cilinders is hiermee gestart. Met dezelfde techniek zijn methodes ontwikkeld om onzuiverheden zoals N₂O₄ en HNO₃ te identificeren en te kwantificeren. Tijdens de M9 meeting in juni zijn de doelconcentraties voor NO₂ en de samenstelling voor het multicomponentenmengsel vastgesteld. Op basis hiervan zijn de bijbehorende mengsels gemaakt en is een meetmethode voor het multicomponentenmengsel ontwikkeld. Een meetmethode wordt ontwikkeld om NO en NO₂ te kunnen meten in de aanwezigheid van hoge concentraties CO en CO₂.

De literatuurstudie ter bestudering van onzekerheidsbronnen van de PEMS-EFM (EFM = Exhaust Flow Meter) is afgerond en gerapporteerd. De eerste labtesten met de PEMS-EFM zijn grotendeels uitgevoerd. Deze resultaten hebben bij de fabrikant tot nieuwe inzichten geleid en lenen zich voor publicatie. De SI-herleidbare kalibratie methode is alvast uitgewerkt voor een bestaande flowmeter, zodat dit na aanschaf kan worden gekopieerd naar de "gouden" PEMS.

De M9 project voortgangsmeting heeft online plaatsgevonden, alsook de WP1 en WP3 vergaderingen. De projectwebsite is gelanceerd: <https://www.metropems.ptb.de/home/>.

Uitbreiding zwavelcomponenten in methaan en waterstof

Zwavelcomponenten vormen een kritische verontreiniging voor brandstoffen zoals aardgas, biogas en biomethaan, vanwege het toxische karakter, de kwalijke reuk en de corrosiviteit van de verbrandingsproducten. De eisen m.b.t. zwavelhoudende verontreinigingen worden steeds scherper, daarmee is de vraag naar lagere concentraties en meer componenten ontstaan.

In september 2020 is gestart met de bereiding van een set zwavelmengsels in het bereik van 1-10 ppm, waaraan ook de nieuwe componenten DMDS (dimethyldisulfide), DES (diethylsulfide) en THT (tetrahydrothiofeen) zijn toegevoegd. In eerste instantie bleek in een van de voormengsels een onverwachte chemische reactie te hebben plaatsgevonden tussen ethylmercaptaan en DMDS. Helaas waren hieruit al verdunningen gemaakt en moest een groot deel van het werk opnieuw worden gedaan. Bij de nieuw gemaakte set mengsels bleek zich opnieuw in een specifiek cilinder type (D95 serie) deze reactie te hebben voorgedaan, waardoor uiteindelijk gekozen is om naast de al gemaakte mengsels (die gemaakt zijn in de zgn. 560-serie cilinders, deze lijken wel stabiel) een nieuwe set mengsels te maken, ditmaal zonder DMDS. Voor toekomstig werk wordt in de werkinstructies opgenomen dat standaarden met DMDS (en andere disulfiden) geen mercaptanen mogen bevatten (en vice versa).

De zuiverheidsanalyses zijn uitgevoerd halverwege 2021, de mengsels zijn met terugwerkende kracht herberekend. De set mengsels die parallel aan dit project is uitgestuurd voor een comparison in het EMPIR SIP Biogas-project, zijn vooraf geverifieerd en ook bij terugkomst. Deze lagen binnen een onzekerheid van 3-5%. In september 2021 is daarnaast een nieuwe 5 ppm standaard gemaakt (zonder DMDS), die bij verificatie tegen de in 2020 gemaakte 1-10 ppm mengsel, ruim binnen de 3% onzekerheid lag. Dit is een goed teken voor het stabiliteitsonderzoek, dat in 2022 wordt vervolgd onder SBO-Beheer.

Het werk aan H₂S in H₂ wachtte op de validatie van een nieuwe ontwikkeling in het bereidingsproces (de loop-injectie methode) en op geschikte cilinders. Deze mengsels zijn, na wat tegenslagen en drukbezette apparatuur, uiteindelijk eind 2021 gemaakt. De stabiliteitsmonitoring zal in 2022 worden uitgevoerd.

Optische netwerkverbindingen voor TF-disseminatie

Dit is een kortlopend project dat in de tweede helft van 2020 is toegevoegd. Het doel van dit project is om voor de dienstverlening van TF-signalen via glasvezel een uniforme infrastructuur op te zetten, zodat apparatuur op afstand gemonitord en gemanaged kan worden en dat meetdata vrijwel real-time met de klant uitgewisseld kunnen worden. E.e.a. moet zodanig worden ingericht dat informatie veilig kan worden uitgewisseld en ook zodanig dat aangesloten klanten geen toegang hebben tot elkaars data en apparatuur.

In 2020 is in overleg met OGD (ICT provider van VSL) en aansluitende partijen SURF en OPNT, een architectuur ontworpen, die voldoet aan de gestelde eisen. De benodigde apparatuur (firewall/router) is aangeschaft, geïnstalleerd en geconfigureerd. In 2021 is de software ontwikkeld, die van elke verbinding de afwijking bepaalt en deze automatisch rapporteert aan de klant. De gemeten afwijkingen worden bovendien geanalyseerd op onderbrekingen, stappen en verloop. Via een statusmelding wordt de klant dan geïnformeerd over eventuele problemen.

Als eerste toepassing is in samenwerking met SURF is een verbinding naar de TU Delft gerealiseerd ter ondersteuning van het NWO-project "SuperGPS". De synchronisatie met VSL was cruciaal voor dit demonstratie-experiment en de resultaten hiervan zijn ingediend voor publicatie in een peer-reviewed wetenschappelijk tijdschrift.

Emissies van gevaarlijke stoffen uit bouwmaterialen in binnenlucht

Producten zoals bouwmaterialen en meubilair stoten VOS (Vluchtige Organische Stoffen) uit die alom- tegenwoordig zijn in binnenlucht. Deze stoffen veroorzaken irritatie aan de zintuigen en gezondheidsklachten. Europeanen spenderen 80 % of meer van hun tijd binnen, dus is het essentieel dat binnenlucht gezond is. Dit kan worden bereikt door het controleren van emissiebronnen en door het elimineren of beperken van de emissie van VOS in lucht. Er is een verplichte testprocedure voor het bepalen van emissies van gevaarlijke stoffen uit bouwmaterialen in binnenlucht. Echter, voor het verkrijgen van betrouwbare en vergelijkbare meetresultaten zijn geen goed gedefinieerde emissiereferentiematerialen (ERM) en traceerbare gasvormige gecertificeerde referentiematerialen (CRM) beschikbaar.

Dit project is van start gegaan op 1 juni 2021. Een lijst met VOS voor het maken van PRMs en CGMs is vastgelegd en de eerste voorbereidingen zijn getroffen om te starten met het ontwikkelen van de PRMs en CGMs met vluchtige organische verbindingen, die relevant zijn voor het bepalen van emissies van gevaarlijke stoffen uit bouwmaterialen in binnenlucht.

Metrologie voor het koolstofvrij maken van het aardgasnetwerk

Een van de doelen van dit project is het ontwikkelen van een metrologische infrastructuur voor debiet-metingen van waterstof en met waterstof verrijkt aardgas, zodanig dat deze metingen voldoen aan de vereisten van het EU Measuring Instruments Directive (MID). In verband met de manier waarop een deel van de beschikbare waterstof wordt gegenereerd (omvormen van methaan, waarbij CO₂ vrijkomt), is ook de bemetering van CO₂ van belang. Hierbij moet worden voldaan aan de eisen van het EU Emissions Trading System. Dit project zal voortbouwen op de kennis uit EMPIR-project "Debietmetingen voor 'groene' gassen en gasmengsels in het gasnet" (zie ook HS 16) dat loopt van 2019-2022. Het project is gestart op 1 juni 2021.

In het werkpakket over debietmeting is bijgedragen aan de ontwikkeling en distributie van een enquête, waaruit o.a. meer inzicht zal worden verkregen in de procescondities van CO₂-afvang en -opslag. Er is ook bijgedragen aan literatuuronderzoek over waterstof en met waterstof verrijkt aardgas. Tevens is een literatuuronderzoek uitgevoerd om te achterhalen welke

flowmetertechnologie er beschikbaar is voor het meten van CO₂. Hierover is een draft rapport geschreven. Diverse fabrikanten zijn benaderd met als doel meters beschikbaar te krijgen voor de diverse tests en vergelijkingen in het project. Hierop is veelal positief gereageerd en een aantal opvolgende gesprekken heeft al plaatsgevonden. Een flowcontroller t.b.v. een aanpassing van de biomethaan-flowstandaard is besteld.

Voor het meten van onzuiverheden in CO₂ en waterstof is gestart met een literatuurstudie t.b.v. de meetmethode voor CO₂. Daarnaast zijn de voorbereidingen getroffen om mengsels in waterstof te maken.

Metrologie voor DC-netten

In het EMPIR project "Standardisation of measurements for DC electricity grids", dat per 1 juni 2021 is gestart en waarvan VSL coördinator is, worden onsite metingen gedaan in DC-laagspanningsnetten, die momenteel in opkomst zijn. Het doel is om DC power quality (PQ-) parameters en testsignalen voor elektriciteitsmeters te definiëren en de bijbehorende referentie-opstellingen te realiseren. VSL gaat zowel onsite metingen uitvoeren als aan de referentie-opstellingen werken.

In 2021 zijn de contractaanpassingen met Euramet en de partners afgestemd en is een kick-off meeting georganiseerd. Een ontwerp van een onsite waveform recorder voor DC-netten is besproken met Alliander en TU/e. Daarnaast is een paper geschreven over de eerste metingen met de MeterEMI-opstelling (voor het MeterEMI-project zie HS 7), nadat deze aangepast is voor DC-metingen met een beperkt spanning-, stroom- en frequentiebereik.

De link naar de voorlopige website is: <https://www.euramet.org/research-innovation/search-research-projects/details/project/standardisation-of-measurements-for-dc-electricity-grids>.

HF-metrologie voor toekomstige communicatiebehoeften

In het EMPIR-project FutureCom, dat op 1 september 2021 is gestart, wordt gewerkt aan HF-metrologie voor toekomstige communicatiebehoeften. Europese fabrikanten van telecommunicatie-apparatuur, telecom-operators en regelgevers worden geconfronteerd met steeds hogere eisen van klanten op het gebied van datasnelheden en energieverbruik. Hogere datasnelheden vertalen zich in hogere frequenties voor versterkers, geïntegreerde schakelingen en printplaten. Met niet-lineaire componenten kan een lager energieverbruik worden bereikt.

Een belangrijk initiatief in dit project is de ontwikkeling van meetmogelijkheden, waarmee apparaten en systemen elektrisch kunnen worden getest onder realistische (d.w.z. eindgebruikers) bedrijfsomstandigheden, inclusief geschikte omgevingsomstandigheden. De inbreng van VSL concentreert zich op het realiseren van herleidbare kalibratietechnieken geschikt voor actieve niet-lineaire componenten. Hierbij wordt een conventioneel VNA-meetsysteem uitgebreid naar een zogenaamd load-pull systeem, zodat actieve componenten onder realistische omstandigheden gekalibreerd kunnen worden.

De eerste EM-veld simulaties voor het bepalen van referentiewaarden van on-wafer kalibratie-standaarden zijn inmiddels uitgevoerd. Hierbij zijn zowel enkellaagse als meerlaagse referentiewafers gebruikt. Deze geven inzicht in de kalibratienauwkeurigheid, die haalbaar is op complexe meerlaagse referentiewafers. Daarnaast zijn ook eerste metingen om stabiliteit van vectormodulatoren te bepalen uitgevoerd. Hierbij is uitgebreide meetsoftware ontwikkeld voor het synchroon aansturen van een de diverse HF-apparaten.

De link naar de voorlopige project website is <https://www.euramet.org/research-innovation/search-research-projects/details/project/ef-measurements-for-future-communications-applications>.

HF-metrologie voor supergeleidende quantumcircuits

De vooruitgang van quantumtechnologieën en quantumcomputers impliceert een aanzienlijke toename van hoogfrequente componenten en kabels, die worden gebruikt bij cryogene temperaturen tot tientallen millikelvin. Het opschalen van quantumcomputers stelt hoge eisen aan warmtebelasting, ruimte en signaalintegriteit onder deze extreme omstandigheden. Toch bestaat er vandaag de dag geen gevestigde technologie, die nauwkeurige golfvormgeneratie en signaalmetrologie ter plaatse, onder cryogene temperaturen, kan uitvoeren. In dit project worden nieuwe microgolfmetrologie-instrumenten voor cryogene werking voorgesteld, sommige zelfs tot millikelvintemperaturen. Op dit gebied zal nauw worden samengewerkt met de TU Delft.

VSL concentreert zich op het realiseren van S-parameterkalibratie in een cryogene omgeving en het onderzoeken van de effecten van kabels, wanneer deze aan grote temperatuurverschillen blootgesteld worden. Het project zou in de tweede helft van 2021 van start gaan. Door krappe personele capaciteit is de effectieve projectstart verschoven naar 2022.

De grenzen van optische nanodimensionele metrologie verleggen

Innovatieve batterijen en sensoren, geheugens met hoge capaciteit, nieuw textiel, geavanceerde vrijetijds- en gezondheidsproducten vertrouwen allemaal op ons vermogen om materie op nanoschaal te vormen. In dit verband spelen optische meetmethoden een belangrijke rol, aangezien de ontwikkeling van vier van de zes sleuteltechnologieën, t.w. nanotechnologie, micro-nano-elektronica, fotonica en geavanceerde materialen, die door de EU zijn geïdentificeerd, sterk worden ondersteund door op optica gebaseerde meetmethoden.

Het belang is groot om een dominante wetenschappelijke en technologische positie in deze sectoren in te nemen, aangezien ze vorm zullen geven aan onze toekomstige samenleving. Voor het eerst in de moderne wetenschapsgeschiedenis wordt er echter een 'metrologiekloof' bereikt, omdat de huidige metrologiemethoden, die strategisch instrumenteel zijn voor deze KET (Key Enabling Technologies), niet in staat zijn de beoogde technologische vooruitgang te ondersteunen. Dit project spoort NMI's in de EU aan om deze uitdaging aan te gaan en voorop te lopen met het ontwikkelen van nieuwe methoden om genoemde kloof te overbruggen.

Het project is op 1 september 2021 gestart met een live kick-off meeting in Duitsland, die voor dit project door PTB was georganiseerd. Er is een ontwerp gemaakt voor polarisatiecontrole van het lichtveld in hyperspectrale scatterometry. Daarnaast is er gestart met een literatuurstudie naar inferentiemethoden voor scatterometrie.

Herleidbare dimensionele metingen voor de industrie gebruikmakend van optische microscopie

Optische meetsystemen zijn wijdverbreid in gebruik in de dimensionele metrologie. Optische metingen zijn snel, met een relatief hoge resolutie, contactloos en dus niet invasief. Optische metingen zijn echter veelal nog niet herleidbaar door de complexe relatie tussen meetobject en meetsysteem. Dit project is onderdeel van een groter EMPIR-project dat de herleidbaarheid van de optische metingen verder zal onderzoeken en wil onderbouwen door een uitgebreide karakterisatie van het meetsysteem en validatie van de software en meetprocedures. VSL in het bijzonder zal de zelfgebouwde hyperspectrale scatterometer verder karakteriseren en gereedmaken voor herleidbare dimensionele metingen aan geselecteerde structuren van enkele micrometers tot tientallen millimeters.

Het project is op 1 juni 2021 gestart d.m.v. een virtuele kick-off meeting. Er is een begin gemaakt met het karakteriseren van de afhankelijkheden van hardware, software en meetprocedure van de zelfgebouwde hyperspectrale scatterometer voor dimensionele metingen.

Metrologie voor watersporen in ultrapure gassen

Binnen diverse takken van de industrie, zoals gas- en halfgeleiderindustrie, 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. Ook binnen VSL wordt de rol van vocht steeds belangrijker vanwege de toenemende vraag naar gasmengsels voor reactieve componenten (o.a. NO_2 en HCl), waarvan de stabiliteit negatief beïnvloed wordt door de aanwezigheid van vocht. Een nauwkeurige en snelle meting van vocht tijdens het maakproces en in de geproduceerde gasmengsels is van groot belang om het maakproces te kunnen optimaliseren. Herleidbaarheid voor vocht voor zeer lage fracties voor diverse matrixgassen ontbreekt echter nog grotendeels en zal binnen dit project worden ontwikkeld. Het project is gestart op 1 juni 2021.

In het kader van thermometrie worden de zogenaamde "enhancement factors" van waterdamp in de matrixgassen N_2 en Ar bij verschillende drukken bepaald. Momenteel wordt de dauwpuntsgenerator van VSL voorbereid om de enhancementfactoren van de hiervoor benoemde matrixgassen te meten. Het systeem is getest bij 6 KPa (absolute druk) met CO_2 -vrije perslucht als matrixgas bij een thermostaatbadtemperatuur van $-30\text{ }^\circ\text{C}$. Het gerealiseerde dauwpunt wordt bepaald door een "chilled mirror hygrometer" (CMH) bij atmosferische druk (geëxpandeerd) of onder dezelfde druk als de dauwpuntsgenerator. De resultaten zullen worden vergeleken met literatuurwaardes om de experimentele methode te valideren en de nauwkeurigheid van de generator te kunnen bepalen.

Voor de magnetische suspensiebalans is een ontwerp gemaakt voor een metalen kamer met minder aansluitingen dan de bestaande glazen kamer, waardoor de kans op inlek van vocht wordt verminderd. De kamer is inmiddels gebouwd en de eerste testen zijn verricht. Ook is er een nieuw filter besteld, die volgens de specificatie vocht uit de inkomende gasstroom verwijdert tot op minder dan 1 ppb.

De link naar de project website is <https://www.prometh2o.eu/>

Metrologie voor 'Temporal Light Modulation'

Doel voor VSL is om met dit project een internationaal leidende rol te verwerven op gebied van metrologie voor 'Temporal Light Modulation' (TLM). VSL is hiervoor goed gepositioneerd als een van de weinige NMIs, die op dit moment flicker-meters kalibreert en is actief betrokken bij de CIE. Naast het doorontwikkelen van diensten voor TLM, kan VSL als coördinator een sturende bijdrage leveren aan het opstellen van guidelines/recommendations voor de CIE en ander stakeholders.

Dit project is op 1 mei 2021 gestart en een virtuele kick-off meeting is inmiddels gehouden. Eind 2021 zijn er grote stappen gemaakt in het ontwerp van de meetopstelling. Investerings zijn gedaan om de benodigde hardware aan te schaffen. Ook zijn er in het project significante stappen gezet om de aansturingsoftware gereed te krijgen in 2022. De link naar de projectwebsite is: <https://www.mettlm.eu/>.

Herleidbare optische constanten en nanolaagjes

De volgende generatie materialen en ultradunne laagjes met op maat gemaakte optische eigenschappen voor chips zijn afhankelijk van innovaties in de nanotechnologie. Kennis van deze eigenschappen is essentieel voor innovaties, die afhankelijk zijn van materiaalparameters, die op hun beurt weer afhankelijk zijn van de grootte van het materiaal, waarbij quantumeffecten een steeds grotere rol spelen. Voor optische meetmethodes in het golflengtebereik van zachte röntgenstraling tot infrarood, die de theoretische limieten benaderen, is betere herleidbaarheid nodig en ook goede onzekerheidsberekeningen, zodat ze het gereedschap kunnen leveren, dat nodig is om nieuwe optische materialen te kunnen karakteriseren.

Dit project draagt bij tot het aanpakken van deze belangrijke uitdaging door de ontwikkeling van geavanceerde en herleidbare optische meettechnieken, die geschikt zijn om de industrie in de hightechsector te ondersteunen. Hierbij zullen ook de gebruikte wiskundige modellen verbeterd worden. Een database met optische materiaaleigenschappen zal gecreëerd worden. Het project is

gestart op 1 juli 2021 en er is vooral gewerkt aan de herleidbaarheidsvraagstukken en bijhorende karakterisering, vergezeld gaand met wiskundige modellen.

Metrologie voor hoge-druk gas en vloeibare waterstofflows

CO₂-neutrale oplossingen voor transport en energie vormen een kernelement van de Europese Green Deal, waarvoor investeringen in milieuvriendelijke groene of blauwe waterstof benodigd zijn. De noodzaak van een metrologische infrastructuur voor fiscale bemetering van waterstofoverslag wordt dwingender, omdat de verhandeling toeneemt. In dit project wordt de toepasbaarheid van verschillende flowmetertypes voor de SI-herleidbare bemetering van waterstof onderzocht, voor zowel de gasfase als de vloeibare fase. De nadruk ligt daarbij op het onderzoeken van de toepasbaarheid van sonic nozzles voor het bewerkstelligen van herleidbare flowmeting. VSL richt zich inhoudelijk op de vloeibare waterstofactiviteiten en coördineert de activiteiten in het bijbehorende werkpakket van de EMPIR-project (WP4).

In 2021 zijn de meters geleverd, die geschikt zijn om vloeibare waterstofstroming (met temperaturen die tot -253 °C gaan) te bemeteren. VSL heeft daarnaast bijgedragen aan de kick-off meeting en de eerste meeting met stakeholders van het project. Als laatste is de literatuurstudie naar materiaaleigenschappen en onzekerheidsbronnen op zeer lage temperaturen en het effect ervan op flowmeters, grotendeels afgerond. De link naar de projectwebsite is: <https://www.methyinfra.ptb.de/the-project/>.

Verbetering bestaande chemiefaciliteiten

Om instrumentele problemen op het Chemielab voor te blijven, is gekeken welke analyzer(s) er in 2021 vervangen moesten worden. Uiteindelijk is de keuze gemaakt om de Limas 11 analyzer te vervangen (als investering op SBO-Beheer Chemie), die wordt gebruikt voor H₂S-metingen in het 10-1000 ppm bereik. De analyzer is uiteindelijk in oktober 2021 geleverd. De validatie zal, mede door de late levering, begin 2022 plaatsvinden.

Daarnaast is er in 2021 gewerkt aan het realiseren van een spoelstation voor reduceerventielen. Deze reduceerventielen worden op dit moment niet gespoeld als deze van een gascilinder afkomen. Dit kan er in het meest ongunstige geval voor zorgen dat er gasresten in het reduceer achterblijven, die invloed hebben op metingen daarna. Met de realisatie van het spoelstation wordt deze invloed hopelijk verminderd. Het spoelstation is eind oktober 2021 geleverd en in gebruik genomen. Testmetingen zijn gedaan, maar deze moeten nog uitgewerkt worden in een kort verslag.

Voor de meetonzekerheid in de diffusie is een analyse gemaakt van de diffusiesnelheid van de gebruikte cellen over de jaren heen en is er gekeken naar effecten van het opnieuw vullen van de diffusiebuis (geeft een hogere vulling een andere diffusiesnelheid?). Uit de analyse komt naar voren dat deze snelheden (voor ethanol, methanol en aceton) door de jaren heen zeer constant zijn, met af en toe rare uitschieters, die waarschijnlijk eerder te verklaren zijn uit slechte metingen dan door daadwerkelijke verschillen in de cel.

De 10-metercel van de FTIR is succesvol in gebruik genomen voor zuiverheidsanalyses en diverse onderzoeksprojecten, zoals het EMPIR MetroPEMS-project (zie HS 24), waarin NO en NO₂ worden gemeten in de aanwezigheid van hoge concentraties CO en CO₂. Een gebruikershandleiding is geschreven en zal spoedig aan het kwaliteitssysteem M-files worden toegevoegd.

Metrologie voor AMC monitoring II

Binnen dit project zijn HCl-gasstandaarden ontwikkeld op een niveau van 1 $\mu\text{mol/mol}$ en 10 $\mu\text{mol/mol}$ in cilinders met 2 verschillende behandelingen. Een van de behandelingen gaf een uitstekende stabiliteit voor een periode van minstens 18 maanden op het niveau van 10 $\mu\text{mol/mol}$. Verder is er een vulstation voor reactieve gassen ontworpen en gebouwd. De validatie van het vulstation is nog doorgelopen na afloop van het project, maar inmiddels afgerond. Verder is er een succesvolle online workshop georganiseerd op het gebied van reactieve gassen met ruim 100 deelnemers.

Het project is afgerond en heeft nieuwe capaciteiten ontwikkeld voor waterstofchloride in cleanroomomgevingen via de levering van primaire referentiegasmengsels.

De link naar de project website is <http://empir.npl.co.uk/metamcii/>.

Voorbeelden van evaluatie van meetonzekerheid

In het in dit jaar afgeronde EMPIR-project "Examples of measurement uncertainty evaluation" zijn in totaal 41 voorbeelden ontwikkeld, die het gebruik illustreren van bestaande richtlijnen, waaronder de Guide tot the expression of Uncertainty in Measurement (GUM) en EA 4/02 (Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration). Er is een compendium afgeleverd met de voorbeelden en 4 tutorials (Monte Carlo methode, Bayesiaanse evaluatie, omgang met covarianties en rapportage van meetresultaten). Daarnaast zijn de voorbeelden gebundeld uitgebracht (kalibratie en testen, conformiteitsbeoordeling, milieu, kwaliteit van leven, energie en industrie). De eindresultaten zijn op het metrologiecongres CIM 2021 in Lyon gepresenteerd.

European Metrology Network Energy Gases

Dit project heeft als doel het opzetten van een European Metrology Network (EMN) voor Energy Gases en ligt rond de midterm periode. De rapportage voor EURAMET MSU werd in juni afgerond en in augustus goedgekeurd. De brainstorm die eind 2020 is georganiseerd over R&D-projectideeën en -behoeften, heeft de formulering van projectvoorstellen en de vorming van sterke consortia vergemakkelijkt, zodat in 2021 twee projecten zijn geselecteerd in het kader van het nieuwe Europese Partnership on Metrology.

Het EMN is door de voorzitter (geleverd door VSL) geïntroduceerd in ENTSG, de Europese Vereniging van Gasnetbeheerders. Het EMN maakt nu deel uit van de Prime Mover Group, die helpt bij het bepalen van de behoeften van het gasnet met het oog op de komende wetgeving m.b.t. de kwaliteit van energiegassen, waaronder het gebruik van hernieuwbare gassen in het gasnet. Het EMN is ook geïntroduceerd in Hydrogen Europe, de industriële en onderzoeksvereniging, die zich bezighoudt met schone waterstof en in IRENA (International Organisation for Renewable Energy Agency). VSL heeft tevens deelgenomen aan verschillende brainstormsessies georganiseerd door CEN/CENELEC SFEM WG Hydrogen om de noodzaak van standaardisatie op het gebied van waterstof als energiegas te bespreken.

Vertragingen bij activiteiten in andere WPs bij andere projectpartners en beperkte middelen bij VSL hebben geleid tot vertraging bij het vaststellen van prioriteiten voor de toekomstige metrologische diensten. Het plan is om deze vertraging in 2022 in te lopen.

M.b.t. de PR-activiteiten heeft VSL bijgedragen aan de voorbereiding van de toespraak tijdens de virtuele seminars, die zijn georganiseerd door IPQ (Portugese NMI) en EURAMET ter gelegenheid van het Portugese EU-voorzitterschap. VSL heeft ook de Powerpoint slides verzorgd en een presentatie gegeven over de EMN-voortgang op de bijeenkomsten van EURAMET TC – Metrology in Chemistry, Flow and Temperature. Tot slot heeft VSL het EMN en de impact van metrologie op energiegassen gepresenteerd op onder andere CIM 2022 (de International Conference of Metrology) met een key-note lezing. NEL (UK) heeft een storyboard ontwikkeld voor de EMN-video en VSL heeft daar commentaar op gegeven. Deze video wordt in 2022 gemaakt.

De website van het EMN is nu online (<https://www.euramet.org/european-metrology-networks/energy-gases/>) en het meetserviceplatform bevindt zich in de testfase.

Hyscaling

Het HyScaling project is van start gegaan in september 2021. Het betreft een nationaal project (RvO MOOI subsidie) gericht op het ontwikkelen van waterstoftechnologie en met name de ontwikkeling van betere electrolysers om efficiënt en goedkoop groene waterstof te kunnen produceren.

De eerste van twee brainstormsessies met als doel een overzicht te krijgen van de huidige en toekomstige meetvereisten voor waterstofproductie en utilisatie werd niet eind 2021 gehouden, maar pas op 18 januari 2022. De tweede brainstormsessie staat gepland voor februari 2022. Deze sessies worden georganiseerd door projectpartners TNO, ISPT en VSL. In 2021 zijn al wel de benodigde voorbereidende overleggen met projectpartners gehouden en is een presentatie voor de brainstormsessies gemaakt.

Ook neemt VSL deel aan het projectboard van het Hyscaling project. Dit projectboard geeft sturing aan het project en heeft met name naar de selectie van 'Use Cases' gekeken.

Verbetering bestaande faciliteiten DCLF

Door langdurige ziekte van de betrokken medewerker is het geschikt maken van de LCR-meter voor inductiemetingen niet afgerond. Daar nog niet bekend is hoe snel het herstel zal verlopen, is deze activiteit tijdelijk on hold gezet. Een student heeft gewerkt aan een elektronische zero-burden voor de CT-opstelling. Dat werk zal in 2022 worden afgerond en uitgebreid met een haalbaarheidsonderzoek naar regelbare burdens.

Er is uitgebreid onderzoek verricht naar het realiseren van grote stromen tot 2000 A ten behoeve van on-site CT- en verliesmetingen. Een probleem bij dit soort grote stromen is het schijnbaar vermogen (VA) wat nodig is om de primaire stroomlus aan te sturen. De inductie van deze lus, en daarmee de benodigde VA in de aansturing van de lus, kan door goed positioneren van de stroomkabels maar beperkt geminimaliseerd worden. De oplossing is het compenseren van de inductie met behulp van capaciteiten. Met name in verliesmetingen leidde dit echter tot extra ruis, omdat de resonante lus slechter te controleren bleek door het terugkoppelsysteem van de verliesmeetopstelling.

In dit project zijn twee oplossingen gevonden voor dit probleem. Allereerst is er een verbeterd algoritme ontwikkeld voor het verwijderen van DC-offsets uit het meetsignaal. Hierdoor is de ruis van het terugkoppelsysteem significant gereduceerd (van enkele honderden ppm, tot enkele tientallen ppm). Een tweede gerealiseerde verbetering is het compenseren van de inductie van de primaire stroomlus direct in het primaire circuit zelf, in plaats van in de aansturing van dit circuit. Hierdoor is een verdere verbetering van de ruis gerealiseerd tot 10 – 20 ppm niveau, waarmee nu ook stromen tot 2000 A met zinvolle ruis gerealiseerd kunnen worden in on-site CT- en verliesmetingen.

Eind 2021 is een tweetal stroomtransformatoren geleverd, die het boven beschreven probleem moeten oplossen. De eerste resultaten laten zien dat deze trafo's een stuk efficiënter zijn en dat ook compensatie in het primaire circuit met deze transformatoren werkt. Ook zorgt de constructie van de trafo's ervoor dat er minder kabels nodig zijn, dit komt de maximale stroom ten goede. Momenteel kan 2300 Ampère worden genereerd. Er moeten nog tests gedaan worden met de verliesmeetopstelling om te zien of het regelsysteem ook bij hoge stromen nauwkeurig is

Verbetering bestaande faciliteiten HF

Een HF-verzwakkingsmeetsysteem is ontwikkeld en momenteel volledig operationeel. Het meet-systeem is gevalideerd met behulp van een herleidbaar verzwakkingsstandaard en de meetresultaten zijn uitgewerkt, inclusief de meetonzekerheden, berekend op basis van een uitgebreide onzekerheidsanalyse.

De power-sensorkalibratie, die momenteel in een Excel-omgeving wordt uitgevoerd, is vervangen door nieuwe software ontwikkeld in Matlab. Deze transitie heeft als voordeel dat complexere en nauwkeurigere mismatch correctietechnieken toegepast kunnen worden, die in Excel niet mogelijk waren. Daarnaast is de nieuwe software ook minder gevoelig voor gebruikersfouten.

Pulse-driven Josephson

Eind 2020 is het huidige Josephson array kapotgegaan. Dit is naar NIST in de USA gestuurd voor onderzoek naar de oorzaak daarvan. De conclusie was dat het niet meer te repareren viel. Wel heeft NIST VSL voorzien van een minder goed, gebruikt array om te kijken of VSL daar mee verder kon. Helaas blijkt dit array niet goed te matchen met de VSL-opstelling. Daardoor is besloten om een nieuw array aan te schaffen, waarvan de levering in 2022 is voorzien.

Ondersteuning voor een EMN op het gebied van Slimme Elektriciteitsnetwerken

Het EMN Smart Electricity Grids heeft haar jaarlijkse general meeting virtueel gehouden. Belangrijke vorderingen zijn gerealiseerd op het gebied van de Strategic Research Agenda (SRA). Hiervan is eerst met een team een eerste opzet geschreven en vervolgens is via een online vragenlijst terugkoppeling gevraagd van belanghebbenden. Dit heeft geresulteerd in een groot aantal antwoorden van high-level stakeholders, waarvan 8 uit Nederland. Met één stakeholder is een apart interview gehouden en is de SRA uitgebreid doorgesproken. In het najaar is een zeer succesvolle serie van drie stakeholder workshops gehouden, waarin de verschillende elementen van de SRA zijn besproken. Dit heeft tot een aantal zinvolle aanvullingen op de SRA geleid, die begin 2022 zullen worden verwerkt tot een definitieve versie.

Verder is een belangrijke bijdrage geleverd aan een rapport met daarin een overzicht van diensten, faciliteiten en toekomstplannen van de EMN-leden. Ook is er materiaal verzameld ten behoeve van de EMN-website. Deze website is helaas door oorzaken buiten de directe invloedssfeer van VSL om nog steeds niet actief.

Ondersteuning voor een EMN op het gebied van Schone Energie

In mei is een nieuw EMPIR-project gestart ter voorbereiding op een nieuw op te richten European Metrology Network (EMN) op het gebied van Schone Energie. In het bijbehorende Joint Network Project (JNP) leidt VSL het werkpakket, dat het voorstel voor dit EMN voorbereidt. De focus heeft in het eerste halfjaar gelegen op het vaststellen van de scope. Hiervoor is een uitvoerige inventarisatie gedaan van vormen van schone energie en welke metrologische technieken relevant zijn voor de verschillende processtappen voor elke energiesoort. Ook is gewerkt aan een inventarisatie van lopende initiatieven en projecten en aan een strategie om daarmee interactie te hebben.

Proof-of-concept voor een kalibratiefaciliteit voor viscosimeters

Het proof-of-concept project voor Viscositeit is in de tweede helft van het jaar opgepakt. Er is onderzocht welke viscometer het best bij dit project past en waar vraag naar is in de maatschappij. Er is een nieuwe viscometer is besteld en er is onderzocht wat de metrologische eigenschappen ervan zijn en of het mogelijk is om dit type viscometer in de toekomst herleidbaar te kalibreren. De meetresultaten geven vertrouwen in het apparaat, maar er is nog een aantal zaken dat onderzocht dient te worden, alvorens conclusies kunnen worden getrokken uit het proof-of-concept. Deze conclusies worden begin van 2022 getrokken ter bevestiging van het vervolgproject.

Herleidbare dynamische drukmetingen

Binnen het EMPIR-project DynPT, waar 4 van de 5 leden van het oorspronkelijke projectteam niet meer werkzaam zijn bij VSL, is er ondersteuning georganiseerd vanuit Flow en Chemie. Met de nieuwe groep zijn zoveel mogelijk van de oorspronkelijke deliverables afgerond en het project is inmiddels afgesloten. Hierbij is overigens de 6 maanden verlenging van het project als gevolg van COVID-19 goed uitgekomen.

In de laatste fase van het project zijn veel metingen verricht om de betrouwbaarheid van de nieuwe herleidbare dynamische drukmeting te onderzoeken onder de invloed van verschillende temperaturen en drukken. De metingen op verschillende drukken zijn succesvol afgerond. De metingen op verschillende temperaturen zijn niet mogelijk gebleken met de huidige opstelling. Een obstakel om de nieuwe dynamische drukstandaard in gebruik te nemen is dat een omrekenfactor niet goed bepaald kan worden door de verschillende metrologische instituten. Deze omrekenfactor is cruciaal om de opstelling herleidbaar te maken naar de statische drukstandaard.

Hybride 4D-fabricagemethode

Het H2020-project “Hybride 4D-fabricagemethoden” (AMPERE) is het vervolgproject van het in 2020 afgeronde “Hybride 3D-fabricagemethoden” (Hyb-Man). De kick-off is in maart 2021 gehouden en in de eerste fase van het project is de metrologiebehoefte geïnventariseerd en zijn de gebruikersspecificaties en de schaalbare proces- (rand)voorwaarden bepaald.

Metrologie voor de Fabriek van de Toekomst

In het EMPIR-project: “Metrologie voor de Fabriek van de toekomst” zijn vier sensoren geassembleerd, getest en goed bevonden. Er wordt nu opgeschaald naar vijftig sensoren. De data van het derde testbed in het consortium zijn geanalyseerd en de resultaten zijn eind mei gepresenteerd tijdens de MSMM-2021 workshop (Mathematical and Statistical Methods for Metrology). Er zijn artikelen gepubliceerd en dit project is succesvol afgerond in september 2021.

Optische zeer nauwkeurig meten door aangepaste licht-materiaal interacties

Het door VSL gecoördineerde EMPIR-project “Optisch zeer nauwkeurig meten door aangepaste licht-materiaal interacties” (BeCOMe) is verlengd tot 1 oktober 2021. Als coördinator heeft VSL ervoor gezorgd dat alle projectpartners hebben bijgedragen aan de deliverables. Het ontwerp van een nieuw systeem, gebaseerd op twee SLMs (Spatial Light Modulators) in cascade, om onafhankelijk de amplitude en fase van een golfveld te ontwerpen, is verbeterd met een bemonsteringstafel om voorlopige, experimentele resultaten te verkrijgen. Later in 2021 is dit project afgerond en zijn alle ingediende rapportages geaccepteerd door MSU.

Herleidbare metingen van nanodeeltjes

Het EMPIR-project nPSize “Herleidbare metingen van nanodeeltjes” is verlengd tot 31 oktober 2021. In de eerste helft van 2021 is nauwelijks aan dit project gewerkt ten gevolge van personeelsverloop. De openstaande deliverables zijn echter in de laatste maanden opgeleverd, waaronder AFM-metingen aan samples, het afronden van de kwaliteitsdocumentatie en het verfijnen van analysemodellen ter compensatie van de probe-sample interactie. Het project heeft een meetfaciliteit en standaard opgeleverd voor de herleidbare meting aan nanodeeltjes en is daarmee succesvol afgerond.

Validatie nieuwe CMM

Voor installatie en validatie van de nieuwe 3D coördinaten meetmachine (3D CMM) is een grote inspanning verricht om de kalibratiediensten, die met deze machine worden gerealiseerd te kunnen continueren onder RvA-accreditatie. Het validatierapport is afgerond en is ter beoordeling voorgelegd aan een RvA-vakdeskundige. Daaruit is voortgekomen dat er extra metingen nodig zijn om de uitbreiding van de scope verder af te wikkelen. De huidige scope en werkzaamheden zijn al wel in overeenstemming met de accreditatie.

Verbetering schaaluitbreiding ACR in het infrarood

Dit project is doorgeschoven naar 2022 (zie ook de '15-oktoberbrief').

Lasergebaseerde kalibratie van arrayspectoradiometers

Met het ontwikkelproject "Lasergebaseerde kalibratie van arrayspectoradiometers" is een start gemaakt door het schrijven van data-analysescripts en een werkinstructie. Het project is, op de vergelijking na, gerealiseerd binnen de gestelde uren. Naar verwachting zullen er nog wat uren benodigd zijn in 2022 onder SBO-Beheer voor de vergelijking, waarna dit project als opgeleverd en afgerond beschouwd kan worden.

SI-herleidbaarheid van aardobservatie-instrumentatie en ground-support equipment

Het project "SI-herleidbaarheid van aardobservatie-instrumentatie en ground-support equipment" is nog niet gestart, vanwege beperkingen in de bezetting. Dit project kan opgepakt worden als het nieuw aangetrokken personeel getraind is, naar verwachting rond de zomer van 2022.

Radiometrie voor fotobiologische veiligheid

Aan het project "Radiometrie voor fotobiologische veiligheid" is door een nieuwe medewerkster gewerkt. Alle benodigde onderdelen zijn besteld en geleverd. Het ontwerp van de opstelling is gemaakt. De benodigde onderdelen zijn aangeschaft, maar de opbouw van de opstelling heeft nog niet plaatsgevonden. Door een grote wisseling in het personeelsbestand zijn de prioriteiten naar de al lopende projecten gegaan, waardoor er geen verdere progressie is geweest op dit project en het resterende werk is opgenomen in het Researchwerkplan van 2022.

Bedrijfszekerheid TF-disseminatie via glasvezel

Om te voldoen aan de groeiende behoefte aan nauwkeurige en betrouwbare tijdsdisseminatie is VSL in het kader bezig met het werken aan de bedrijfszekerheid van de tijdsfaciliteiten. In de eerste helft van dit jaar is gestart met het testen van automatische datacontrole en alarmering via sms en e-mail. Dagelijkse controles van de belangrijkste opstellingen voor de realisatie van UTC(VSL) zijn geïmplementeerd. Hieruit worden automatisch rapportages gegenereerd en, indien nodig, alarmmeldingen verstuurd.

Verbetering bestaande faciliteiten TF

Bij de verbetering van de TWSTFT-faciliteit is de beschikbare tijd vooral besteed aan het oplossen van problemen met een low-noise amplifier en het onderzoeken van problemen met de polarisatie van het uitgezonden signaal. Dit project zal in 2022 worden voortgezet.

Nauwkeurige tijddisseminatie voor de industrie

Binnen het EMPIR-project "Nauwkeurige tijddisseminatie voor de industrie" is gewerkt aan een oplossing voor situaties waarin de WR-verbinding (White Rabbit) of het signaal tijdelijk wordt onderbroken. Ook in dergelijke gevallen wil de klant nog steeds een nauwkeurig tijdsignaal. In 2020 is vooral gekeken naar oplossingen via redundante verbindingen. Als een verbinding uitvalt, neemt een andere het automatisch over.

In 2021 is gekeken naar een zogenaamde hold-over klok. VSL heeft laten zien dat met een rubidiumoscillator het tijdsignaal minder dan 2 ns afwijkt bij een onderbreking van 2 minuten, minder dan 40 ns afwijkt bij een onderbreking van 1 uur en minder dan 1 μ s afwijkt bij een onderbreking van 24 uur. Dit is een mooi resultaat, dat voor veel toepassingen bruikbaar is. De laatste maanden van dit project, dat in november afliep, zijn besteed aan rapportage van de resultaten in Good Practice Guides en aan een publicatie van behaalde resultaten. Het project is succesvol afgerond.

De link naar de project website is: <http://empir.npl.co.uk/write/>.

Ontwikkeling van de nieuwe waterstofstandaard "HyQs"

De HyQS (de Hydrogen Quantity Standard van VSL) is in februari 2021, na montage van een aantal vervangende onderdelen i.v.m. lekdichtheid, getest bij ongeveer 300 bar, hetgeen succesvol is verlopen. In maart is de HyQS getest op drukvastheid bij 875 bar bij een externe partij. In april is de HyQS voor het eerst getest bij een operationeel waterstoftankstation.

Op basis van de test is het onzekerheidsbudget vastgesteld, zijn procedures aangepast en is een aantal verbeterpunten gevonden voor de praktische bruikbaarheid. De officiële "launch" van de HyQS heeft bij hetzelfde tankstation plaatsgevonden. Er is een aanhangwagen aangeschaft om de HyQS mee te vervoeren, alsook een krik en andere kleine benodigdheden om de HyQS beter en sneller op te kunnen stellen. In augustus 2021 is de HyQS voor het eerst commercieel ingezet. Bij het tweede gebruik ontstond een defect. De reparatie van het defect verliep moeizaam, o.a. door lange levertijden. Uiteindelijk heeft een expert in hoge-druksystemen het defect verholpen en de HyQS aangepast, zodat het euvel niet opnieuw kan optreden. Daarna heeft opnieuw een druktest plaatsgevonden. Documentatie en procedures zijn o.b.v. de aanpassing geüpdatet. De HyQS was in december 2021 weer gebruiksklaar.

Verbetering bestaande faciliteiten Volumetrie

De middellange termijn doelen van de Low-Flow-Installatie (LFI) zijn vastgesteld op basis van gesprekken met verschillende belanghebbenden. De maatschappelijke vraag naar deze kalibraties is nog altijd duidelijk aanwezig. De door de markt gewenste onzekerheid is echter lager dan de huidige onzekerheid, dus wordt gewerkt aan het verlagen van de meetonzekerheid. Er is een daarom technisch verbeterplan voor de LFI opgesteld. Dit omvat:

- Revisie van de herleidbaarheidsketen naar de meter, i.s.m. collega's van afdeling Lengte.
- Verbeteren van bepaalde delen van de kalibratiemethode.
- Revisie van het onzekerheidsbudget.

Voor het zogenaamde Toestel 3 is eveneens een verbeterplan opgesteld. In het onderbereik van Toestel 3 wordt nu gebruik gemaakt van een trommelmeter. Dit geeft echter weinig gebruiksgemak en lange meettijden. Uit contacten met diverse fabrikanten en uit onderzoek naar VSL's reisstandaarden, is gebleken dat een kleine rotormeter een logische keuze lijkt om de trommelmeter te vervangen. Dit is gepland voor 2022.

EMN Mathmet

Binnen het EMN (European Metrology Network) Mathmet heeft VSL het zogenaamde 'EMN-skeletkwaliteitssysteem' toegepast op door VSL ontwikkelde software in het Met4FoF-project (zie HS 51) en op referentiedatasets, die in het verleden in een eerder EMRP-project¹ (TraCIM, dat liep van 2012 tot 2015) zijn gemaakt. Er is feedback gegeven aan NPL en een presentatie is gegeven tijdens de MSMM 2021 workshop (Mathematical and Statistical Methods for Metrology) begin juni. De jaarlijkse EMN/JNP-vergadering is bijgewoond (JNP is het Joint Network Project, dat aan het EMN is gekoppeld), alsook de maandelijkse vergaderingen van de steering committee. Vanuit Nederland is TNO lid geworden van de Stakeholder Advisory Committee van het EMN.

¹ EMRP staat voor het European Metrology Research Programme (3-jarige R&D-projecten in de periode 2010 – 2017), dat later is opgevolgd door EMPIR (European Metrolog Programme for Innovation and Research, 2015 - 2024), dat inmiddels weer is opgevolgd door het European Partnership on Metrology (2022 - 2031).

SBO Basisbeheer en Beheerontwikkeling

Chemie

Het jaar 2021 is voor de Chemiegroep naar wens verlopen. De personele gezondheid en de orderportefeuille voor externe opdrachten zijn ongeschonden door de Covid-periode gekomen. Gemiddeld, over de hele linie, zijn de urenbesteding en de voortgang in de projectdeliverables op schema uitgevoerd. Het vertrek van twee medewerkers tegen het eind van het jaar gaf en geeft de nodige extra werkzaamheden ten aanzien van opleiding en kennisoverdracht, maar zeker ten aanzien van het VOC-lab (Vluchtige Organische Componenten) is hierin al een grote vooruitgang geboekt. In maart 2022 starten twee nieuwe medewerkers om deze vacatures op te vullen.

Op het gebied van het beheer van de meetopstellingen is meer werk uitgevoerd dan vooraf gepland. Er is relatief veel nieuwe apparatuur aangeschaft met uitdagende specificaties. Er is tijd geïnvesteerd om met de leverancier goede afspraken te maken over de haalbaarheid van de specificaties en de wijze waarop deze vooraf worden vastgesteld. Deze investering in tijd wordt naar verwachting ruimschoots gecompenseerd door een vlotte ingebruikname van de nieuwe apparatuur.

In maart 2021 heeft de tweejaarlijkse RvA-audit plaatsgevonden, ditmaal remote via MS-teams. Deze resulteerde in slechts één (minor) non-conformity, op het gebied van een herleidbaarheidsstatement op de certificaten. Het onderzoek naar de oorzaak en omvang is afgerond en de corrigerende maatregel is door de vakdeskundige geaccepteerd. In november 2021 heeft een tweede RvA-audit plaatsgevonden, ditmaal gericht op de eisen van ISO 17034 (referentiematerialen). Drie afwijkingen zijn geconstateerd, betreffende het hebben van een sluitende planning van vergelijkingen voor alle verrichtingen, de certificaten voor PRMs voor stikstofdioxide en het systematisch bijhouden van wijzigingen in externe documenten, zoals normen. Een reactie is naar de RvA gestuurd.

Twee nieuwe diensten zijn opgenomen in de scope van de accreditatie, te weten: siloxanen in methaan en een primaire kwikgasstandaard voor de kalibratie van analysers, certificering van kwikgasgeneratoren en het beladen van sorptiematerialen als transferstandaarden.

Ter onderbouwing van de CMCs voor binaire gasmengsels met koolstofmonoxide, koolstofdioxide, methaan en propaan in stikstof of lucht, is het extrapolatieschema van de GAWG (CCQM Working Group on Gas Analysis) vergeleken met de onzekerheid op basis van eigen gegevens. Het hierop gebaseerde artikel is in mei 2021 verschenen in *Metrologia* (*Metrologia* **58** 045004). De conclusie is dat het GAWG-schema redelijke voorspellingen doet voor CMCs op basis van resultaten in key comparisons als de molfractie boven $10 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ligt en stabiliteits- en adsorptieeffecten geen rol spelen. Het door VSL gehanteerde schema kan in principe met dit soort effecten omgaan en de (relatieve) meetonzekerheid over een groot molfractiebereik nauwkeurig voorspellen. Hierdoor wordt het gemakkelijker het aantal CMCs op termijn terug te brengen in de KCDB en wordt het onderhoud van de CMCs eenvoudiger. Voor de review van CMCs voor 2022 en 2023 wordt vanuit BIPM nog wel een inhaalslag uitgevoerd, hetgeen voor Chemie betekent dat er veel reviews uitgevoerd moeten worden.

Bij de Key Comparisons zijn CCQM-K117 (NH_3), CCQM-K41 (H_2S) en CCQM-K74 (NO_2) gepubliceerd en afgerond. Voor de internationaal sterk wisselende visie op de ondersteuning van CMCs in CCQM-K118 (aardgas) is een voorstel ontwikkeld en een drafrapport geschreven. De resultaten voor CCQM-P172 (HNO_3) en Euramet 1305 (siloxanen) zijn over het algemeen goed. De metingen voor Euramet 1305 hebben meer tijd gekost dan voorzien. Enerzijds doordat het te positief was begroot, maar daar bovenop moest een meetserie worden herhaald vanwege getenvallende resultaten. Het eindrapport van de comparison moet nog worden afgerond. Voor de

CCQM-K175 oxy-VOC comparison zijn inmiddels de mengsels gemaakt en gemeten en voor de CCQM-K164 verontreinigingen in waterstof zijn inmiddels alle metingen gedaan. De metingen en de dataverwerking in enkele comparisons hebben meer tijd gekost dan voorzien. Hierop is geanticipeerd in de 15-oktoberbrief van 2021 door 250 uur extra voor dit onderdeel te alloceren.

Het werk aan het EMN Energy Gas (European Metrology Network) gaat gestaag verder en inmiddels wordt ook binnen het EMN Climate and Ocean meegeschreven aan de Strategic Research Agenda. Verder is een begin gemaakt met de deelname in het EMN Pollution Monitoring en het EMN Clean Energy.

In het kader van de werkzaamheden binnen JCGM WG1 (Joint Committee for Guides in Metrology) is door een projectgroep onder leiding van VSL een eenvoudige richtlijn geschreven voor de omgang met atoommassa's en de berekening van molmassa's. Dit artikel is in april 2021 in Pure and Applied Chemistry verschenen. Onder andere door dit werk is VSL nu ook goed bekend bij de Commissie, die over de atoommassa's gaat. In 2014 was al door VSL aangetoond dat atoommassa's een invloed hebben op de onzekerheid van de molfractie van componenten in stabiele gasmengsels. Verder is er een *Committee Draft* opgeleverd voor de inleiding tot the *Guide to the expression of uncertainty in measurement*.

VSL is benaderd om een voorzitter te leveren voor ISO/TC193 (aardgas) en ISO/TC193/SC1 (analyse van aardgas) en heeft daar positief op gereageerd. Op dit moment lopen in ISO de stemmingen om dit te formaliseren. Aan het eind van 2022 eindigt de termijn van de voorzitter van ISO/TC158. In overleg met NEN, dat niet langer het secretariaat van deze TC kon financieren, is besloten om het voorzitterschap aan het land te laten dat het secretariaat gaat leveren (zoals gebruikelijk in ISO). VSL blijft via een werkgroepconvenor, projectleider en NEN 310 158 actief deelnemen aan deze belangrijke TC en zo haar invloed behouden.

Elektriciteit

DC en Laagfrequent

Het standaardenbeheer bij DCLF is grotendeels volgens plan verlopen. Door het langere tijd geheel of gedeeltelijk afwezig zijn van een aantal medewerkers en mede daardoor langdurige onderbezetting van de groep als geheel, zijn sommige onderdelen van het beheer niet geheel uitgevoerd. Door het bijspringen van collega's zijn grote problemen voorkomen. De niet-uitgevoerde onderdelen zullen met voorrang begin 2022 alsnog worden afgewerkt. De bezetting van de groep is eind 2021 weer op niveau, door het starten van twee nieuwe medewerkers per 1 september 2021 en per 1 januari 2022.

Bij een aantal faciliteiten zijn belangrijke vorderingen geboekt. Bij de quantum-hall-faciliteit is het beheer uitgevoerd en werd tegelijk de nieuw geschreven software getest. Bij Vermogen zijn nieuwe filters voor de stroom- en spanningskanalen toegevoegd, waardoor de meetresultaten veel consistentere zijn en we lagere onzekerheden kunnen halen. Tot slot zijn de resultaten van het in april afgeronde EMPIR-project MeterEMI (Research) in beheer genomen als onderdeel van Billing.

Een punt van aandacht is de AC/DC-faciliteit. De medewerker, die het beheer van deze faciliteit in 2019 heeft overgenomen, is voor langere tijd uitgevallen. De in september 2021 gestarte collega heeft dit nu opgepakt en is bezig zich in te werken. Daarbij wordt tegelijkertijd de opstelling gereviseerd om de opgelopen achterstanden weg te werken. Doordat de kennis moet worden bijgespijkerd en de software en apparatuur deels verouderd zijn, zal deze revisie doorlopen in 2022, ondersteund met een daaraan gewijd verbeterproject onder Research.

De deelname aan de vergaderingen voor metrologische infrastructuur heeft plaatsgevonden. Zoals inmiddels gebruikelijk zijn deze vanwege corona virtueel bijgewoond. Ondanks de goede voorbereiding is slechts één van de vijf ingediende JRP's in het nieuwe Europese Partnership on

Metrology programma goedgekeurd voor financiering. Het EMN Smart Electricity Grids heeft in samenwerking met EURAMET TC-EM in december een bijeenkomst georganiseerd ter voorbereiding op de 2022 call voor het European Partnership on Metrology.

Tot slot heeft Gert Rietveld vanuit VSL in februari een deeltijdaanstelling gekregen als hoogleraar aan de Universiteit Twente. Er is een nieuw meetsysteem voor batterijen opgezet, en er is een nieuw idee voor het nauwkeurig meten van de efficiëntie van vermogenselektronica ontwikkeld. Samen met de EMC-groep in Twente is er een start gemaakt met het ontwikkelen van metingen in elektriciteitsnetten.

Hoogfrequent

Het beheer van HF is volgens plan uitgevoerd. Er heeft een bovengemiddeld aantal klantkalibraties plaatsgevonden in 2021. Doordat het HF-team versterkt is met twee nieuwe collega's, kon de extra hoeveelheid kalibraties succesvol worden voltooid. Daarbij wordt ook dankbaar gebruikgemaakt van de door VSL ontwikkelde FAME-software. Van de twee nieuwe collega's heeft één zich ingewerkt op het gebied van S-parametermetingen met een VNA en de ander op HF-vermogen. Daarmee is voor alle HF-faciliteiten nu een back-up gerealiseerd.

Ioniserende straling

Het beheer van de faciliteiten onder SBO-beheer ligt op schema. Het beheer van de Co-60-Gammatronfaciliteit is deels uitgesteld in verband de wisseling van deze faciliteit naar een nieuwe Terabaltfaciliteit, die in maart 2022 geleverd zal worden. Een aantal van de jaarlijkse beheermetingen is daarom uitgesteld tot na de commissioning in 2022 van de oude Gammatronfaciliteit. Essentiële metingen, zoals die m.b.t. het start-stop-effect, zijn de afgelopen periode vaker gecontroleerd in verband met mogelijke slijtage van het sluitmechanisme.

Ten behoeve van de grootheid geabsorbeerde-dosis-in-water in de Co-60-bundel, N_{dw} , 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. Ionisatiekamerhouders die werden gebruikt in de oude waterbak, vertoonden vaak gebreken, zoals het afbreken van de houder. Validatie van het nieuwe waterfantom vindt momenteel plaats.

Voor het beheer van de DIR-101 (bestralingsfaciliteit voor de kalibratie van dosimeters t.b.v. stralingsbescherming) zal de kalibratie van de afstandsrail in de tweede helft van het jaar 2022 worden uitgevoerd door de afdeling Lengte.

In mei stond een bronwissel/onderhoud gepland van de HDR (High Dose Rate opstelling) door de leverancier van het systeem. Tijdens dit onderhoud is geconstateerd dat er een voeding defect was. De oude radioactieve bron (Ir-192) is verwijderd en afgevoerd. Het laden van de nieuwe bron is uitgevoerd, nadat de voeding was vervangen.

VSL coördineert het EMPIR-project "Herleidbare dosimetrie voor kleine velden in MR-geleide radiotherapie (MRgRT-dos)". Tevens draagt VSL bij aan het ontwikkelen van een Europees netwerk voor het medisch gebruik van ioniserende straling (MIRA). Deze beide projecten zijn onderdeel van het VWS-werkplan.

Er is deelgenomen aan diverse nationale en internationale commissies en werkgroepen, waaronder de NEN-commissie voor radioactiviteitsmetingen, verscheidende NCS-commissies en werkgroepen en de Euramet TC-IR.

De rapportage en analyse van de vergelijking BIPM.RI(1)-K8 (Reference Air Kerma Rate voor HDR (High Dose Rate) Ir-192 Brachytherapy) zijn opgestuurd. De key comparisons voor ^{125}I LDR en X-ray 20 kV-100 kV zijn nog niet gestart.

Massa, Druk en Viscositeit

Het standaardbeheer is in 2021 zonder problemen uitgevoerd, ondanks de krappe bezetting aan het begin van het jaar en de inzet van MDV-medewerkers bij resp. Flow en Temperatuur. De gewenste inhaalslag is na de zomer gemaakt en de personele bezetting van MDV, en ook bij ICT, CTH en Flow, is bij aanvang van 2022 een stuk beter dan een jaar eerder. De nieuwe wetenschapper, die medio 2021 bij MDV is gestart, is al deels ingewerkt in het beheer en de laatste delen van de training staan in 2022 op de agenda. Tot slot zal in 2022 nog een extra medewerker voor CTH/MDV worden aangetrokken.

Door een veranderde werkwijze bij BIPM voor de kalibratie van massastukken waren de resultaten van de 1 kg massastukken pas begin 2021 weer beschikbaar. Deze zijn inmiddels verwerkt (gecombineerd met de training), waarmee het beheer weer actueel is.

Door uitbreiding van de capaciteit bij de ICT-groep is ook het automatiseringsproject in de tweede helft van het jaar van start gegaan. Een nieuwe ICT-medewerker heeft zich kunnen inwerken op de materie en de eerste stappen zijn gezet in de verbetering van de automatisering van de massasoftware. Hier zal in 2022 een gestructureerd vervolg op komen. Ook zal een meerjarenvisie worden ontwikkeld door in kaart te brengen wat de huidige status is van de automatisering binnen alle onderdelen van MDV en naar welke status het in welke periode moet worden verbeterd. Dit zal dan in etappes in de werkplannen van de komende jaren worden aangepakt.

Er is wederom geen tijd besteed aan de key comparisons, vanwege verdere vertraging bij de organiserende labs van CCM.D-K5 en Euramet 14xx. Wel is aan een comparison voor viscositeit meegedaan, met goede resultaten bij 20 °C en 25 °C. De resultaten bij 40 °C moeten nog nader worden beschouwd.

Lengte

Voor installatie en validatie van de nieuwe 3D-coördinatenmeetmachine (3D CMM) is een grote inspanning verricht om de kalibratiediensten, die met deze machine worden gerealiseerd, te kunnen continueren onder RvA-accreditatie. Het validatierapport is afgerond en zal worden voorgelegd aan een RvA-vakdeskundige ter beoordeling. Het interne beheer is goed op orde, maar de uitvoering van de interne audits liep eerst achter op schema, maar is inmiddels ook uitgevoerd.

Het H2020-project “Hybride 4D-fabricagemethoden” (AMPERE) is het vervolgproject van het in 2020 afgeronde “Hybride 3D-fabricagemethoden” (HybMan). De kick-off is in maart 2021 gehouden en in de eerste fase van het project zal de metrologiebehoefte worden geïnventariseerd en in de loop van het project worden ondersteund. In het EMPIR-project: “Metrologie voor de Fabrik van de toekomst” zijn vier sensoren geassembleerd, getest en goed bevonden. Er wordt nu opgeschaald naar vijftig sensoren. De data van het derde testbed in het consortium zijn geanalyseerd en de resultaten zijn eind mei gepresenteerd tijdens de MSMM-2021 workshop. Er is al één artikel gepubliceerd.

Het door VSL gecoördineerde EMPIR-project “Optisch zeer nauwkeurig meten door aangepaste licht-materiaal interacties” (BeCoMe; totale duur 40 maanden) is afgerond in oktober 2021. Als coördinator heeft VSL ervoor gezorgd dat alle projectpartners hebben bijgedragen aan de deliverables. Het ontwerp van een nieuw systeem, gebaseerd op twee SLMs (Spatial Light Modulators) in cascade, om onafhankelijk de amplitude en fase van een golfveld te ontwerpen, is verbeterd met de bemonsteringstafel om voorlopige experimentele resultaten te verkrijgen. Dit experimentele gedeelte was vertraagd door een personeelwisseling en de Covid-19 beperkingen.

Het Grant Agreement van het EMPIR-project PoLight (dat een vervolg is op BeCoMe) is getekend en het project is gestart op 1 september 2021. VSL en PTB delen de coördinatie. Voor PoLight zijn er veel vergelijkende metingen gepland, evenals verbetering van recent ontwikkelde opstellingen.

Het Grand Agreement van het nieuwe EMPIR-project ATMOC is ondertekend en het project is gestart op 1 juli 2021. VSL leidt werkpakket 2 "Traceerbaarheid van geavanceerde op fotonen gebaseerde metrologie" en neemt ook deel aan de andere werkpakketten. Projectactiviteiten omvatten een evaluatie van het onzekerheidsbudget van de scatterometrie-opstellingen en de ontwikkeling van het verbeterde algoritme voor numerieke simulaties. De eerste stappen zijn gezet in de evaluatie van het onzekerheidsbudget voor dit project.

Het EMPIR-project nPSize "Herleidbare metingen van nanodeeltjes" is eind oktober 2021 afgerond. In de eerste helft van 2021 is nauwelijks aan dit project gewerkt ten gevolge van personeelsverloop. De openstaande deliverables zijn tijdens de eindfase alsnog gerealiseerd.

Voor de Euramet L-K4 (diameterstandaarden) met metingen van de diameter, rondheid en rechtheid waren er twee rondheidswaarden met $|E_n| > 1$. Dit is waarschijnlijk terug te voeren op gevoeligheden van de betrokken standaarden m.b.t. de exacte meetpositie. Een bevestiging van de competentie en uitvoering van rondheidsmetingen is verkregen door de later uitgevoerde Euramet L-S30 (rondheid) comparison, waaruit blijkt dat volgens het drafrapport voor alle VSL-waarden geldt $|E_n| < 1$. De comparisons voor hoekmeting (polygonen) en verplaatsingsopnemers zijn opgestart. De betreffende standaarden zijn grotendeels in 2021 door VSL gemeten. Van de projecten Euramet 1239 (ruwheid met AFM) en CCL-Nano6 (lijnbreedte met AFM) zijn de draf rapportages niet ontvangen in 2021 en deze schuiven derhalve door naar 2022.

Thermometrie

Het beheer voor Thermometrie is grotendeels uitgevoerd. Er zijn nog achterstanden, door uitval van defecte apparatuur, daarnaast moet een aantal nieuwe systemen nog in gebruik genomen worden. De afdeling Temperatuur is hierbij afhankelijk van ICT-ondersteuning. Het overgrote deel van de klantkalibraties is wel gewoon uitgevoerd. Het standaardenbeheer voor Luchtvochtigheid is uitgevoerd. Ook de tweedrukgenerator is weer in gebruik genomen.

Voor zowel Thermometrie als Luchtvochtigheid heeft eind maart 2021 een RvA-audit plaatsgevonden. Hierin is een aantal kleinere punten naar voren gekomen, waarvan de oplossingen inmiddels zijn goedgekeurd door de RvA. Verder is er een nieuwe wetenschapper aangesteld, die begin augustus 2021 is gestart.

Optica

Het basisbeheer voor Radiometrie en Fotometrie is grotendeels volgens planning uitgevoerd. Er is een medewerker van Lengte ingewerkt op het uitvoeren van een aantal optische beheermetingen. De primaire realisatie voor spectrale responsiviteit op de ACR (Absolute Cryogene Radiometer) kon nog niet worden uitgevoerd, omdat het niet mogelijk was om voldoende afstand te houden (conform de Covid-19 richtlijnen).

De opstelling voor het meten van lineariteit van detectoren was door een Windowsmigratie niet meer operationeel. Niet alleen de hardware-aansturing is herzien, maar ook voor de software is een nieuwe versie geschreven, getest en gevalideerd. Door het vertrek van key personeel op deze opstelling hebben nieuwe collega's zich de aspecten van de opstelling met een aanzienlijke inspanning getracht eigen te maken. Dit heeft in 2021 extra inzet gekost, die deels in 2022 zal doorlopen.

De projectonderdelen Kwaliteit en Metrologische Infrastructuur zijn volgens plan verlopen. In maart 2021 is er een RvA-herbeoordelingsaudit uitgevoerd, via een videoconferentie. De hierbij geconstateerde non-conformities (afwijkingen) zijn inmiddels afgehandeld. Over het projectmanagement valt te melden dat na het vertrek van de projectmanager van o.a. Optica, een nieuwe projectmanager is gestart per 1 september 2021.

Voor het ontwikkelproject “Lasergebaseerde kalibratie van arrayspectroradiometers” is een start gemaakt met het schrijven van data-analysescripts en een werkinstructie. Voor het ontwikkelproject “Verbetering schaaluitbreiding ACR in het infrarood” is een opzet voor de data-analyse gemaakt. Het project: “SI-herleidbaarheid van aardobservatie-instrumentatie en ground-support equipment” is nog niet gestart, vanwege beperkingen in de bezetting en is opgenomen in het werkplan van 2022. Aan het project “Radiometrie voor fotobiologische veiligheid” is door de nieuwe medewerkster gewerkt. Alle benodigde onderdelen zijn besteld en geleverd. Het ontwerp van de opstelling is gemaakt, maar de opbouw heeft nog niet plaatsgevonden. Het ontwikkelproject “Automatisering” is volgens planning uitgevoerd.

Voor wat betreft de ringvergelijkingen: VSL heeft meegeschreven aan het protocol voor het vergelijk voor lichtsterkte (EURAMET.PR-K3). Voor dit vergelijk zijn de eerste karakteriseringsmetingen aan de standaarden uitgevoerd. Voor het vergelijk voor spectrale irradiantie van detectoren bij een golflengte van 365 nm (EURAMET PR-S4, project N443) is een aanvullende analyse uitgevoerd, waarmee de afgegeven onzekerheid gevalideerd is. Voor het vergelijk voor filtertransmissie (EURAMET.PR-K6) zijn de ingestuurde resultaten gevalideerd in het pre-draft A proces, gefaciliteerd door de pilot van dit vergelijk. Het vergelijk voor UV spectrale irradiantie 200 nm tot 400 nm is nog niet gestart.

Internationaal is deelgenomen aan verschillende metrologie- en standaardisatievergaderingen van de *Technical Committee of Photometry and Radiometry* (TC-PR) en *International Commission on Illumination* (CIE). Als gevolg van de coronamaatregelen zijn de vergaderingen via videoconferenties bijgewoond.

Tijd- en Frequentiestandaarden

Het standaardenbeheer bij Tijd en Frequentie is grotendeels volgens plan uitgevoerd. De resultaten van het doorlopende UTC-vergelijk over de afgelopen periode laten een stabiel resultaat zien, met een afwijking van UTC(VSL) ten opzichte van UTC kleiner dan ± 20 ns. De waterstofmaser, die vorig jaar is aangeschaft, is operationeel en de meetresultaten hiervan worden sinds januari gerapporteerd aan BIPM voor de berekening van UTC. Eén van de cesiumklokken is uitgevallen, omdat de cesiumbuis leeg is. Gezien de leeftijd van deze klok is besloten de gehele klok te vervangen.

Het twee-weg-satelliet tijd- en frequentietransfersysteem (TWSTFT) is nog steeds de belangrijkste koppeling tussen UTC(VSL) en UTC. Daar dit systeem inmiddels wat verouderd is, was gepland om in 2021 te starten met een update van het systeem v.w.b. zowel de hard- als de software. Deze activiteit is uitgesteld om voorrang te geven aan vervanging van alle verouderde meet-PC's bij de faciliteit Tijd en Frequentie. Dit sluit aan bij de verbetering van de bedrijfszekerheid van de tijdsfaciliteiten, in het kader van beheerontwikkeling, die nodig is om te voldoen aan de groeiende behoefte aan nauwkeurige en betrouwbare tijdsdisseminatie. In 2021 is gestart met testen van automatische datacontrole en alarmering via sms en e-mail. De eerste resultaten hiervan zijn positief.

In het kader van onderzoek naar de realisatie van een back-up locatie voor UTC(VSL) is vorig jaar via SURF een White Rabbit (WR) verbinding tot stand gebracht met ESTEC. Deze verbinding is inmiddels volledig operationeel voor tijdtransfer. In samenwerking met VSL ICT is een ontwerp gemaakt om ook meetdata en apparatuurstatus uit te wisselen tussen de locaties. De implementatie hiervan is inmiddels gestart.

Volumetrie

Sinds eind 2020 zijn er bij Volumetrie vier collega's vertrokken. Dit heeft met name bij Lage Druk Gas en Hoge Druk Gas impact gehad, maar ook bij microflow. Vijf nieuwe collega's zijn

aangenomen, waarvan één wordt gedeeld met Massa, Druk en Viscositeit. De interne opleiding van deze collega's is in volle gang en tijdens de RvA-audit, eind maart 2021, is over de opleidingsplannen zelfs een compliment ontvangen.

Het beheer bij Lage Druk Gas lag eind 2020 achter op schema, maar die achterstand is nu grotendeels ingelopen. Alleen de opwerking van de Bell Prover (Klok 3) is nog niet afgerond, al is hier wel mee gestart. Op grond van een stabiele historie van de Bell Prover is een verlenging van de kalibratietermijn tot oktober 2021 geaccepteerd. Deze wordt in 2022 dus pas na afronding van een nieuwe interne kalibratie weer gebruikt. Tot slot is het vervangen van de vlinderkleppen van de Grote Installatie (GI) goed verlopen.

Voor Hoge Druk Gas zijn de metingen met TraSys bij Euroloop en bijbehorende data-analyse voltooid. Procedures zijn aangepast op basis van deze metingen, waarin o.a. het onzekerheidsbudget van TraSys-metingen is gereviseerd.

Het beheer bij Vloeistof is, uitgezonderd microflow, volgens schema verlopen. Er is momenteel niemand die de microflowopstelling kan bedienen, daarnaast is er heel weinig (lees: geen) vraag naar kalibraties op deze opstelling. Vanaf 2022 wordt de microflow niet langer onderhouden binnen SBO. Bij Waterflow is de ontwikkeling, uitbreiding en verhuizing van de nieuwe faciliteit in volle gang.

Het voorziene onderhoud van de primaire standaard voor LNG-flowmeters is uitgevoerd. De kalibratie van de gaschromatograaf is uitgesteld tot na de verhuizing (naar dezelfde, nieuwe locatie als Waterflow).

Voor wat betreft de comparisons: Alle metingen voor project 1476 zijn uitgevoerd en de dataverwerking en rapportage zijn in volle gang. De kalibratie van de installatie van Euroloop is afgerond en de harmonisatie Hoge-Druk Aardgas (CCM-FF-K5C) eveneens. EURAMET-project 1452 (volume 20, 50 en 250 L) is afgerond met goede resultaten voor VSL, dat meedeed met een lagere onzekerheid dan de CMC.

Metrologische infrastructuur

Alle relevante nationale en internationale vergaderingen zijn bijgewoond (fysiek, dan wel virtueel), waaronder de bijeenkomsten van EURAMET, EMPIR committee, EMPIR SC-R en SC-CB (subcommittees Research en Capacity Building), CIPM, Fenelab en de Raad van Deskundigen (RvD).

De eindrapportages SBO en Research 2020 zijn begin 2021 ingediend, met de RvD besproken en door EZK goedgekeurd. De werkplannen SBO en Research 2021 zijn eveneens begin 2021 bij EZK ingediend. Deze zijn met EZK en de RvD besproken. Als gevolg van een structurele uitbreiding van het metrologiebudget is er extra budget beschikbaar gekomen voor het organiseren van voldoende back-up bij de verschillende meetfaciliteiten, het opleiden van nieuw (en bestaand) personeel en een versnelling van de technische automatisering van de opstellingen. De werkplannen voor SBO en Research 2021 zijn hierop aangepast. Het SBO-werkplan omvat nu alle beheer, automatisering en de key comparisons. Alle R&D, ontwikkeling en EMPIR-projecten zijn opgenomen in het Researchwerkplan. Beide aangepaste werkplannen zijn op 21 juni formeel (en digitaal) aan EZK aangeboden. Daarnaast zijn de tussenrapportages van zowel SBO als Research opgesteld, ingediend, besproken en door EZK en de RvD goedgekeurd. In het laatste kwartaal zijn tevens de werkplannen SBO en Research voor 2022 in concept aangeleverd.

VSL heeft met de vierjaarlijkse RvA-herbeoordeling, reguliere jaarlijkse TC-Q beoordeling en een vervroegd controleonderzoek aangetoond te voldoen aan de eisen, die worden gesteld aan een NMI voor verdere deelname in de CIPM MRA. Hiermee is de internationale erkenning van de nationale meetstandaarden en referentiematerialen wederom gewaarborgd. Daarnaast promoot VSL zich in verschillende nationale en internationale platforms als prominent instituut.

Binnen het project "Beheer metrologische automatiseringsinfrastructuur" kan gemeld worden dat het beheer van alle systemen op orde is. In het tweede deel van 2021 is er extra aandacht besteed

aan het IKR-systeem (Intern Kalibratie Regime), waarmee de status van alle standaarden en faciliteiten wordt gemonitord en is tevens een nieuwe planningstool (PURE) ingevoerd.

Key Comparisons

Chemie

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren 2021	
					Begr. 2021	Real. 2021
CCQM-K117	Ammoniak in stikstof	2015-2021	VSL	Eindrapport gepubliceerd.	16	15
CCQM-K118	Aardgas	2014-2021	VSL	Draft A3 en draft B rapport opgesteld.	56	55
CCQM-K41.2017	Waterstofsulfide	2017-2021	KRISS	Eindrapport gepubliceerd.	4	1
CCQM-K10.2017	Monocyclische aromaten	2017-2022	NIST	Draft A2 rapport beoordeeld. Draft B ontvangen.	4	3
CCQM-K74.2018/ CCQM-P172	NO ₂ /HNO ₃ in stikstof	2018-2021	BIPM	Eindrapport gepubliceerd (K74). Draft A2 rapport beoordeeld.	40	36
CCQM-K3.2019	Automotive	2019-2022	VSL	Draft A1 geschreven en ter commentaar verspreid.	80	80
CCQM-K68.2019	Ambient N ₂ O	2019-2022	BIPM/ KRISS	Draft A2 rapport beoordeeld.	40	34
CCQM-K26b.2019	SO ₂ in lucht	2019-2022	NPL	Wachten op reis-standaard.	8	1
Euramet.QM-K3	Automotive	2019-2022	VSL	Verificatiemetingen en schrijven draft A1 gestart.	40	49
Euramet 708	Stikstofdioxide	2016-2021	NIST/ VSL	Gestart met rapportage.	6	6
Euramet 708	Waterstofchloride in stikstof	2018-2021	NIST/ VSL	Nog weinig voortgang.	4	1
Euramet 708	Kwik in lucht	2020-2022	NIST/ VSL	Nog geen voortgang.	4	0
Euramet 1305	Siloxanen	2018-2021	NPL/ VSL	Rapportage gestart en herverificatie uitgevoerd.	164	173
CCQM-K174	Oxy-VOC 0,1-1 ppm	2020-2023	VSL	Mengsels gemaakt.	300	312
CCQM-K164	Hydrogen quality	2020-2023	NPL	Gestart met metingen.	120	120

Toelichting:

- De key comparisons, waarvan VSL de coördinator is, worden aangegeven door de bedrijfsnaam in blauwe letters. Nieuw in 2021 zijn de vergelijkingen voor oxy-VOC (K174) en waterstof zuiverheid (K164). Voor oxy-VOC zijn de mengsels gereed voor verscheping.
- De CCQM-K3.2019 Automotive loopt voorspoedig, al kosten de laatste metingen en de rapportage iets meer tijd dan vooraf voorzien. De aanvullende regionale Euramet.QM-K3 verloopt ook volgens plan, de cilinders zijn inmiddels naar de deelnemers gestuurd.
- Het meten voor Euramet vergelijk 1305 voor Siloxanen is uitgevoerd en de resultaten zijn naar NPL gestuurd. Het benodigd aantal uur was bij nader inzien wel erg krap begroot en daar kwamen nog twee extra meetseries bij vanwege tegenvallende resultaten bij het beladen van thermo desorptie buizen. Het vergelijk is geëvalueerd en de resultaten zien er in het algemeen goed uit.
- Euramet 708: de werkzaamheden bij NIST zijn nog altijd getroffen door de Covid-maatregelen. Een groot deel van deze activiteiten is opnieuw besproken en schuiven door naar 2022.

Mitigatie extra uren:

- Er bleken fors meer uren nodig voor de afronding van CCQM-K118 (aardgas), mengselbereiding CCQM-K174 (oxy-VOC) en analyses voor Euramet 1305 (siloxanen). Bij de samenwerking met NIST (Euramet 708) bleven uren over, omdat daar de werkzaamheden stagneren door Covid-maatregelen in de USA. In de 15-oktoberbrief is een extra budget van 250 uur opgenomen.
- In 2022 zal vooraf, per activiteit, scherper worden gekeken hoeveel werk er in de diverse deelnames gepland moet worden. De planning m.b.v. PURE gaat hierbij helpen om meer focus en meer overzicht te houden.

Elektriciteit
DCLF

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd*	Coörd.	Status	Uren 2021	
					Begr. 2021	Real. 2021
CCEM/EURAMET. EM-K5.2012/2017	LF vermogen 50 Hz	2018-2021	VSL, NPL, PTB, LNE	Rapportage VSL-EURAMET metingen moet nog gebeuren. Transferstandaard van en naar landen buiten de EU verscheept. Door Corona heeft de CCEM-loop forse vertraging opgelopen. De metingen van het EURAMET-deel zijn wel zo goed als volgens plan gegaan en inmiddels afgerond.	300	271
EURAMET.EM-K2	Weerstand 10 MΩ & 1 GΩ	2021-2022	NPL, UME, PTB	Vergelijking nog niet gestart.	0	0

Toelichting:

- De key comparisons, waarvan VSL de coördinator is, worden aangegeven door de bedrijfsnaam in blauwe letters.
- Voor de EURAMET-K5-vergelijking wordt de coördinatie gezamenlijk uitgevoerd door VSL en NPL (samen analyse en rapportage), PTB (pilot lab) en LNE (protocol en logistiek). Het project is gestart in 2018. VSL heeft in 2018 metingen gedaan voor de CCEM-meetloop en in 2019 voor de EURAMET-loop. In 2021 is de rapportage van de VSL-metingen afgerond. Door corona- en douane perikelen heeft de CCEM-vergelijking meer dan 18 maanden vertraging opgelopen. Voor de Euramet-vergelijk hebben alle deelnemers hun resultaten ingediend en is een start gemaakt met de analyse.
- De K2-vergelijking is uitgesteld tot 2022 (zie ook de '15-oktoberbrief'). Het zal uitgevoerd worden als 'startype' comparison, een nieuw type vergelijk waarbij alle deelnemers tegelijkertijd hun eigen standaarden naar het pilotlab sturen. Dit is dan dus sneller klaar dan een normaal vergelijk, waarbij een transferstandaard circuleert.

HF

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren 2021	
					Begr. 2021	Real. jan-dec 2021
CCEM.RF-K5c.CL	S-parameters voor 3,5 mm connector	2013-2021	NMIJ	Draft A is gereviseerd.	20	20
CCEM.RF-K26	Verzwakking in PC-2,4 mm, tot 40 GHz en 90dB	2015-2021	NMIJ	Wachten op eerste draft.	20	0

Ioniserende Straling

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren 2021	
					Begr. 2021	Real. 2021
BIPM.RI(I)-K8	Reference Air Kerma Rate voor HDR Ir-192 Brachytherapy	2019-2022	BIPM	In afwachting van Draft A.	20	19
¹²⁵ I LDR	Reference Air Kerma Rate (RAKR) voor ¹²⁵ I LDR bronnen (bilateraal)	2018-2022	BIPM	Geen voortgang, schuift door naar 2022.	110	6
X-ray 20 kV-100 kV	Air Kerma voor X-ray's 20 kV – 100 kV	2018-2022	N.n.b.	Geen voortgang.	110	2
K1/K4	Luchtkerma en geabsorbeerde dosis in water	2021-2022	VSL	Eerste metingen uitgevoerd.	80	97

Toelichting:

- De key comparisons, waarvan VSL de coördinator is, worden aangegeven door de bedrijfsnaam in blauwe letters.
- De vergelijking voor ¹²⁵I LDR (Low Dose Rate) is niet gestart in 2021 en schuift door naar 2022. In plaats daarvan is een nieuwe vergelijking aan het werkplan toegevoegd, namelijk K1/K4 "Luchtkerma en geabsorbeerde dosis in water", waarin VSL als 'linking pin' optreedt (zie ook de '15-oktoberbrief').

Massa en gerelateerde grootheden

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren 2021	
					Begr. 2021	Real. 2021
EURAMET 14xx	10 MPa-500 MPa	2019-2021	RISE	Geen voortgang.	100	0
CCM.D-K5	Dichtheid van vloeistoffen	2015-2021	BEV	Geen voortgang.	50	0
Euramet regional extension of CCM.D-K5	Dichtheid van vloeistoffen	2017-2021	BEV	Geen voortgang.	50	0
2021 ASTM Cooperative Kinematic Viscosity Measuring Program	Kinematische Viscositeit 10, 550 en 38000 mm ² /s @20 °C)	2021	Canon	Metingen uitgevoerd.	0	42

Toelichting:

- Wederom was er weinig tot geen beweging bij de organiserende partijen t.a.v. den geplande comparisons (al lijkt er eindelijk schot te zitten in de dichtheid comparison die in 2022 zeer waarschijnlijk wel zal gaan plaatsvinden). In de 15 oktoberbrief is aangegeven dat het oorspronkelijke budget van 200 uur terug kan naar 50 uur voor een aanvullende comparison voor viscositeit. De overige 150 uur is gebruikt om extra werk in met name kwaliteit en automatisering te compenseren.
- Voor Viscositeit is deelgenomen aan een extern georganiseerd ringvergelijk.

Lengte

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren 2021	
					Begr. 2021	Real. 2021
EURAMET L-K4	Diameter-standaarden	2016-2021	VSL	Draft B revisie 4 gedistribueerd.	32	10
EURAMET L-S30	Rondheid	2020-2021	CEM	Draft A3 ontvangen.	20	1
EURAMET 1239 (EURAMET S-Sq-AFM)	Oppervlakte-ruwheid met AFM	2014-2021	PTB	In afwachting van Draft A.	16	0
CCL-NANO6	Lijnbreedte met SPM	2014-2021	NIST	Communicatie draft A en B.	16	0
Nog niet bekend	Line scales	2020-2022	Nog niet bekend	Nog geen voortgang.	40	0
EURAMET L-K3.01 Project 1527	Polygonen	2020-2022	INRIM	Gestart in 2021. Tijdslot VSL: september 2021, metingen en rapportage zijn uitgevoerd.	40	33
EURAMET L-S31 Project 1513	Verplaatsingsopnemers	2021	MIRS/ UM- FS/LTM	Gestart in 2021. VSL tijdslot: juli 2021. Metingen herhalen in 2022 a.g.v. instabiliteit.	4	59
Nog niet bekend.	Eindmaten interferometrisch	2021	Nog niet bekend.	Inventarisatiefase.	4	0

Toelichting:

- De key comparisons, waarvan VSL de coördinator is, worden aangegeven door de bedrijfsnaam in blauwe letters.
- EURAMET L-K3 (polygonen) en L-S31 (verplaatsingsopnemers) zijn gestart en VSL heeft de metingen en de rapportage voor L-K3 in 2021 uitgevoerd. De metingen voor de verplaatsingsopnemer zullen in 2022 worden herhaald, vanwege een geconstateerde instabiliteit in de tot dusver uitgevoerde metingen.

Thermometrie

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren 2021	
					Begr 2021	Real. 2021
CCT-K11	Watertripelpuntcellen	2018-2021	VSL, NRC	Een deel van de metingen is uitgevoerd.	250	136

Toelichting:

- De key comparisons, waarvan VSL de coördinator is, worden aangegeven door de bedrijfsnaam in blauwe letters.

Optica

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren 2021	
					Begr. 2021	Real. 2021
EURAMET PR-S4 (project N443)	Spectrale irradiantie detectoren, golflengte 365 nm	2013- 2021	LNE	Draft B beoordeeld.	20	63
EURAMET.PR-K6	Filtertransmissie	2016- 2021	LNE	Pre-draft A proces loopt momenteel.	20	13
CCPR-K1.b	UV spectrale irradiantie 200-400 nm	2019- 2021	NIST	Nog niet gestart.	150	0
EURAMET.PR-K3	Lichtsterkte	2020- 2023-	METAS	Metingen voor de eerste ronde zijn bijna afgerond.	180	346

Toelichting:

- Planning voor EURAMET.PR-K3 is enkele malen opgeschoven, omdat reizen met de lampen naar het pilotlaboratorium niet mogelijk was i.v.m. Covid-19 restricties.
- EURAMET.PR-K3 is opgepakt door twee nieuwe medewerkers en heeft een learning curve gekend. De opstelling, onzekerheidsbudget en instructies moesten worden herzien. De vergelijking zal afgerond worden in 2022.
- Vergelijking CCPR-K1.b is vertraagd. VSL wacht op de aanlevering van het artefact om deze comparison uit te voeren. Zodra deze ontvangen wordt, zal de uitvoering ingepland worden, naar verwachting in 2022.

Tijd & Frequentie

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren 2021	
					Begr. 2021	Real. 2021
CCTF-K001.UTC	UTC	Continu	BIPM	Metingen en rapportage.	70	71
CCTF-K001.UTC	Galileo (+ GPS) comparison	2021	BIPM	Metingen en rapportage. Resultaten geïmplementeerd in oktober 2021.	80	126

Toelichting:

- De tweeweg-tijd en -frequentievergelijkingen via satellieten en de vergelijkingen via GPS-data worden uitgevoerd onder CCTF-K001.UTC.

Volumetrie

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren 2021	
					Begr. 2021	Real. 2021
Euramet project 1476	Lage-druk lucht van circa 25 tot 400 m ³ /h	2019 – 2022	VSL	Alle metingen uitgevoerd. Data-verwerking en rapportage lopen.	60	58
CCM-FF-K5C	Doorlopende harmonisatie hoge-druk aardgas	2019-2023	PTB	Correcties zijn bepaald en toegepast.	150	15
Euramet project 1452	Volume, 20, 50 en 250 L	2018 – 2021	VNIIM/ VSL	Gereed.	24	0
Comparison VSL-Force	Bilateraal VSL-Force (n.a.v. EUREGA)	2020 – 2022	VSL, Force	Data-analyse loopt door in 2022.	80	103
Euramet xxx	Volume 1000 L	2021-2023	N.n.b.	Metingen zijn uitgevoerd.	80	47
Euramet project 1507	Vloeistof, 0,05 - 36 m ³ /h	2021-2021	N.n.b.	Afgelast.	60	0

Toelichting:

- De key comparisons, waarvan VSL de coördinator is, worden aangegeven door de bedrijfsnaam in blauwe letters.
- Er is weinig voortgang bij een aantal vergelijkingen, hetgeen voornamelijk aan Covid-19 is gerelateerd.
- De metingen behorend bij Euramet project 1476 zijn uitgevoerd. Met de dataverwerking en rapportage is begonnen.
- Euramet project 1452 is met succes afgerond.
- FORCE en VSL hebben de kalibratie van het artefact op hoge-druk aardgas verricht en de data-analyse is gaande. Dit vergelijk is vertraagd tot in 2022.
- De harmonisatie van de kubieke meter aardgas is (K5c) afgerond. Na de opwerking heeft Euroloop additionele metingen gedaan met de harmonisatiemeters. Hieruit bleek dat Euroloop t.o.v. het niveau van 2020 een kleine verschuiving heeft ondergaan. Het effect op de HRV (Harmonized Reference Value) was beperkt, waardoor overige partners geen additionele correcties nodig hadden t.o.v. in het voorjaar van 2021 bepaalde 'feedbackfactoren'. Wel heeft Euroloop zelf een kleine correctie moeten doorvoeren.