

# Publieke verantwoording overheidscontracten Standaardenbeheerovereenkomst en Research 2010

## Algemeen

### Groepen standaarden

In de Metrologiewet (2006) is opgenomen dat de Minister van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) "één 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 ondermeer eerlijke handel, wetenschap en industrie. VSL is door de Minister aangewezen als de instantie die verantwoordelijk is voor de uitvoering van deze taak.

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
- Lengte
- Thermometrie
- 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

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 stand houden van het door RvA geaccrediteerde kwaliteitborgingssysteem op basis van de ISO/IEC 17025:2005 norm,
- iv. het onderhouden van de contacten binnen de Metrologische Infrastructuur.

**Beheerontwikkeling** omvat de volgende onderwerpen:

- i. ontwikkelingsprojecten rond bestaande standaarden die leiden tot bijv. een vooraf gedefinieerde verbetering in de meetonzekerheid, een verbetering in de efficiëntie van het basisbeheer van een standaard door automatisering van het meetproces, een uitbreiding van de range waarin kalibraties geleverd kunnen worden of de toevoeging van nieuwe componenten aan bestaande referentiematerialen, e.d.,
- ii. ontwikkelingsprojecten op basis van elders bekende technieken die leiden tot nieuwe standaarden die voorzien in een nationale behoefte ten einde te kunnen voldoen aan nieuwe (internationale) eisen,
- iii. het schrijven van procedures voor nieuwe standaarden, teneinde de resultaten van het beheerontwikkelingsprogramma vast te leggen in het kwaliteitsborgingsstelsel.

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 de 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 **2010** zijn uitgevoerd binnen alle vier de bovengenoemde programmaonderdelen.

De totale financiële omvang van de programma's bedroeg in 2010 € 7.843.828,00 voor het Standaardenbeheer en € 874.397,00 voor de Researchsubsidie (alle bedragen zijn excl. BTW).

## Research

### **Spectroscopische parameters van kleine moleculen in de gasfase**

In 2010 is het project 'Spectroscopische parameters van kleine moleculen in de gasfase' succesvol afgerond. Naast de prima wetenschappelijke resultaten blijkt het succes ook uit het feit dat de ontwikkelde opstelling direct praktisch toepasbaar is gebleken voor zuiverheidsonderzoek en kalibraties.

Samenvattend:

- de spectrometer is ingezet voor zuiverheidsanalyse van methaan in stikstof in de internationale Key Comparison (Euramet 937, stikstof (zuiverheid)). De prestaties van het instrument zijn uitstekend in vergelijking met state-of-the-art instrumentarium van andere Europese NMs.
- naast de geplande componenten zijn er ook andere componenten, waar vraag naar bleek te zijn, succesvol gemeten zoals waterstofcyanide.
- lijnsterktes konden niet van alle componenten worden bepaald doordat er voor bepaalde moleculen (met name de grote moleculen) te veel overlap tussen de individuele absorptielijnen bestaat. In deze gevallen zijn absorptiecoëfficiënten gemeten.
- binnen het project is nauw samengewerkt met de Radboud Universiteit Nijmegen en deze samenwerking zal in de komende jaren worden voortgezet.
- er zijn tot en met 2010 drie peer-reviewed publicaties verschenen, vijf voordrachten gehouden en diverse posters gepresenteerd. Een invited review (Laser & Photonics Reviews) is in voorbereiding.

### **Nieuwe generatie pulse-driven Josephsonstandaard**

Ook dit project is in 2010 afgerond. De kwantitatieve doelstellingen (1 MHz, 1 V) zijn niet geheel gehaald, door tegenvallende frequentie-afhankelijkheid van de opstelling, tegenvallende resultaten bij de toeleveranciers van de arrays en onderschatting van de ontwikkeling van supergeleidende elektronica. Wel is voor het eerst aangetoond dat ppm-onzekerheden bij 100 kHz, 100 mV haalbaar zijn. Het vergelijk met binair Josephson is met METAS uitgevoerd op sub-ppm niveau en mag beschouwd worden als een zeer goed resultaat en een wereldprimeur. De ontwikkelde pulse-driven Josephsonstandaard voor wisselspanning heeft goede vooruitzichten m.b.t. praktische inzetbaarheid.

Samenvattend:

- de toepasbaarheid is uitgebreid naar willekeurige frequenties tussen 500 Hz en 100 kHz (lager dan de beoogde 1 kHz tot 1 MHz).
- de nauwkeurigheid is vastgesteld op 0,3 ppm op 100 mV bij 500 Hz en beter dan 1 ppm bij 10 kHz (beter dan de beoogde 1 ppm op 1 V bij 10 kHz).
- een wereldprimeur is behaald door een direct vergelijk met de binaire Josephson-standaard van METAS.
- een indirect vergelijk is uitgevoerd met de pulse-driven standaard van NRC via een AC/DC-transferstandaard.
- de gegenereerde spanning is verhoogd naar 130 mV d.m.v. langere arrays (dit is lager dan de beoogde 1 V).

### **Herleidbaarheid voor complexe 3D metingen op nanometerniveau**

Ook dit project is in 2010 afgesloten. De kennis op het gebied van herleidbaar meten van complexe micro-onderdelen is aanzienlijk vooruit gebracht en het project heeft de toonaangevende positie van VSL op dit gebied gecontinueerd. In algemene zin kan gesteld worden dat VSL hierdoor complexe micro-onderdelen herleidbaar kan meten. Wel moeten voor iedere nieuwe vorm een aantal vormspecifieke aspecten worden uitgewerkt, zoals het meetscript en het fitalgoritme. De algemene aspecten, die gedeeld worden door alle vormen, zijn in dit project aangepakt, zoals de keuze van de scanparameters, het model van het instrument en het framework voor de Monte-

Carlo onzekerheidsberekeningen. Tevens zijn voor een aantal specifieke vormen de specifieke aspecten uitgewerkt.

Samenvattend:

- er is uitgebreid onderzoek gedaan naar het gedrag van de probe. Hiermee zijn veiligheidsmarges voor scannend meten bepaald en is binnen de veiligheidsmarge een consistent model van het probegedrag opgesteld. Dit model biedt mogelijkheden tot substantiële verbeteringen in de probekalibratie.
- er is meegedaan aan de eerste comparison tussen nationale meetinstituten op het gebied van microparts, hetgeen een essentiële stap is om de meetprestaties van de micro-CMM te verifiëren.
- er is ervaring opgebouwd met het meten aan vrije vormen. Tevens is een internationaal toonaangevende Nederlandse fabrikant (Anteryon) op dit gebied aangesloten bij dit onderzoek.
- er is een virtuele micro-CMM ontwikkeld waarmee Monte-Carlo onzekerheidsberekeningen kunnen worden uitgevoerd voor de micro-CMM, de eerste toepassing voor een dergelijk instrument.
- er zijn fitalgoritmes ontwikkeld voor vrije vormen. Deze zijn geïmplementeerd in de virtuele micro-CMM, hetgeen een unieke combinatie is, waarmee voor het eerst taakspecifieke onzekerheden voor vrije vorm metingen van micro lenzen kunnen worden uitgevoerd.

Het researchproject heeft in internationale context deel uitgemaakt van het Euramet project 1088 Microparts, waarin VSL als coördinator optrad en er is samengewerkt met PTB, METAS en NPL. Als onderdeel van dit project is o.a. de genoemde comparison georganiseerd, alsmede een succesvolle internationale workshop in 2009 bij NPL. De opgedane ervaring en de opgebouwde positie heeft tevens als basis gediend voor de VSL- deelname in het succesvolle EMRP-voorstel "Optical and tactile metrology for absolute form characterisation".

### **Distributed Temperature Systems**

In 2010 is dit project met goede resultaten afgerond. Er is een meet- en testfaciliteit gerealiseerd, waarmee DTS-systemen kunnen worden gevalideerd met een resolutie van 0,5 m en een onnauwkeurigheid beter dan 0,1 °C. Resolutie en onnauwkeurigheid worden overigens bepaald door het testobject en niet zozeer door de meetfaciliteit. De meetopstelling is geschaald tot klossen van 1 m doorsnede. De overstuffbepaling is gevalideerd en er is een meetrapport geschreven, met daarin een beschrijving van de meetprocedure. Er is een draftpublicatie beschikbaar die in 2011 zal worden aangeboden aan een relevant blad.

Samenvattend:

- test- en kalibratiefaciliteiten voor DTS-systemen zijn ontwikkeld. Gedurende het project bleek dat de ontwikkeling van testmogelijkheden meer aansluit bij de huidige marktvrage dan kalibraties.
- er is deelgenomen aan de ontwikkeling van een certificeringsdocument binnen SEAFOM (Subsea Fiber Optic Monitoring Group). Inmiddels is er een eerste opdracht verkregen van een DTS-fabrikant voor certificering volgens dit document.
- er is veel kennis vergaard over DTS-systemen, thermische en optische eigenschappen en ruisgedrag. Deze kennis kan ten dienste worden gesteld aan de industrie middels adviesopdrachten.
- er is een meetmethode ontwikkeld ter bepaling van de overstuff in een glasvezelkabel. Hierdoor is het mogelijk deze nauwkeuriger te bepalen, waardoor gebruikers van DTS nauwkeuriger inzicht hebben in de positie van temperatuurs-effecten. Dit is cruciaal bij de operatie van bijvoorbeeld een olie- of gasput.

- op basis van het afgeronde onderzoek en de rapportages zal de industrie geïnformeerd worden over de potentieel grote fouten in de bepaling van de positie van een temperatuureffect bij gebruik van een kabel met onnauwkeurig of zelfs fout-gespecificeerde overstuff en/of brekingsindex. Het op maat maken en uitvoeren van de methode zal door geïnteresseerde industriële partners dienen te worden betaald.

### **Grafeen**

De meetopstellingen van VSL zijn met succes aangepast voor in-situ preparatie van grafeen-samples. Er is een paper gepresenteerd op de "Conference on Precision Electromagnetic Measurements" (Juni 2010, Zuid Korea) over de meetresultaten van eind 2008 en de fabricage van samples in 2009/2010. Er zijn twee populair wetenschappelijke artikelen gepubliceerd naar aanleiding van de Nobelprijs Natuurkunde, die in 2010 aan Geim en Novoselov is uitgereikt. Helaas is het belangrijkste resultaat, precisiemetingen aan grafeensamples, niet gehaald doordat samples bij de montage in de VSL-opstellingen ondanks alle voorzorgsmaatregelen defect zijn geraakt. Vervangende samples van metrologisch goede kwaliteit zijn niet tijdig beschikbaar gekomen om alsnog de beoogde projectresultaten te halen. Het project is derhalve gestopt.

### **Multicomponentenanalyse met frequentiekam gebaseerde cavity enhanced absorption spectroscopie**

Eind 2010 is het gelukt om de OPO te laten werken met een nieuw kristal en zijn hogere vermogens tot 40 mW gegeneerd. De stabiliteit van de OPO is verbeterd door een betere afregeling van de temperatuurstabilisatie. De verstembbaarheid van de OPO is onderzocht door temperatuur- en de polingperiode van het kristal te veranderen en door de lengte van de cavity te veranderen m.b.v. een piëzo. Deze laatste methode blijkt goed en eenvoudig te werken.

Er wordt intensief samengewerkt met de Opticagroep van de TU-Delft, waar een vergelijkbare opstelling wordt opgebouwd in het kader van een FOM-project voor nieuwe instrumentatie in de gezondheidszorg. Bij de TU-Delft is een spectrometer opgebouwd bestaande uit een multi-pass absorptiecel, een speciaal etalon, een tralie om de duizenden frequenties te scheiden en een infraroodcamera voor parallelle detectie. Inmiddels zijn de eerste gasmetingen gedaan.

Er is software geschreven voor simulatie en analyse van de infraroodcamerabeelden. Verder zijn bij VSL de eerste testmetingen gedaan door te kijken naar gasabsorpties in de OPO zelf. Het uitgangsvermogen van de OPO blijkt hiervoor namelijk heel gevoelig te zijn. De gevoeligheid van deze methode kan verder worden vergroot door het uitkoppelenvenster te vervangen door een hoogreflectieve spiegel, waardoor de effectieve absorptiepadlengte wordt vergroot.

### **Metrologie voor LNG**

In het begin van 2010 zijn wijzigingen in het ontwerp doorgevoerd naar aanleiding van de aanbevelingen uit de HAZOP-veiligheidsstudie. Vervolgens is de hardware van de primaire LNG-flowstandaard opgebouwd, is de aansturingsoftware geprogrammeerd en is getest met vloeibaar stikstof.

Op basis van alle testresultaten is een uitgebreid onzekerheidsbudget samengesteld met een totale geschatte onzekerheid ( $k=2$ ) van 1 %. Meer in detail:

- verreweg de grootste onzekerheidscomponent (ongeveer 1 %) wordt gevormd door parasitaire krachten op de massabalans, die onafhankelijk zijn van het gewicht van de cryogene vloeistof waarmee de weegtank gevuld wordt.
- een tweede belangrijke onzekerheidscomponent (0,25 %) betreft het gewicht van het verplaatste gas tijdens het vullen met de vloeistof. De onzekerheid in de bepaling van de temperatuur en druk in de cryostaat zijn hier de oorzaak van.
- ten derde levert de traagheid in het schakelen tussen de voorloeffase en de eigenlijke kalibratie, waarbij de vloeistof omgeleid wordt een onzekerheid van rond de 0,1 %.
- van alle andere effecten blijkt dat deze rond of onder de grens van 0,05 % liggen.

Er is een volledige analyse gemaakt van de knelpunten en puntsgewijs zijn oplossingsmogelijkheden bedacht en uitgewerkt. Voor een groot deel van deze oplossingen zijn ultimo 2010 budgetprijzen bekend.

In het vaktijdschrift LNG Industry is eind 2010 een artikel gepubliceerd over het LNG EMRP project. In november is een druk bezochte (>70 bezoekers) workshop georganiseerd bij en samen met de EMRP-projectpartner SP (Zweden). Er is een projectwebsite ([www.lngmetrology.info](http://www.lngmetrology.info)) gelanceerd die rond de 250 unieke bezoekers per maand noteerde in de eerste 3 maanden.

Ten aanzien van de ontwikkeling/uitbreiding naar een grotere kalibratiefaciliteit is een rapport met marktstudie en locatie opgesteld. De primaire flowstandaard zal in 2011 gestationeerd worden bij de LNG-peakshaverfaciliteit van Gasunie in Rotterdam. VSL werkt inmiddels intensief samen met TNO, Gasunie en partners zoals Shell en Vopak, aan de plannen voor een toekomstig LNG Test en Technology Centrum.

### **Comptabel meten in hoogspanningsnetten**

In de tweede helft van 2010 is onderzocht of met weinig extra inspanning het doel van het project uitgebreid kon worden naar operationaliteit van de opstelling tot 220 kV. Het blijkt dat grootte en gewicht van de stroom- en spanningstransformatoren te sterk toenemen en daarom wordt hier in principe van afgezien.

De drie EMRP Joint Research Projecten (JRPs), die extra financiering leveren aan het werk van dit Researchproject, zijn alle drie in september 2010 gestart. Het gaat om de "SmartGrids", "Power plants" en "HVDC" projecten.

Voor de vermogens/energiemeter is eind december 2010 een Radian RD-33 drie-fase vermogens/energiemeter besteld. Deze is speciaal ontworpen voor on-site metingen en heeft een nauwkeurigheid van 0,01 % wat ruim binnen de projecteis van beter dan 0,03 % ligt.

In het eerste kwartaal van 2011 zullen speciale CTs (stroomtransformatoren) en VTs (spanningstransformatoren) worden besteld. De nauwkeurigheid die door de leveranciers gegarandeerd wordt is 0,02 % zonder correctie van afwijkingen, ruim binnen de projecteis van beter dan 0,05 %.

In het kader van de haalbaarheidsstudie voor efficiënte on-site stroommetingen is er een inventarisatie gemaakt van de verschillende opties. Dit heeft geresulteerd in een aanpak gebaseerd op een "openable core CT" (stroomtransformator met klapkern) met als grote voordeel dat de referentiestroommeting kan worden uitgevoerd zonder dat het primaire stroomcircuit in het hoogspanningsnet onderbroken hoeft te worden. Twee bedrijven (HiTec, Nederland en Schneider, Frankrijk) hebben bereidheid getoond om mee te werken aan de realisatie van zo'n "openable core CT".

## SBO Basisbeheer en Beheerontwikkeling

### Chemie

Het standaardbeheer bij Chemie heeft tot doel het op peil houden van de nationale standaarden voor een reeks van toepassingen, waaronder aardgas, ethanol, uitlaatgas, en emissiemetingen. Het beheer is zonder bijzonderheden volgens plan uitgevoerd.

Belangrijke gehaalde doelstellingen in het ontwikkelingsprogramma betreffen de verbeteringen in de bereiding van mengsels propaan en isobutaan, die nu met 0,5% relatieve onzekerheid kunnen worden gecertificeerd in plaats van de gebruikelijke 1-1,5%.

Verder is een opstelling gerealiseerd voor capillaire dosering die aan de gestelde eisen lijkt te kunnen voldoen. In het programma van 2011 worden de testen en optimalisaties voortgezet en afgerond.

Voor het maken van gravimetrische vloeistofmengsels is een robot uitgekozen en besteld. Er is een 2-tal wijzigingen te melden. M.b.t. het project 'Automatisering' is het herschrijven van software voor een nieuwe datalogger uitgesteld tot 2011. M.b.t. het project 'Nieuwe opstelling capillaire dosering'. De nieuwe opstelling is wel gebouwd, maar uitgebreide testen worden uitgesteld tot 2011.

### Elektriciteit

#### DC en Laagfrequent

Basisbeheer van de DC en LF grootheden betreft met name de (primaire) opstellingen voor spanning en weerstand, impedantie, wisselspanning en -stroom (AV/DV c.q. AC/DC) en laagfrequent vermogen. De activiteiten omvatten het operationeel houden van de diverse meetopstellingen, cryogene opstellingen, oliebaden en meetbruggen, het kalibreren van (rand)apparatuur en het herleidbaar maken van de referentiestandaarden t.b.v. de Nederlandse industrie. Het basisbeheer is vrijwel volgens planning verlopen.

De meest prominente ontwikkelingen in de marktvaart naar DC elektrische metingen hebben samen met internationale ontwikkelingen geleid tot een programma voor beheerontwikkeling. De projecten over kleine stromen en vermogen tot 1 MHz zijn onderdeel van researchprojecten binnen het Europese iMERA+ programma, en het project over DC hoogspanning is onderdeel van een researchproject binnen het EMRP. De beoogde resultaten voor de beheerontwikkelingsprojecten zijn voor het overgrote deel gehaald. Het DC-stroomproject en AC-weerstandsproject verschuiven deels naar volgend jaar en een deel van het binair Josephson project is niet meer uitgevoerd.

#### Hoogfrequent

Het basisbeheer van hoogfrequent elektrische grootheden betreft met name de opstellingen voor RF&MW (radio-frequentie en microgolf) vermogens-, verzwakkings- en reflectiemeting en daarnaast de opstellingen voor elektromagnetische (EM) velden. Herleidbaarheid voor deze grootheden worden met name verkregen van buitenlandse zusterinstituten, zoals bijv. NPL. Verder worden regelmatig sensoren en reflectiestandaarden met elkaar vergeleken als interne controle. In 2010 is een inhaalslag gemaakt in de revisie van kwaliteitsinstructies. De beheermetingen zijn geconcentreerd op het gebied tot 18 GHz. Het beheer voor EM-velden is conform de planning uitgevoerd.

Op het gebied van elektromagnetische (EM) velden is in 2008 een driejarig Europees onderzoek gestart onder de naam EMF SAR (electromagnetic fields – specific absorption rate). Het project is geheel in lijn met eerder binnen VSL geplande ontwikkelingen voor realisatie van herleidbaarheid in blootstelling aan EM-velden. In 2010 is een literatuurstudie verricht naar stochastische modellen,

waarmee een voorspelling kan worden gedaan over het gedrag van sensoren in een multi-frequentie veld en bij pulsmodulatie. VSL heeft in dit project de responskarakteristiek gemeten van een representatieve probe wanneer deze wordt blootgesteld aan een multi-frequentie veld. Er is een TEM-cel gebruikt om de permittiviteit te meten van een SAR-vloeistof en een referentievloeistof. Er is een onzekerheidsanalyse uitgevoerd van deze metingen. De VSL-resultaten zijn vergeleken met die van NPL en er is goede overeenstemming tussen de gevonden resultaten. Het nieuwe algoritme voor de berekening van de permittiviteit uit de ruwe meetdata en de meetresultaten zijn gepresenteerd in twee publicaties. Eind 2010 is een nieuw ontwerp gemaakt voor een TEM-cel, waarmee het meetbereik van permittiviteitsmetingen nog verder uitgebreid wordt. De nieuwe TEM-cel is al gerealiseerd en eerste testmetingen zijn inmiddels uitgevoerd.

### **Ioniserende straling**

Vanwege beperkte personele capaciteit is in de eerste helft van 2010 het beheer hoofdzakelijk in november en december uitgevoerd. Als gevolg van storing op de Wolfraambuis zijn een aantal metingen op deze faciliteit niet uitgevoerd. Dit zal in 2011 worden opgepakt, zodra de storing is opgelost. De rest van de metingen zijn volgens het interne beheer plan afgerond.

Halverwege 2009 werd de film van type EBT plotseling vervangen door EBT II film. Dit bracht in het SBO 3D-dosimetrie project met zich mee dat de film opnieuw moest worden gekarakteriseerd. In de eerste helft van 2010 zijn de karakterisatiemetingen van de EBT II film afgerond. Daarnaast is gestart met metingen in een antropomorf fantoom dat eind 2009 is aangeschaft. Dit fantoom is gebruikt tijdens metingen in een vergelijking tussen STUK, PTB en ENEA bij het PTB. Hierbij zijn bij een klinische lineaire versneller de dosis verdeling van een aantal treatment plans gemeten met een aantal type detectoren. De verschillen tussen de detectoren kunnen hierbij vergeleken worden. Ook is in september 2010 een mailed comparison uitgevoerd voor radiochromic film dosimetrie met het STUK.

De in 2009 ontwikkelde calorimeter is in de eerste maanden van 2010 getest en goed bevonden en vervolgens gebruikt om het warmtetransportmodel te valideren. Vervolgens is een serie metingen gedaan om de dosis in water vast te stellen voor een  $^{192}\text{Ir}$  HDR bron. In juni zijn de metingen uitgevoerd voor de Putkamers die gebruikt in de vergelijking voor JRP 6 met het PTB, ENEA en het NPL. Verder is in de tweede helft van 2010 het warmtetransport model verder uitgebreid waarbij nu ook de begintemperatuur van de bron in mee wordt genomen. Hieruit blijkt dat de invloed van de begintemperatuur belangrijk is. Met een geschatte begintemperatuur kon het warmtetransport model gevalideerd worden met de watercalorimetrie metingen die in de eerste helft van 2010 zijn uitgevoerd. Ook is een systeem ontwikkeld waarmee de thermistoren in de cel direct kunnen worden gekalibreerd. Deze kalibratie is eind 2010 uitgevoerd. De voorlopige resultaten van dit project zijn gepresenteerd op het IAEA IDOS symposium in Wenen in november 2010.

### **Massa, Druk en Viscositeit**

Voor *massa* is het basisbeheer volgens planning uitgevoerd. De HK1000 is gereviseerd, opgenomen in de software en gevalideerd. De motoren van de AWD10g en AWD100g zijn naar buiten gebracht om convectieverschijnselen te reduceren. De temperatuurgradiënt is constant, echter nog steeds aan de hoge kant.

Voor *viscositeit* zijn de jaarlijkse cross-checks van de viscosimeters uitgevoerd evenals de kalibratie van hulpapparatuur. Naar aanleiding van tegenvallende resultaten bij de dichtheidsmeting van biodiesel (zie ook 2.3.5) en een informeel trilateraal tussen PTB, VSL en IPQ is een plan opgesteld om de correctie op de dichtheidsmeter te bepalen zoals PTB en NPL dit plegen te doen. Dit werk wordt in 2011 uitgevoerd.

Bij *drukmeting* is het basisbeheer uitgevoerd, maar i.v.m. het EMRP is het onderzoek naar het effect van olie in drukkbalansen tot nader order uitgesteld.

## Lengte

De basisfaciliteit Lengte omvat de deelgebieden nanometrologie, geometrie, eindmaten, optische frequentiestandaarden en dynamische lengtemetingen. Het basisbeheer en de beheerontwikkeling zijn erop gericht standaarden en opstellingen in kalibratiestatus en up-to-date te houden en ervoor te zorgen dat er wordt aangesloten bij de internationale metrologische ontwikkelingen en de vraag uit de markt.

Het basisbeheer is volgens de planning uitgevoerd. De interne kalibraties zijn op orde. Vooral de 1<sup>e</sup> helft van het jaar is er veel aandacht besteed aan het technisch inhoudelijk bijwerken van een groot aantal werkinstructies.

Beheerontwikkeling in 2010 omvat de deelprojecten: verbetering kogeldiameter meetinstrument, optische frequentie standaarden, afstandmeting met de frequentiekam met dispersieve interferometrie, streepmaatmeting, picodrift, surface-probe interacties in SPM, meetkop SPM, onderzoek naar een faciliteit voor laagdikte meting en automatisering.

- Het project *kogelmeetinstrument* is vrijwel afgerond. Het instrument is gevalideerd en haalt de verwachte onzekerheid.
- Van het project *optische frequentiestandaarden* zijn niet alle doelen gehaald. De elektronica is opgeschoond, maar door een niet goed functionerende temperatuurcontroller konden de nieuwe kristallen niet worden getest.
- Bij het project 'afstandmeting met de frequentiekam met *dispersieve interferometrie* is succesvol verlopen met afstandmetingen tot 50 m als proof of principle van deze methode en de realisatie van een opstelling, waarmee frequentiekamlijnen individueel kunnen worden waargenomen. Het project loopt door in 2011.
- De opstelling voor *streepmaatmeting* is in meer tijd dan voorzien gereed gekomen. Een nog op te lossen complicatie is dat het hoge trillingsniveau in de laboratoria waardoor langer moet worden gemeten om de beoogde onzekerheid te realiseren.
- De faciliteit voor het meten van *picodrift* is overgebracht naar VSL. Verdere ontwikkeling van de instrumentatie, met oog op lagere onzekerheid, en toepassing hiervan voor metingen aan voor gebruikers relevante artefacten zal vervolg vinden in het Research programma en tevens in een EMRP JRP in de periode 2011-2014.
- Het project *laagdikte* is volgens plan uitgevoerd. Er is een meetmethode gekozen op basis waarvan in 2011 gestart zal worden met de realisatie van een faciliteit.
- Het deelproject '*surface-probe interacties in SPM* loopt achter op schema. Er is een oplossing gevonden voor het monteren van de optieken, die in 2011 zal worden uitgevoerd.
- Het project *meetkop SPM* is afgerond. Er is een meetkop geselecteerd en aangeschaft die in 2011 met het verplaatsingsplatform zal worden geïntegreerd.

## Thermometrie

### *Basisbeheer:*

alle benodigde kalibraties van standaarden bij contactthermometrie en luchtvochtigheid zijn conform planning uitgevoerd. Er is meer tijd besteed aan basisbeheer Vocht, doordat er reparaties aan apparatuur, herkalibraties en hervalidaties uitgevoerd moesten worden. Ook zijn aanpassingen uitgevoerd in de software voor een beter begrip van de relatie tussen relatieve luchtvochtigheid en temperatuur van ter kalibratie aangeboden sensoren.

### *Beheerontwikkeling:*

#### *Lage Temperatuur Cryostaat:*

In het begin van 2010 is besloten dit project te temporiseren. Wel is de aanpassing van het prototype en een eerste test gerealiseerd. Het project wordt naar verwachting in 2011 afgerond.

#### *Temperatuur Versterker:*

De temperatuur-temperatuur relatie is bepaald en een validatierapport is opgesteld. In het lage temperatuurgebied wordt de meetonzekerheid geschat op 3 tot 4 mK wat geen significante verbetering ten opzichte van de bestaande methode betekent. In het hoge temperatuurgebied

wordt de meetonzekerheid op 5 mK geschat wat een factor 40 verbetering ten opzichte van de bestaande methode betekent.

#### *Fundamentele metrologie:*

Verder begrip van het gedrag van water tripel punt cellen bij verontreinigingconcentraties lager dan 1 ppm is verkregen. De resultaten zijn gepresenteerd tijdens de TEMPMEKO & ISHM 2011 conferentie.

#### *Hoge Druk Dauwpuntsgenerator met verschillende gassen:*

Dit project loopt grotendeels op schema. Metingen over het gehele temperatuur bereik laten goede resultaten zien. In het drukbereik zijn slechts gemeten uitgevoerd tot 7 bar t.g.v. de late levering van de chilled mirror hygrometer met speciale hoge-druk module. In tussentijd was een lage druk module geleverd (373 LX), waarmee de metingen zijn uitgevoerd als gerapporteerd. Inmiddels is eind december de hoge druk module geleverd. De resultaten tot nu toe zijn heel hoopgevend. De nieuwe HPDP generator functioneert veel beter dan verwacht in de singlepass mode, waardoor recirculatie niet nodig is.

### **Optica**

Het basisbeheerwerk is volgens plan verlopen.

Het geplande beheerontwikkelingswerk is goed verlopen. De twee nieuwe faciliteiten die binnen het programma worden gerealiseerd (3 meter integrerende bol faciliteit en faciliteit voor omgevingsinvloeden van LEDs) zijn gereed. Het project 'Spectraal opgeloste lichtstroommetingen' is met uitzondering van het schrijven van een artikel succesvol afgerond. In plaats daarvan zijn verscheidene stukjes geplaatst in populaire vakbladen, waarmee het doel alsnog is gerealiseerd, zij het langs een andere weg. Dit project is afgesloten.

### **Tijd- en Frequentiestandaarden**

De markt vraag op het gebied van Tijd en Frequentie omvat: tijdschaal (tijdstip, UTC), tijdsduur  $t$ , frequentie  $f$ . Hiervan afgeleid zijn periodetijd, stijg- en valtijd, delay tijd, frequentiestabiliteit en spectrale zuiverheid. De herleidbaarheid vindt meestal plaats door gemeenschappelijk te meten aan eenzelfde fenomeen: langegolf-zender, radiotijdsein of GPS-signalen. De meetresultaten van VSL worden door een abonnement op het Time Service Bulletin ter beschikking gesteld. Ook wordt 24 uur per dag automatisch tijdsinformatie via een NTP-server ter beschikking gesteld aan een breed publiek. De synchronisatieservice via een telefoonmodem (0900-nummer) is beëindigd per 31-12-2009. De NTP-server biedt hiervoor een goed alternatief.

Bij beheerontwikkeling is gewerkt aan een nieuw ontwerp voor de SatSim voor het TWSTFT-systeem. Het ontwerp is klaar en beschreven in een publicatie voor de EFTF conferentie in 2011.

### **Volumetrie**

In 2010 is een aantal successen geboekt. Belangrijk was het oplossen van een softwarefout bij de primaire standaarden voor Lage Gas Flow. De onzekerheid van de L(ow)F(low)i(installatie) is hierdoor significant verbeterd.

De hoge druk installatie 'TraSys' is verplaatst naar EuroLoop en intensief gebruikt voor eerste opwerking aldaar. De resultaten van die metingen zijn bevredigend. Verschillen met conventionele opwerkingen zijn namelijk minder dan 0.15% over de gehele flowrange.

De verhuizing van de Gas Olie Piston Prover vanuit Bergum naar EuroLoop bleek in 2010 nog niet opportuun. De realisatie van de fundering en het eerste deel van het werklokaal (GOPP) op terrein 'EuroLoop' zal daarom in 2011 verder opgepakt worden.

De onderdelen voor de nanoflowstandaard zijn gerealiseerd en deels samengebouwd. De tests met een ultrasone temperatuurmeter voor de bepaling van mixed cup temperatuur zijn afgerond en veel toepasbare kennis is uit dit (EMRP-gerelateerde) project voortgekomen.

Bij de vloeistofstandaarden is een robuuste skid met massameters ontwikkeld die gebruikt gaat worden voor het key comparison project CCM.FF-K2b. De skid zal ook voor disseminatie van referentiewaarden 'vloeistof hoeveelheid' gebruikt gaan worden.

### **Metrologische infrastructuur**

#### *Vergaderingen en vertegenwoordigingen*

Diverse internationale vergaderingen zijn bijgewoond, te weten Euramet General Assembly, Euramet IntMet (Interdisciplinary Metrology) meeting, directeurenoverleg bij BIPM, EMRP committee en EMRP subcommittee bijeenkomsten, Euramet Board of Directors meeting en de Fenelab Algemene Ledenvergadering.

#### *Werkplan en rapportages*

Rapportages en werkplannen zijn volgens afgesproken schema op tijd aangeleverd.

#### *Kwaliteitssysteem*

Het kwaliteitssysteem is op orde. Alle verbetermaatregelen n.a.v. de RvA-audit in februari 2010 zijn geaccepteerd. De accreditaties voor ISO/IEC 17025, ILAC G13 en ISO Guide 34 zijn gecontinueerd.

#### *Upgrading IKR*

De werkzaamheden zijn getemporiseerd. De datamigratie bij Temperatuur en het verbeteren van de databases wordt uitgesteld naar 2011. De vorderingen die gemaakt zijn, zijn in verhouding met het budget en liggen op schema.

#### *Voorbereidingen EMRP call 2010 (Environment en Industry)*

Het werkpakket 'Voorbereidingen EMRP call 2010 (Environment en Industry)' is toegevoegd aan het werkprogramma. Dit werkpakket is specifiek gericht op fase 2 van de call, namelijk het opstellen van Joint Research Projects (JRPs). Fase 1, het verzamelen van projectideeën (Potential Research Topics (PRTs)) was al in het eerste kwartaal van 2010 afgerond.

De uitgevoerde werkzaamheden betroffen het bezoeken van zgn. 'partnering meetings', het opstellen van JRPs en de interne coördinatie van de EMRP call binnen VSL. Tijdens de 'partnering meetings' zijn projectconsortia gevormd, zijn per JRP projectcoördinatoren gekozen, zijn, eveneens per JRP, in grote lijnen de doelen geformuleerd en de indicatieve budgetten per projectpartner opgesteld. In het daarop volgende stadium zijn de JRPs geschreven en ingediend. Begin december 2010 is de ranking van de projecten bekend gemaakt en bleek dat VSL succesvol is geweest. Zes van de tien projecten waar VSL in de Industry call bij betrokken is zijn gehonoreerd, evenals vier van de negen projecten waarin VSL partner was in de Environment call. Voor deze tien projecten in totaal heeft VSL een budget van 4,4 M€ binnengehaald (hiervan wordt 46% door de EU gefinancierd). Dit is precies wat vooraf als doel was gesteld. Vermeldenswaard is ten slotte dat VSL van één project de projectleiders is (Metrology for chemical pollutants in air) en dat dit project als beste beoordeeld is in de Environment Call.

## Key Comparisons

### Chemie

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren	
					Begr.	Real.
<b>CCQM-K46</b>	Ammoniak in stikstof	2005-2010	VSL	Eindrapport is gepubliceerd	16	25
CCQM-K51	Koolstof-monoxide	2005-2009	NMISA VSL	Eindrapport is gepubliceerd	8	2
CCQM-K53	Zuurstof	2007-2009	KRISS	Eindrapport is gepubliceerd	8	4
<b>CCQM-K54</b>	Hexaan in methaan	2006-2009	VSL	Eindrapport is gepubliceerd	8	6
CCQM-K65	Mercaptanen in methaan	2008-2010	VNIM	Eindrapport is gepubliceerd	16	6
CCQM-K66	Methaan (zuiverheid)	2008-2010	NMIJ	Draft B is ontvangen.	16	13
CCQM-K68	Lachgas	2009-2011	KRISS	Eindrapport is nog niet beschikbaar.	8	4
<b>CCQM-K71</b>	Stack gas	2008-2010	VSL	Eindrapport is gepubliceerd.	16	31
<b>CCQM-K74<sup>1</sup></b>	NO <sub>2</sub> in lucht	2009-2011	BIPM	Draft A is ontvangen <sup>2</sup>	16	34,5
CCQM-K76	SO <sub>2</sub> in N <sub>2</sub>	2010-2012	NIST	Metingen zijn verricht	80	39
<b>CCQM-K77</b>	Synthetic Refinery Gas	2010-2012	VSL	Mengsels zijn gemaakt	120	185

<sup>1</sup> Sommige deelnemers doen mee in de parallel lopende study CCQM-P110.

<sup>2</sup> De realisatie van dit project loopt achter ten opzichte van het in de offerte genoemde tijdschema.

BIPM-QM.K1	Ozon	2010-2011	BIPM	Deelname plaatsgevonden; de resultaten stellen tot tevredenheid	120	108
<b>EURAMET 937</b>	Stikstof (zuiverheidsanalyse)	2009-2011	VSL	Cilinders zijn nog niet terugontvangen	120	49
<b>EURAMET 1092</b>	Ethanol in N <sub>2</sub>	2009-2011	VSL	Draft B rapport is afgerond	24	22
<b>EURAMET 1113</b>	Automotive Emission Gases	2009-2011	VSL	Metingen zijn afgerond, draft A rapport is gereed	24	85

*Opmerking:* VSL is coördinator van de Key Comparisons die met **vet** gedrukte letters zijn aangegeven

## Elektriciteit

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren	
					Begr.	Real.
EURAMET.EM-S24	DC Kleine Stromen	2005-2009	PTB	Na overleg zijn nieuwe metingen uitgevoerd en gerapporteerd. Draft A rapport door PTB opgesteld en verstuurd naar support group (VSL en LNE). Voorlopig hebben alle labs wel een of meerdere $E_n$ waarden groter dan 1, dit ligt aan het gedrag van de reisstandaarden	30	40
EURAMET.EM-S26	Inductie 100 mH	2004-2010	VSL e.a.	Draft A rapport is afgerond	50	53,5
EURAMET.EM-K11	Laagspanning (mV) AC-DC transfer	2000-2011	SP	Draft B rapport is gecontroleerd. De bevindingen zijn gerapporteerd. Alle $E_n$ waarden van VSL zijn kleiner dan 1	20	12
EURAMET.EM-K5.1	LF Vermogen	2005-2011	UME	Een 1e versie van het Draft A rapport is gereviewed, commentaar besproken met coördinator. Alle $E_n$ waarden van VSL zijn kleiner dan 1	20	6
CCEM-K7	AC Voltage Ratio	2007-2011	NPL	Draft B rapport is nog niet ontvangen. Draft A versie 7 is ontvangen. Er zijn meningsverschillen over de data-analyse tussen de deelnemers.	10	2
EURAMET.EM-S29	Hoogspanning	2009-2011	LCOE	2 <sup>e</sup> draft A rapport: de coördinator is bezig met een nieuwe analyse van de resultaten.	20	5

				Hiervoor heeft VSL extra input geleverd. Alle $E_n$ waarden van VSL zijn kleiner dan 1		
EURAMET.EM-K12	ACDC Stroom	2010-2012	BEV	Meedenken over protocol: nog niets gebeurd	10	0
CCEM.RF-K4	RF-spanning tot 1 GHz	1998-2009	NIST (ipv VSL)	Beoordeling draft B rapport: het final report is afgerond. De resultaten zijn gepubliceerd en opgenomen in de KCDB. Alle resultaten van VSL zijn in overeenstemming met de KCRV's.	8	4
CCEM.RF-K5b	S-parameters tot 18 GHz (N-type)	2003-2010	NPL	Beoordeling draft B rapport: het final report is klaar en is opgenomen in de KCDB. Alle resultaten van VSL zijn in overeenstemming met de KCRV's.	8	3,5
EURAMET.EM.RF-S25 (was EURAMET 819)	Veldsterkte boven 1 GHz tot 2,5 GHz	2007-2011	CMi	Beoordeling draft A rapport is uitgevoerd. Opmerkingen zijn gerapporteerd	16	14
EURAMET.EM-S32	Weerstand 1 & 100 TΩ	2010-2012	METAS	Metingen uitgevoerd, aanpassingen aan opstelling gedaan, rapportage deels af	150	236
EURAMET.EM-S31	Capaciteit 10 pF en 100 pF	2010-2011	PTB	De metingen zijn uitgevoerd en de VSL rapportage is verstuurd naar de coördinator PTB	150	148,5
EURAMET.EM-S23	AC Voltage Ratio	2004-2010	INM	Afronding final report. De resultaten van beide deelnemers zijn in overeenstemming.	16	16
CCEM-RF.K24.F	Elektrische veldsterkte: 1 GHz tot 18 GHz, 10 V/m tot 100 V/m	2010-2012	NPL	Metingen uitgevoerd en deelrapportage gemaakt	100	131,5

## Ioniserende Straling

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren	
					Begr.	Real.
Euramet-project 738	Personal Dose Equivalent	2005-2009	PTB	Discussie, beoordeling draft B	30	9
CCRI(l)-K7	Reference Air Kerma Rate	2009-2010	BIPM	Uitwerking, metingen, rapportage, discussie & afwikkeling	140	148

## Massa en gerelateerde grootheden

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren	
					Begr.	Real.
Euramet.M.P-K8	Druk 20 kPa – 200 kPa	2008-2010	METAS	Metingen uitgevoerd en rapportage verzonden	75	77
CCM.V.K2.1	Viscositeit 20 °C en 100 °C (VSL pilot)	2008-2009	VSL	Eindrapport gepubliceerd	25	24

## Lengte

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren	
					Begr.	Real.
EURAMET.L-K7	Streepmaten	2006-2010	MIRS	In september 2010 is de draft B rapportage ontvangen. Alle afwijkingen worden afgedekt door de huidige CMC	25	7
EURAMET.L-K4	Diameter standaarden (ring, pen, kogel)	2005-2010	IMGC OMH	In afwachting van de afronding van de correctieve acties en het executive report is nog geen management rapport opgesteld	25	1
EURAMET.L-K5	1D-CMM artefacts (stappeneindmaat)	2005-2010	CEM	Eind december heeft de rapportage v.h. pilot lab nog steeds de vertrouwelijke status Draft A	25	0,5
EURAMET.L-Sx	Kogeldiameter	2009-2011	VSL	Organisatie vergelijk is getemporeerd tot het nieuwe kogelmeetinstrument operationeel is.	10	5
EURAMET 672	Vlakheid	2010-2011	PTB	Metingen zijn uitgevoerd en gerapporteerd.	100	88,5
EURAMET.L-K3a	Hoekmeting	2009-2012	PTB	Metingen zijn uitgevoerd en gerapporteerd. In december 2010 is van het pilot lab het verzoek ontvangen om de gerapporteerde data te checken op fouten; er zijn resultaten met een EN waarde groter dan 1.	135	152,5

Nano6	Lijnbreedte	2010-2012	NIST (USA)	In juni 2010 is het protocol beschikbaar gekomen en de comparison van start gegaan	25	7
Euramet 1088	Microparts	2010-2011	METAS	Metingen zijn uitgevoerd: 1D: - kogels 1 en 4 mm - ring 3 mm, 2D: - kogelplaatje, 3D: Tetrahedron. Data zijn verwerkt en geanalyseerd. De onzekerheid is nog niet bepaald.	189	273,5

## Thermometrie

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren	
					Begr.	Real.
CCT-K6 (link met EURAMET.T-K6)	Dauwpunts hygrometers (-50 °C tot +20 °C)	2006- 2010	NPL	Beoordeling draft A	20	0
EURAMET.T-K6 vervolg	Dauwpunts hygrometers (+20 °C tot +85 °C)	2005- 2010	PTB	VSL is co-pilot, VSL metingen afgerond. Beoordeling eindrapport	20	0
CCT-Kx	Vaste punten argon en zink	2010- 2011	NIST	Discussie protocol	20	0
EURAMET.T-K1	ITS-90 Realisatie van 2,4 K tot 24,5561 K	2008- 2009	PTB	Opstellen van rapport	20	0
EURAMET.T-K7	Supplementary comparison voor watertripelpunt		VSL	Nieuw vergelijk. VSL metingen zijn afgerond	80	85

## Optica

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren	
					Begr.	Real.
EURAMET.CCPr.K1a	Spectrale irradiantie Golflengte 250 – 2.500 nm	2008-2011	NPL	Uitvoeren van 1 <sup>e</sup> meetsessie + bijbehorende rapportage en transport van lampen naar pilot voor meetsessie daar	120	137,5
EURAMET.PR.K4	Lichtstroom Golflengte 380 – 780 nm	2009-2011	PTB	Door meetproblemen bij de pilot, zijn de lampen nog niet terug. En is de geplande 2 <sup>e</sup> meetsessie nog niet uitgevoerd. Om drift in de tijd uit te kunnen sluiten is er een meetsessie uitgevoerd om de stabiliteit van de meetfaciliteit te waarborgen	80	99,5
EURAMET.PR.K3	Lichtsterkte Golflengte 380 – 780 nm	2008-2011	PTB	Beoordeling draft A van pilot	20	17
EURAMET.PR.K2a	Spectrale responsiviteit Golflengte 900 – 1600 nm	2010 – 2012	VSL	Coördinatie, schrijven van protocol, starten 1 <sup>e</sup> ronde metingen	180	175,5

## Tijd & Frequentie

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren	
					Begr.	Real.
CCTF-K2001.UTC	Continu UTC vergelijk	continu	BIPM	De metingen zijn dagelijks uitgevoerd. Elke maand is de rapportage tijdig naar BIPM verstuurd.	70	62
GPS delay (geen nummer, wordt niet opgenomen in KCDB)	GPS ontvanger looptijd verificatie	2010-2011	Nog niet bekend	Er is overleg met SMD (België) en PTB (Duitsland) om een trilateraal vergelijk te houden. Er is nog input nodig van BIPM voor het protocol en de wijze van rapportage.	30	0

## Volumetrie

Nummer	Omschrijving	Loop-tijd	Coörd.	Status	Uren	
					Begr.	Real.
CCM.FF-K2 b	Liquids other than water tot 400 m <sup>3</sup> /h	2010-2013	VSL	Eerste resultaten van metingen aan transferset, draft protocol gepresenteerd (Seoul)	200	184,5
CCM.FF-K5 c	Herhaling van CCM K 5 a: HD aardgasmeting tot 1000 m <sup>3</sup> /h	2010-2013	PTB; VSL assisting lab	Twee meetings met partner PTB, testen transferset, uitwerken resultaten en evaluatie	140	147