

Metrologie in beweging

Borging van het publieke belang

European Metrology Networks

Stabiliteit

Strategisch Advies
2019-2023

Onderwijs en publiciteit

VSL faciliteiten

Maatschappelijke Thema's

Raad van Deskundigen
voor de nationale meetstandaarden

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	2
Infographic	3
Deel A: Management overzicht en adviezen op hoofdlijnen.....	4
A.1 Overzicht van de inhoud & inleiding	4
A.2 Beschrijving van de interactie tussen maatschappelijke trends en de metrologie	4
A.3 De rol van Nederland in Europees/Internationaal metrologieverband	10
A.4 Human Capital	12
A.5 Adviezen op hoofdlijnen	12
Deel B: Inhoudelijke beschouwing en adviezen per (metrologisch) werkgebied	15
B.1 Chemie	15
B.2 Elektriciteit en Magnetisme.....	17
B.3 Tijd en Frequentie.....	19
B.4 Ioniserende staling.....	21
B.5 Massa, Druk en Viscositeit (MDV)	23
B.6 Lengte	25
B.7 Temperatuur en Luchtvochtigheid	27
B.8 Optica.....	28
B.9 Volumetrie	30
APPENDIX I: Beschouwing en realisatie adviezen 2013-2016	34
1.1 Terugblik op het huidige strategisch advies 2013-2016	34
1.2 Welke activiteiten kunnen in lijn met het advies 2013-2016 worden gecontinueerd en overgenomen worden in het advies 2019-2023.....	40
APPENDIX II: Overzicht van afkortingen	44

Raad van Deskundigen voor de nationale meetstandaarden

Nu het onderzoeksprogramma Horizon 2020, met EMPIR als subsidie-instrument voor metrologie, op zijn einde loopt, tekent zich een nieuwe benadering vanuit de EU af met European Metrology Networks. Een EMN heeft als doel internationale samenwerking te bevorderen en continuïteit te verwezenlijken, en moet daarmee een netwerk gaan vormen voor de metrologische aspecten van een maatschappelijk thema. Voor 2 van de potentieel 12 EMN's (Energy Gases en Electricity Networks) heeft Nederland, dankzij haar expertise, het voorzitterschap weten te verwerven. Aangezien binnen een EMN meerdere disciplines een rol spelen, adviseert de Raad dat Nederland tenminste in de werkvelden Chemie, Elektriciteit, Optica en Volumetrie, blijft investeren en, daar waar noodzakelijk, haar investering uitbreidt om haar toppositie vast te houden.

In de metrologiewet wordt aangestipt onder Hoofdstuk 2, artikel 3, lid 2 dat de aangewezen metrologie-instelling aangaande organisatie, personeel en materieel moet zijn ingericht om de ontwikkeling en beheer van de meetstandaarden onafhankelijk te kunnen uitvoeren. VSL, die deze taak in opdracht van EZK verricht, is momenteel onderdeel van een private onderneming, First Dutch Innovations. Hiermee komt potentieel de onafhankelijkheid in het geding. De Raad adviseert EZK te zoeken naar een oplossing die de onafhankelijkheid waarborgt en biedt daarbij haar hulp en expertise aan.

Nederland heeft belang bij een stabiel metrologiebeheer middels een stabiel metrologisch instituut. Stabieleit is vereist in alle pijlers van de organisatie, dit betreft financiën, personeel en faciliteiten. De afgelopen periode is bij VSL, door regelmatige wisselingen in management, personeelsverloop en onzekere financiële basis, geen sprake geweest van een stabiele organisatie. De Raad adviseert maatregelen te nemen om de stabiliteit bij VSL in alle pijlers te handhaven om daarmee behoud van expertise (werknemers) en continuïteit in het metrologiebeleid te waarborgen.

European Metrology Networks

Borging van het publieke belang

Stabieleit

Energietransitie

Nederland staat voor de opgave haar energievoorziening te verduurzamen. Bij de uitvoering van deze energietransitie komen ook nieuwe uitdagingen op het gebied van de metrologie aan bod. Denk hierbij bijvoorbeeld aan meting van de samenstelling en hoeveelheid van energie-dragende gassen zoals waterstof en biogas, tijdens gebruik, transport en opslag, en het correct meten van energiestromen in het elektriciteitsnetwerk.

Klimaatverandering

Klimaatverandering is een van de drijvende krachten achter thema's zoals de energietransitie. Daarnaast krijgt luchtkwaliteit steeds meer aandacht. Hierbij komen onder andere de volgende metrologische uitdagingen naar voren: het monitoren van temperatuur, gassamenstelling van de atmosfeer, de zeespiegelstijging en het meten van schadelijke gasstromen en emissies.

Digitalisering

De digitalisatie van de maatschappij neemt exponentieel toe in vele sectoren. Metrologie speelt hierin een belangrijke rol, niet alleen bij de ontwikkeling van smart grids, maar ook bij time stamping in digitaal betalingsverkeer, satellietcommunicatie en cyber security.

Gezondheidszorg

Verantwoorde medische toepassingen kunnen niet zonder een gedegen metrologische basis. Verbetering van diagnose en behandeling met ioniserende straling vereist betrouwbare kennis van de 3D verdeling van de geabsorbeerde dosis onder uitdagende omstandigheden. In-vivo studies met geavanceerde medicijnen kunnen niet zonder een goed beeld van lokale weefseleigenschappen zoals celfragmentatie en flow-eigenschappen.

Onderwijs en publiciteit

Maatschappelijke Thema's

VSL-faciliteiten

Organisaties die structureel samenwerken met onderwijsinstellingen op WO en HBO niveau, vergroten hun zichtbaarheid voor, en aanwas van, nieuwe medewerkers. Daarnaast hebben ze de mogelijkheid projectvoorstellen in te dienen bij onderzoeksfinanciers zoals b.v. NWO. VSL heeft ervaring met medewerkers die een dergelijke samenwerking uitvoeren in de vorm van een deeltijdaanstelling. De Raad adviseert om deze samenwerkingen uit te breiden. In de gewenste situatie heeft VSL tenminste een samenwerking in de werkvelden Chemie, Elektriciteit, Optica en Volumetrie.

Het maatschappelijke landschap in Europa is sterk in beweging. Nederland speelt daar via het topsectorenbeleid goed op in. De individuele thema's binnen de topsectoren hebben vrijwel altijd een koppeling naar metrologie. Metrologie heeft derhalve een grote impact op alle topsectoren. De Raad adviseert om een proactieve houding te hanteren ten opzichte van de metrologische aspecten die voortvloeien uit maatschappelijke uitdagingen. De metrologische kennis en expertise die Nederland nu in huis heeft is daarvoor het fundament, waarop verder uitgebouwd moet worden.

De kerntaak van VSL is het zorgdragen voor het standaardbeheer, -onderzoek en -ontwikkeling op het gebied van metrologie. Bij private partijen zijn installaties beschikbaar waarmee standaardbeheer mogelijk kan worden uitgevoerd. VSL dient zich bezig te houden met de kwalificatie en marktontsluiting van deze installaties. Tevens adviseert de Raad het VSL om zich te richten op de exploitatie van die installaties die niet in de markt beschikbaar zijn.

Deel A: Management overzicht en adviezen op hoofdlijnen

In navolging van het strategisch advies 2013-2016 is de Raad van Deskundigen (RvD) gevraagd een strategisch advies voor 2019-2023 op te stellen. Op basis van het strategisch advies zal het ministerie van Economische Zaken en Klimaat haar opdracht voor het nationale standaarden beheer en strategisch standaarden onderzoek naar de betrokken partij(en) opstellen en uitgeven.

In de vorige versie van het strategisch advies werd gedetailleerd ingegaan op de technische inhoud en de taakstelling van het standaarden beheer en ontwikkeling. In deze versie betreft de vraag van EZK meer de uitvoering en de ontwikkeling van de metrologie in Europees verband.

Concreet betekent dit voor het huidige strategisch advies dat voortgebouwd kan worden op de technische inhoud van het voorgaande strategisch advies. Dat dit wordt aangevuld, waar nodig, met de huidige en in de toekomst verwachte ontwikkelingen, maar dat vooral ook wordt ingegaan op de structuur van het beheer en de ontwikkeling van de standaarden vanuit de vraag van het (Nederlandse) bedrijfsleven.

A.1 Overzicht van de inhoud & inleiding

Voor u ligt het Strategisch Advies 2019-2023 dat tot stand is gekomen met medewerking van de leden van de RvD met input vanuit het bedrijfsleven, brancheorganisaties en de universitaire sector. In dit huidige Strategische Advies wordt een verbinding gemaakt met het vorige Strategisch Advies van 2013-2016 waaruit geactualiseerde adviezen op detailniveau voor de komende periode volgen. Dit heeft geleid tot een gedetailleerd, maar ook lijvig document. De RvD zag het risico dat door de vele gedetailleerde adviezen en de hierdoor veroorzaakte omvang van het document de hoofdlijn uit het zicht zou kunnen raken. Daarom is het advies opgedeeld in twee delen:

- In het eerste gedeelte zijn de algemene beschouwing en de adviezen opgenomen. De ontwikkelingen op (Europees) metrologisch gebied en de daaruit voortvloeiende adviezen van de RvD voor de te volgen strategie worden beschreven.
- In het tweede gedeelte wordt de realisatie van de adviezen van het Strategische Advies 2013-2016 geëvalueerd. Vervolgens wordt op basis daarvan en op grond van de huidige ontwikkeling en behoefte, het nieuwe gedetailleerde advies geformuleerd.

Voor de opzet en discussie omtrent de te voeren strategie is bestudering van het eerste deel toereikend. Voor uitvoering en implementatie van de strategie, bijvoorbeeld voor het opstellen van het VSL meerjarenplan, is het tweede deel belangrijk.

A.2 Beschrijving van de interactie tussen maatschappelijke trends en de metrologie

Een aantal trends in de markt hebben een andere toekomstige behoefte aan metrologische infrastructuur tot gevolg, of vereisen aanpassing van specifieke eisen aan standaarden wat betreft toepassingsgebied, onzekerheidsclaim of werkveld. Soms zijn nieuwe standaarden gewenst om aan de toekomstige vraag te kunnen beantwoorden. In dit hoofdstuk geven we een overzicht van de belangrijkste trends die invloed hebben op de metrologische infrastructuur en beschrijven we een aantal specifieke ontwikkelingen die gevolg hebben voor verschillende werkvelden. In tabel 1 zijn de belangrijkste trends en hun impact samengevat.

Tabel 1:Trends en de impact op metrologie en benodigde infrastructuur.

Trends die impact hebben op metrologie	Thema's	Metrologische impact	Behoefte aan metrologie infrastructuur
<i>Energietransitie</i>	Waterstof toepassingen (mobiliteit, gebouwde omgeving industrie)	Energiestromen meten, zuiverheid bepalen	LNG, (L)H2, Renewable gas, compositie
	Smart grids	Elektriciteit stabiliteit grid / smart grid	Elektriciteit, Tijd en frequentie
	Conversie en opslag	Opslag in batterijen of in gas vorm	Measurement of energie storage
<i>Klimaatverandering</i>	Strenger beleid op emissie metingen (GHG, VOC, PM, Nox Sox)	Gas samenstelling	Zuiverheid, samenstelling, energie inhoud
	Kwantitatieve monitoring van klimaat verandering	Nauwkeurigheid zee en lucht temperatuur, concentratie GHG	Concentratie, nauwkeurigheid
<i>Digitisation</i>	Internet of Things / SG / Gedistribueerde systemen	Hogere frequenties worden relevant	HF kalibratie
	Blockchain / Digital banking	Toenemend belang tijd en frequenties	Nauwkeurige tijdsbepaling
	Artificial Intelligence, Deep learning	Meer software in data acquisitive naast hardware sensing, diagnostics software	Software validatie, metrologie van informatica
<i>Inline real time metrologie en dynamische metingen</i>	Behoefte om op locatie te kunnen kalibreren onder realistische condities	Kalibratie op locatie / werkvloer	Dynamische meting van viscositeit, gas samenstelling, druk meting, lengte, load loss elektrisch (kalibratie faciliteiten)
<i>Treatment planning voor nucleaire geneeskunde Voedselveiligheid</i>	Strenger beleid toepassing nuclidetherapie	Dosisverdeling in de patiënt.	Nauwkeurige bepaling stralingsniveaus voor specifieke isotopen.
	Gevaarlijke stoffen in voedsel	Concentratie metingen	Lage concentratie metingen van gevaarlijke stoffen in voedsel (kwik, chloor etc.)

In de beleidsprioriteiten van de EZK Rijksbegroting¹ staat: "Ook voor de komende periode wordt onverminderd ingezet op een structurele versterking van de economie" en: "De concurrentiekracht van Nederland heeft zich de afgelopen jaren goed ontwikkeld, mede door het succes op het gebied van innovatie". Volgens de Global Competitiveness Index 2016/2017 van het World Economic Forum is Nederland 4e wereldwijd en 1e van de EU. Op de Global Innovation Index is Nederland opgeklimmen naar de 3e plaats. Echter, deze successen zijn behaald omdat gebouwd kon worden op een stevig fundament dat in de voorbije decennia is gelegd. Om ook in de toekomst een vergelijkbare positie te behouden moet verder geïnvesteerd worden in dat fundament.

De maatschappelijke behoefte aan realisatie van de energietransitie, reductie van uitstoot van CO₂ en een schonere en betere mobiliteit, zijn in overeenstemming met de Kennis en Innovatie Agenda (KIA) 2018 – 2021² van de topsectoren, waarbij, in lijn met de motie Verhoeven-Vos³, de focus wordt gelegd op maatschappelijke uitdagingen. VSL is een onlosmakelijke en noodzakelijke schakel in de ontwikkeling van sleuteltechnologieën. De topsectoren hebben een KIA opgesteld waarin maatschappelijke uitdagingen en sleuteltechnologieën zijn vastgesteld. In deze agenda is de verbinding gelegd tussen de topsectoren, departementen, de Nationale Wetenschapsagenda en Horizon 2020. Op het gebied van energie en klimaat (met name CO₂) wordt aangegeven: "Nederland

¹ Tweede Kamer, vergaderjaar 2017–2018, 34 775 XIII, nr. 2

² Kennis en Innovatie Agenda 2018-2021

³ TK, 34 550-XIII, nr. 38

is internationaal toonaangevend op energie onderzoeksgebied.” De KIA zet in op de volgende prioriteiten:

- **Kracht en licht:** grootschalige productie van duurzame energie via offshore wind, zon-PV, energieopslag en -conversie, interconnectie, groot- en kleinschalige smart grids, (artificiële) fotosynthese voor energie, digitalisering, systeemintegratie, synergie met andere opwekkers en ruimtegebruikers, in het bijzonder op zee, elektriciteits- en flexibiliteitsmarkten, en de inpassing van elektrische voertuigen.
- **Hoge temperatuur en warmte:** proces-efficiency (drogen, scheiden) en procesintensificatie, CCUS (afvang, opslag en hergebruik van CO₂), elektrochemische processen en elektrische warmtevoorziening, (warmtepompen), warmte/koudeopslag, circulariteit en industriële symbiose, bioraffinage, bioplastics, biomassaconversie en (ultra)diepe geothermie.
- **Lage temperatuur en warmte:** zonnewarmte, (ondiepe) geothermie, (hybride) warmtepompen, warmtekoude-opslag, lage temperatuur warmtenetten, isolatiematerialen, (artificiële) fotosynthese voor energie, groen gas via vergisting.
- **Mobiliteit:** elektrisch vervoer, brandstoffen uit duurzame elektriciteit), (bio-)LNG, waterstof, vloeibare biobrandstoffen.
- **Natuur en voedsel:** mestvergisting, WKO en warmte uit afvalwater.

In de ontwikkeling, realisatie en toepassing van al deze sleutel technologieën speelt metrologie een belangrijke rol en is VSL een onmisbare schakel.

Tabel 2: Overzicht van sleutelgebieden en maatschappelijke uitdagingen die in de KIA zijn vastgesteld door NWO.

		Topsectoren								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Agri & Food	Chemie	Creatieve Industrie	Energie	High Tech Systemen en Materialen (incl. ICT)	Logistiek	Life Science & Health	Tuinbouw & Uitgangsmaterialen	Water & Maritiem
Maatschappelijke uitdaging										
1	Energie en CO ₂	X	X	X	X	X	X		X	X
2	Landbouw en voeding	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Gezondheid en zorg	X	X	X		X	X	X	X	
4	Klimaat en water				X	X	X		X	X
5	Circulaire economie	X	X	X	X	X	X		X	X
6	Mobiliteit en Transport	X	X	X	X	X	X		X	X
7	Veilige samenleving			X		X	X			X
8	Inclusieve en innovatieve samenleving	X		X	X	X	X	X	X	X
Sleuteltechnologie										
1	Quantum/nanotechnologie					X				
2	Geavanceerde materialen	X	X		X	X		X	X	X
3	Geavanceerde fabricagesystemen- en processen	X	X		X	X			X	
4	Biotechnologie	X	X			X		X	X	X
5	Fotonica					X				
6	Micro- en nano-elektronica		X		X	X				
7	ICT	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	Ruimtevaartonderzoek	X			X	X	X	X	X	X
9	Meet- en detectietechnologie	X	X		X	X	X	X	X	X
10	Elektronische conversie en materialen		X		X	X			X	X

VSL is onlosmakelijk verbonden met innovatie, industrie en handel. Om de ambities verwoord in de KIA nu en in de toekomst te kunnen verwezenlijken, is een goed functionerend VSL onontbeerlijk. Voor marktpartijen is het heel belangrijk dat ze voor al hun behoeften op het gebied van kalibratie en metrologie terecht te kunnen bij één instituut en niet voor diverse activiteiten op meerdere plaatsen moeten winkelen.

A.2.1 Energietransitie

Nederland staat voor een grote transitie in haar energie voorziening. Waar we nu nog grotendeels afhankelijk zijn van fossiele brandstoffen voor de stroomvoorziening (kolen en gas), mobiliteit (olie) en chemie (olie en gas), staal (kolen en gas) en verwarming (gas), zal in de toekomst het energiesysteem gebaseerd moeten zijn op klimaat neutrale brandstoffen. Voorbeelden hiervan zijn elektriciteit gebaseerd op duurzame bronnen als zon en wind, moleculen zonder koolstof zoals waterstof of ammonia, en groene warmte zoals van geothermie of biomassa. Het energiesysteem zal meer dan ooit een integratie van elektriciteit, moleculen en warmte nodig hebben om de vereiste stabiliteit en leveringszekerheid te kunnen blijven garanderen. Er komen nieuwe energiedragers zoals waterstof en synthetische brandstoffen voor scheepvaart en luchtvaart. In de transitiefase naar een volledig duurzaam energiesysteem is er een rol voor, bijvoorbeeld, LNG als relatief schone brandstof voor transport en voor biomassa als bron voor warmte en elektriciteit. Daarnaast is LNG een grondstof voor de chemie en blauwe waterstof, geproduceerd uit aardgas maar zonder CO₂ footprint. Al deze veranderingen hebben ook een invloed op de behoefte aan metrologische standaarden, met name op het gebied van volumetrie, chemie en elektriciteit.

De energietransitie vereist de ontwikkeling van standaarden voor nieuwe energiestromen (e.g., biogas, waterstof, CO₂-neutrale brandstoffen) en verandering van bestaande stromen door import (Russisch en Noors gas, LNG) of alternatieve vormen van productie (biogas en groen gas, synthetisch gas), waardoor de samenstelling van het gas kan gaan veranderen in het gasnet. Met name bepaling van calorische waarde, methaan getal en onzuiverheden worden belangrijker voor grootschalige gas gebruikers. Veel van deze stromen zullen ter plaatse moeten worden gemeten (in-situ en online).

Door inpassing van steeds meer elektriciteitsbronnen waarvan de productie afhankelijk is van weersomstandigheden (zon, wind), komt er meer behoefte aan sturing van de vraag naar energie, opslag van energie (korte termijn en seizoensopslag), energie conversie (power to gas, power to heat, power to liquids) en systeemintegratie. ICT wordt meer toegepast in het energiesysteem om de netten "slim" te maken (smart grids). De netstabiliteit en het garanderen van de leveringszekerheid worden steeds belangrijker uitdagingen bij het succesvol introduceren van meer duurzame energie.

De genoemde trends (elektrificatie, systeemintegratie, toepassingen van waterstof, CO₂-neutrale brandstoffen en chemicaliën, biomassa) sluiten goed aan bij de expertise van VSL en daarom kan VSL een sleutelpositie op het gebied van energietransitie behouden en verder uitbouwen. Dit betreft met name de werkvelden Volumetrie, Chemie en Elektriciteit.

A.2.2 Klimaatverandering

Klimaatverandering is de belangrijkste motor achter de energietransitie naar een fossielvrije economie. Wereldwijd is de gemiddelde temperatuur in de afgelopen eeuw gestegen, de hoeveelheid en de intensiteit van de neerslag zijn toegenomen en zeer warme dagen komen vaker voor. De effecten zijn ook waarneembaar in Nederland. De wateroverlast is toegenomen en de kwaliteit van het oppervlaktewater neemt af (onder andere door hogere gemiddelde watertemperatuur en algengroei) en de biodiversiteit vermindert⁴. Volgens Deltares zijn er signalen dat de zeespiegel sneller

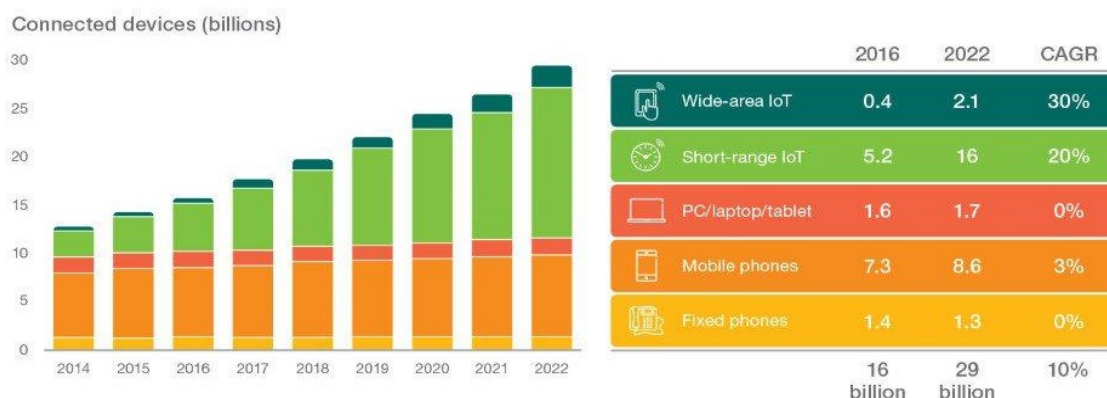
⁴ PBL (2012). Effecten van klimaatverandering in Nederland: 2012. Beleidsstudies

stijgt dan tot nu toe in de deltasenario's is aangenomen⁵. Als de opwarming van de aarde beperkt blijft tot maximaal 2 graden, zoals afgesproken in het Akkoord van Parijs, kan de zeespiegel in Nederland in 2100 met 1 tot 2 meter zijn gestegen.

Om de temperatuurstijging tot maximaal 2°C te beperken, zet het kabinet in op het realiseren van de afspraken van het Akkoord van Parijs. Om passend mitigatie- en aanpassingsbeleid te implementeren is het noodzakelijk om apparatuur, specifieke kalibratietechnieken en methoden te ontwikkelen om enerzijds de trends voor emissie en verwijdering van broeikasgassen te kunnen monitoren (hoeveelheid, composities) en anderzijds veranderingen in het weer en klimaat (temperatuur, windsnelheid, relatieve vochtigheid, regen, zeespiegel) te kunnen voorspellen. De behoefte aan verbetering van meteo-klimatologische metingen was al erkend in 2010 door NMI's en EURAMET⁶ en de noodzaak om hieraan verder te werken is met tijd alleen maar toegenomen. Hoe beter de beschikbare informatie, hoe beter het klimaat kan worden begrepen en hoe nauwkeuriger de toekomstige omstandigheden kunnen worden beoordeeld, op lokaal, regionaal, nationaal en mondiaal niveau. Uitdagingen voor metrologie gerelateerd aan klimaatverandering zijn nauwkeuriger in-situ monitoren van emissies (Broeikasgassen zoals CO₂, CH₄, N₂O), luchtkwaliteit, temperatuur (in zee en in de lucht), meteorologische condities. VSL heeft hier door het uitvoeren van een aantal EMPIR projecten in het verleden een sterke positie verworven en zou deze verder moeten uitbreiden. Met name de werkvelden Chemie, Temperatuur en Luchtvochtigheid, Optica en Volumetrie zijn hiervoor relevant.

A.2.3 Digitalisering

Naast de maatschappelijke trends "energietransitie" en "klimaatverandering" zijn er diverse technologische trends. Een ervan is de ontwikkeling rondom 5G (en 6G) en Internet of Things (IoT). De groeiende datastromen vertalen zich in de wens om hogere frequenties met complexe elektromagnetische velden te gebruiken, zowel ruimtelijk als wat betreft modulatie en codering. Nederland heeft hier een naam hoog te houden op technologisch gebied. Zo is Bluetooth uitgevonden door Jaap Haartsen, en ook Wifi/WLAN is een Nederlandse uitvinding⁷. Ericsson voorspelt dat er in 2022 1.5 miljard draadloze apparaten in gebruik zullen zijn⁸, zie Figuur 1. De meeste van deze apparaten zullen werken met veel hogere frequenties dan nu gebruikelijk is.



Figuur 1: Wereldwijd aantal verbonden apparaten, voorspelling van Ericsson⁸.

⁵ <https://deltaprogramma2019.deltacommissaris.nl>

⁶ Merlone A., Bellagarda S., et al (2014). Metrology for meteorology and climate. Geophysical research abstracts vol 16 EGU2014-6423

⁷ <https://dewerelddraaitdoor.bnnvara.nl/nieuws/wereldberoemde-nederlandse-uitvindingen>

⁸ <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/internet-of-things-forecast>

Kijkend naar technologische trends zijn er diverse ontwikkelingen die een betrouwbaar tijdsvermelding nodig hebben. Een aantal voorbeelden hiervan zijn:

- Internet of Things (IoT): De tijdsvermelding van signalen is van belang om de uniciteit van data te garanderen en te voorkomen dat de datastroom tussentijds afgeluisterd of bewerkt wordt. Het IoT zorgt voor steeds grotere datastromen in de telecomwereld. Om deze te kunnen verwerken wordt tijdsynchronisatie in telecomnetwerken steeds kritischer. De koppeling van de synchronisatie aan UTC (Coördinated Universal Time) wordt daardoor ook belangrijk.
- Energietransitie: De energietransitie zorgt voor meer kleine leveranciers op de elektrische energiemarkt. Dat maakt het lastiger om vraag en aanbod in evenwicht te houden, mede door de beperkte regelbaarheid van nieuwe opwekkers als zonnepanelen en windturbines. Daarom wordt het meten van de stabiliteit van het elektriciteitsnetwerk steeds belangrijker. Voor deze metingen is tijdsynchronisatie van metingen in het netwerk belangrijk.
- Blockchain technologie: Ook hier spelen tijdsvermeldingen, net als bij de reguliere financiële diensten, een belangrijke rol. Verder onderzoek zal moeten uitwijzen wat het belang is van een betrouwbare tijdstempel en of verhoging van de betrouwbaarheid in deze sector toegevoegde waarde kan hebben.
- Verificatie op locatie van de radioverbindingen, bijvoorbeeld ter certificering. Dit zou mogelijk met een, hiervoor geschikte, cesium klok kunnen.

In het algemeen kan dus worden gesteld dat de digitalisering (randvoorwaarden gerelateerd aan sneller internet, snellere (veilige) communicatie en veilige financiële transacties) een belangrijke drijfveer is voor de ontwikkeling en beheer van tijd en frequentiestandaarden. Met name werkgebieden Tijd en Frequentie, Elektriciteit en Optica zijn belangrijke expertisegebieden voor deze ontwikkelingen.

A.2.4 In-line metrologie en dynamische metingen

Bij de ontwikkeling van smart grids is er een grote toename van lokaal geplaatste sensoren te verwachten, waarop snel moet worden gereageerd door bijvoorbeeld belasting of opwekkers bij of af te schakelen. De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van deze systemen is mede afhankelijk van de wijze waarop de sensoren lokaal worden geplaatst, wat real-time kalibratie on-site noodzakelijk maakt.

In het energiesysteem van de toekomst zullen gasstromen van verschillende samenstelling en bronnen tot meer variatie van gassamenstelling leiden (import gas, biogas, CO₂-neutrale brandstoffen, waterstof, LNG). Voor de eindgebruiker is online bepaling van gassamenstelling, calorische waarde, Wobbe index en methaangetal kritisch om de processen online aan te sturen en de efficiëntie en emissies te optimaliseren. Slimme gasnetten zullen daarom in de toekomst meer in-line sensoren voor samenstelling, volume en onzuiverheden bevatten. Online kalibratie van deze in-line sensoren is een uitdaging.

VSL zal moeten bepalen welke rol voor haar gewenst is in deze “kalibratie op locatie” en welke instrumenten kunnen of moeten worden aangeboden om de gehele kalibratieketen ook voor lokale en dynamische metingen in stand te houden.

In line metrologie is ook van belang bij hoge precisie fabricage, zoals bijvoorbeeld bij productiemachines voor geïntegreerde schakelingen (IC's) ontwikkeld en gebouwd door ASML. De nauwkeurigheid van die productiemachines moet regelmatig on-site, tijdens het productieproces,

worden gemeten. Hiervoor zijn zeer geavanceerde, meestal optische, metrologische methodieken nodig.

Relevante vakgebieden voor in-line metrologie en dynamische metingen zijn met name Volumetrie, Chemie, Elektriciteit, Massa, Lengte en Viscositeit, Optica, Temperatuur en Luchtvochtigheid.

A.2.5 Verbetering medische zorg met ioniserende straling

Verantwoorde medische toepassing van ioniserende straling kan niet zonder gedegen kennis van de 3D verdeling van de geabsorbeerde dosis in het menselijk lichaam. Deze kennis is nodig om behandelresultaten en bijwerkingen (internationaal) te vergelijken en te koppelen aan de dosis. Deze koppeling aan de juiste dosis is op zijn beurt noodzakelijk om de behandelresultaten en diagnostiek met behulp van ioniserende straling te verbeteren. Vanwege Europese wetgeving rondom stralingsveiligheid wordt hieraan steeds meer aandacht besteed, zoals bijvoorbeeld expliciet bij nuclidentherapie met radioactieve isotopen. VSL heeft een centrale en cruciale rol in de metrologie van ioniserende straling onder uitdagende omstandigheden zoals in magneetvelden en bij kleine, dynamische velden die in de huidige kliniek steeds meer gangbaar zijn. Een goede infrastructuur met directe, laagdrempelige toegang voor Nederlandse ziekenhuizen is voor verdere ontwikkeling van onschatbare waarde. De samenwerking tussen VSL en de verschillende zorginstellingen is positief en zorgt ervoor dat VSL tijdig inspeelt op ontwikkelingen zoals dosimetrie in magnetische velden. Het vakgebied Ioniserende straling is hiervoor relevant.

A.2.6 Voedselveiligheid

Voedselveiligheid krijgt steeds meer aandacht, waarbij traceerbaarheid in de productieketen vaak een belangrijke rol speelt. Wanneer er uitbraken van ziektes zijn of voedselvergiftiging, kan door traceerbaarheid snel de oorzaak worden achterhaald en besmette producten uit de schappen worden gehaald. Analyse apparatuur voor detectie en analyse van voedselkwaliteit vereist nauwkeurige en traceerbare analyse van spore elementen van producten in de waarde keten van voeding. Dit vereist het opbouwen en onderhouden van een multidisciplinaire set van expertise die op dit moment geen kritische massa bij VSL heeft. De relevante vakgebieden voor deze ontwikkeling zouden Chemie en Optica zijn, echter gezien de huidige expertise is dit een gebied waar VSL de komende jaren geen leidende rol zal spelen.

A.3 De rol van Nederland in Europees/Internationaal metrologieverband

Metrologie speelt in onze huidige samenleving een uiterst belangrijke rol. Het maatschappelijk belang staat vaak in schril contrast met de geringe bekendheid ervan en de gevoelde noodzaak bij het algemene publiek en beleidsmakers. Af en toe staat metrologie dan toch kort in de publieke belangstelling, zoals bij de beslissing om de kilogram als artefact te verlaten en in de toekomst vast te leggen op basis van een natuurkundige constante. Dit om tegemoet te komen aan de behoefte van het bedrijfsleven naar nauwkeuriger standaarden die de product- en procesontwikkelingen beter kunnen ondersteunen.

Technologische ontwikkelingen, die op steeds meer vlakken plaatsvinden en elkaar met toenemende snelheid opvolgen, manifesteren zich ook op metrologisch gebied. De vereiste groei aan inzet en activiteiten is, op dit moment, niet in lijn met het in Nederland gevoerde beleid van bezuiniging op metrologie. De investering in metrologische ontwikkeling die Nederland in het verleden heeft gedaan, heeft ertoe geleid dat Nederland een vooraanstaande rol (4^e mondiaal) heeft weten te verwerven op een aantal gebieden, te weten: Elektriciteit, Chemie, Optica en Volumetrie. Een rol, die door de afgelopen bezuinigingen steeds verder onder druk is komen te staan. In het licht van de geschetste

technologische ontwikkelingen en het behoud van de positie van Nederland zal, ten minste op die speerpuntgebieden, in de komende periode meer financiële ondersteuning noodzakelijk zijn.

Alleen bij meer financiële ondersteuning kan Nederland vanuit een krachtige positie aansluiten bij de toekomstige ontwikkeling naar de zogenaamde European Metrology Networks (EMN's) waarop de EU aanstuurt. Een EMN wordt gevormd door een netwerk van nationale metrologische instituten die gezamenlijk een ontwikkeling op metrologisch gebied uitvoeren. Binnen zo'n EMN verbinden zich metrologische instituten die elk hun meerwaarde en bijdrage hebben op een specifiek gebied. Als Nederland zich op dit speelveld wil blijven bewegen dan is investering in Nederlands huidige speerpunten cruciaal om de meerwaarde van Nederlandse deelname, of leiding, in EMN's voor de partners evident te laten zijn.

Daarnaast is continuïteit van belang. Continuïteit in de ontwikkeling van de speerpunt kennisgebieden, in de opgebouwde kennis, human resources, management en financiering. Op dat vlak adviseert de RvD een sterkere financiële ondersteuning. Daarnaast heeft de overheid ook Fotonica als speerpunt benoemd waarmee de behoefte van een metrologische structuur op het gebied van Optica noodzakelijk is en daarmee ook de financiële ondersteuning.

Door het vertrek van VSL medewerkers zijn kennisgebieden de facto gestopt. Door een beleid van flexibele inzet van medewerkers om zo knowhow te verbreden, mogelijk in combinatie met uitbreiding van het personeelsbestand op bepaalde gebieden, moet dit in de toekomst vermeden worden. Daarnaast zorgen de veelvuldige directiewijzigingen binnen VSL in de afgelopen periode voor onrust en leiden af van de kernopgave. Belangrijk is dat er gestreefd wordt naar stabiliteit in de organisatie.

Binnen het huidige model vindt financiering van metrologische projecten in hoge mate plaats vanuit EMPIR (European Metrology Programme for Innovation and Research), wat mogelijk inhoudt dat de aansluiting op (Nederlandse) speerpunt gebieden niet optimaal is of financiering zelfs in het geheel niet beschikbaar komt, omdat initiatieven altijd in concurrentie staan. EZK financiering die direct aansluit op de gedefinieerde speerpunt gebieden, in lijn met de strategie, geeft hierbij de vereiste continuïteit. Naast financiering uit EMPIR, participeert VSL in Europese KP7 projecten en in toenemende mate in projecten die gefinancierd worden uit nationale financieringsbronnen voor innovatie, zoals TKI financiering uit Topsector Energie en NWO NWA financiering van de uitwerking van de nationale wetenschapsagenda. Als uitwerking van het klimaatakkoord is het belangrijk de positie van metrologie in de MMIP's (Missiegedreven Meerjarige Innovatie Programma's) te borgen.

Ontwikkeling op metrologisch gebied en beheer van standaarden is binnen Europa een taak van publieke organisaties. Nederland vormt hier, recent, met een nieuwe private aandeelhouder (FDI) van VSL, een uitzondering op, hetgeen nadelen met zich meebrengt. Doordat VSL als private entiteit is georganiseerd kunnen zij geen aanspraak maken op de hogere subsidiepercentages van topsectorprogramma's, zoals voor kennisinstellingen en universiteiten geldt. De RvD constateert dat in het huidige model VSL zijn taak niet naar behoren kan uitvoeren. De RvD is kritisch ten opzichte van het winst oogmerk, het gebrek aan continuïteit bij wisseling van eigenaarschap, waarborging van objectiviteit, ontwikkeling van IP en priorisering van projecten bij VSL. Vanwege al deze redenen heeft de RvD een sterke voorkeur voor een publieke status van VSL. Op aangeven van EZK zal de RvD graag haar advies uitbrengen op specifieke punten aangaande de positie van VSL met een private aandeelhouder.

A.4 Human Capital

Stimulering van metrologie als vakgebied op universiteiten en hogescholen is nodig. Om dit te bereiken wordt niet meer, zoals in het verleden, gedacht aan een specifieke leerstoel metrologie. Belangrijker en praktisch realiseerbaar is het om metrologie als onderdeel van individuele curricula te integreren. Deeltijdaanstelling als UHD/UD of hoogleraar van medewerkers van VSL aan universiteiten en hogescholen wordt als een zeer wenselijke ontwikkeling gezien. De afgelopen periode zijn enkele zeer succesvolle deeltijdaanstellingen gerealiseerd die geresulteerd hebben in een instroom van nieuw talent bij VSL en in nieuwe initiatieven voor metrologische onderzoeksprojecten met academische partners. Echter in een aantal vakgebieden is de basis bij VSL nog steeds zeer smal en soms beperkt tot een persoon. Het behoeft geen betoog dat de continuïteit, stabiliteit en groei van VSL gebaat is bij instroom vanuit WO en HBO. De instroom van promovendi zou gestimuleerd moeten worden maar is lastig wegens een mismatch tussen de duur van een promotie (4 jaar) en de duur van EMPIR projecten (3 jaar). Ook daarom zal gestreefd moeten worden naar andere geldstromen, voornamelijk bedoeld voor extra, tijdelijk personeel. De ontwikkeling van een meerjarenplan is hiervoor wenselijk, ondersteund met financiële middelen.

A.5 Adviezen op hoofdlijnen

Metrologie is gebaat bij een stabiele omgeving die openstaat en mogelijkheden geeft om nieuwe technologieën te ontwikkelen en te integreren. In een omgeving waarin veranderingen in een steeds hoger tempo plaatsvinden is opvolging van de volgende adviezen van belang om continuïteit in de ontwikkeling van metrologie en de rol van Nederland in internationaal verband te waarborgen.

A.5.1 Ondersteun de ontwikkeling op het gebied van de maatschappelijke thema's

De RvD adviseert een proactieve ondersteuning van uitdagingen die op metrologisch gebied voortvloeien uit ontwikkelingen op het gebied van de klimaatverandering, energietransitie, digitalisering, metrologie on-site, voedselveiligheid en zorg. Vanuit deze thema's ontstaan op vele vlakken uitdagingen voor de metrologie. Denk daarbij aan:

- Meting en uitstoot reductie van broeikasgassen.
- Verhoogde inzet van aardgas via LNG in transport.
- Duurzame opwekking en toepassing van waterstof in de bestaande infrastructuur en in mobiliteit en gebouwde omgeving.
- Verhoogde eisen aan het elektriciteitsnet in samenhang met de elektromobiliteit en lokale opwekking.
- Toenemend gebruik van het internet en de daaruit voortvloeiende noodzaak voor toegankelijke nauwkeurige tijdsvermelding (timestamping).
- Ontwikkeling slimme netten voor transport en distributie van elektriciteit en gas.
- In-line en on-site meting bij complexe en precieze productie machines.
- Meting van ioniserende straling voor medische behandeling.
- Optische sensoren voor voedselkwaliteit, gewasbewaking, en luchtvervuiling.
- Metrologie voor de hightech maakindustrie zoals voor IC fabricage.

De interactie tussen metrologie en maatschappelijke thema's is, hoewel divers, terug te voeren tot een beperkt aantal basis disciplines. Dit zijn Volumetrie, Elektriciteit, Chemie en Optica. Op deze gebieden neemt Nederland, dankzij een eerdere keuze als speerpunten, een vooraanstaande internationale rol in. Dit is zeer duidelijk zichtbaar met name op het gebied van IC fabricage machines waar ASML (75% wereldmarkt aandeel) baat heeft bij een adequate metrologische infrastructuur. Het

ligt dus voor de hand om deze keuze te continueren en in verdere ontwikkeling een proactieve of leidende rol te spelen om zo deze sterke positie van Nederland te handhaven.

A.5.2 Stabiliteit

De RvD adviseert voor het scheppen van een stabiele omgeving waarin beheer, onderzoek en ontwikkeling van standaarden optimaal kan plaatsvinden.

Metrologie heeft behoefte aan stabiliteit. Dit betreft stabiliteit van de organisatie en van de beschikbaarheid van voldoende en gekwalificeerde medewerkers. Veelvuldige wisseling van directieleden en vertrek van 'key' medewerkers bij VSL hebben ontwikkelingen onder druk gezet. Belangrijk is dat er wordt gewerkt aan continuïteit op het gebied van het management en voldoende back-up van key medewerkers.

Stabiliteit is tevens belangrijk bij de financiering van de activiteiten van VSL. Aangezien een belangrijk deel van de inkomsten gegenereerd wordt vanuit EMPIR projecten is het lastig om continuïteit in de ontwikkelingen te bewerkstelligen. Dit omdat EMPIR projecten niet altijd aansluiten bij de strategie van VSL. Het is dus van belang om een onafhankelijke, continue financiering te realiseren voor de strategische projecten, die niet alleen afhankelijk is van toevalligheden binnen EMPIR of andere innovatie fondsen zoals TKI of NWO.

Ten slotte is stabiliteit in dienstverlening naar de markt belangrijk. Het Nederlandse bedrijfsleven vertrouwt en bouwt op de diensten van VSL. Beëindiging van diensten leidt tot verstoring van projecten en de ontwikkeling van het Nederlandse bedrijfsleven.

A.5.3 VSL Faciliteiten

De RvD adviseert dat VSL meer gebruik maakt van faciliteiten van marktpartijen, VSL moet zelf alleen dure installaties exploiteren daar waar dit toegevoegde waarde heeft. Belangrijk is dat VSL zich toelegt op continuering van het beheer, onderzoek en ontwikkeling van standaarden. Exploitatie van installaties heeft alleen een meerwaarde als die niet in de markt beschikbaar zijn. Zijn die wel beschikbaar en toegankelijk in de markt, dan moet de rol van VSL beperkt worden tot kalibreren, kwalificeren en marktontsluiting van dergelijke installaties.

De RvD blijft van mening dat niet gestreefd moet worden naar een volledige afdekking van alle vakgebieden, maar versterking van die gebieden waar VSL een vooraanstaande rol speelt, en die gebieden die relevant zijn vanuit maatschappelijk en economisch perspectief. Waarbij, zelfs voor de relevante gebieden, door VSL steeds de klassieke make-team-buy afweging, waarin naast de keuze tussen zelf maken of inkopen ook de overweging tot samenwerking wordt meegenomen, gevolgd moet worden. Daarbij zijn, en blijven, de toegankelijkheid, beschikbaarheid en kwaliteit van VSL faciliteiten de belangrijkste overwegingen. In dat kader kan de RvD zich vinden in het afstoten van enkele faciliteiten, zoals de hoge druk gas flow faciliteit aan Euroloop (GasCal) en viscositeitskalibraties (HyCal). Echter, de RvD vindt het wel van belang dat beslissingen van strategische aard weloverwogen worden genomen, na overleg met de RvD, en dat ze onderdeel zijn van een lange termijn strategie.

A.5.4 Onderwijs & Publiciteit

De RvD adviseert voor het opzoeken van de publiciteit. VSL moet een strategisch PR plan ontwikkelen om Metrologie meer maatschappelijke bekendheid te geven en zo toptalenten aan te trekken.

De RvD streeft het opzetten van een eigen leerstoel niet na, maar wel om metrologie in meerdere vakgebieden in het curriculum te integreren. Deeltijd aanstelling als UD of UHD van VSL medewerkers aan universiteiten wordt als een zeer wenselijke ontwikkeling gezien. Tevens opent dit de mogelijkheid om voor nieuwe subsidiestromen in aanmerking te komen. VSL moet overleg voeren met

universiteiten en hogescholen om deze deeltijdaanstellingen te realiseren en EZK moet indien nodig financieel helpen.

A.5.5 Borging van het publieke belang

Standaardenbeheer en -ontwikkeling is een zaak van publiek belang. In Europees verband zijn het altijd publieke organisaties die belast zijn met standaarden beheer en ontwikkeling. Met VSL als een private onderneming vormt Nederland hier een, naar de mening van de RvD ongewenste, uitzondering op.

De RvD is kritisch ten aanzien van het winstoogmerk, de continuïteit bij wisseling van eigenaarschap, waarborging van objectiviteit, ontwikkeling van IP en de mogelijke ongewenste beïnvloeding van de priorisering van projecten bij VSL door de private aandeelhouder. VSL als private onderneming maakt het verkrijgen van bepaalde subsidies onmogelijk, die als VSL een kennisinstelling zou zijn wel toegankelijk zouden zijn. Dit zijn onder andere financieringen voor 4-jarige promotietrajecten. De consequentie is verminderde toegang tot geldstromen, en dus ook minder deelname aan innovatieprojecten, waardoor ook de Europese samenwerking moeilijker dreigt te worden. Met dit als achtergrond heeft de RvD een sterke voorkeur voor een publieke status van VSL. Mocht dit niet haalbaar blijken dan is een strikte bewaking van het functioneren van VSL door EZK met medewerking van de RvD gewenst.

Een vergelijkbare ontwikkeling heeft het National Physical Laboratory (NPL) in het Verenigd Koninkrijk doorgemaakt. Na een fase van privatisering, heeft de Britse overheid besloten terug te keren naar een publiek model. Als motivatie voor het terugkeren naar het publieke model werden thema's genoemd, zoals eerder vermeld, namelijk: een niet realiseerbaar commercieel model, slechte samenwerking met universiteiten, complexe interactie met het bedrijfsleven en daaruit voortvloeiend het uitblijven van gezamenlijk gebruik van faciliteiten.

A.5.6 European Metrology Networks

De RvD stelt vast dat dat Nederland een belangrijke rol speelt op de werkvelden Chemie, Elektriciteit, Optica en Volumetrie. Het is van strategisch belang om beleid er op in te richten om continuïteit aan die rol te geven binnen de te vormen European Metrology Networks.

Nederland heeft op een aantal gebieden een toppositie verworven. Continuering van die rol is van belang bij de Europese ontwikkeling van EMN's. Als Nederland zich op dit speelveld wil blijven bewegen dan is investering in Nederlands huidige speerpunten cruciaal zodat de meerwaarde van Nederlandse deelname, of leiding, in EMN's voor de partners evident is.

Deel B: Inhoudelijke beschouwing en adviezen per (metrologisch) werkgebied

B.1 Chemie

B.1.1 Inleiding

Er is momenteel sprake van een grootschalige transformatie van de sectoren energie, vervoer en industrie. De diepe decarbonisatie van deze sectoren, die in de komende decennia zou moeten plaatsvinden en zou moeten leiden tot koolstofneutraliteit (of lager) tegen 2050 als we de 1.5°C-doelstelling willen halen, zoals in 2018 door de Europese Commissie is aangegeven.

Om deze doelen te bereiken, moeten we de uitstoot van broeikasgassen, H₂ en ammoniak, kunnen meten, bewaken en verifiëren. Het transport van verbindingen zoals CO₂ vereist stringente omstandigheden (geen water, beperkte onzuiverheden). Deze voorwaarden moeten worden verzekerd voordat derden toegang krijgen tot de infrastructuur. We zullen koolstofbeheer moeten uitvoeren door chemische verbindingen op te volgen via hun waardeketen (bijv. door blockchain-technologie); meten en voorspellen van de energieopslag; garanderen van de kwaliteit van energie (stroom, spanning) voor elektrochemisch gebaseerde processen; testen van nieuwe producten (zachte voorschotmaterialen opge maakt uit biomassa).

Aanvullende gebieden die kritiek zullen zijn:

- Karakterisatie van nieuwe materialen
- Evidence based sensing: procesbewaking
- Meettechnologie voor precisielandbouw
- Nanomaterialen

Regulatierestricties in broeikasgas emissies zullen in de loop van de tijd strenger worden en de kosten van emissies zullen toenemen. Dit zal de behoefte aan nauwkeurige metingen aandrijven, zowel door industrieën (die emissies zullen moeten rapporteren) als door regelgevende instanties (die de metingen zullen moeten verifiëren). Betrouwbare, geaccepteerde internationale standaarden zullen ook noodzakelijk zijn, zodat overheden gegevens met vertrouwen kunnen vergelijken.

In de (nabije) toekomst het is zeer waarschijnlijk dat real-time broeikasgaswaarden moeten worden gerapporteerd in plaats van gemiddelden of (indirecte) schattingen. Echter, in de industriële sector, maken complexe flow omstandigheden in schoorstenen het moeilijk om nauwkeurig de uitstoot te bepalen. Naarmate de limieten stringenter worden, zal bovendien de behoefte aan nauwkeurige bewaking van broeikasgassen in andere sectoren, zoals bijvoorbeeld de landbouw, toenemen. Satelliet gebaseerde systemen, nuttig voor atmosferische monitoring, zullen bijvoorbeeld in overeenstemming moeten worden gebracht met metingen op de grond.

Er zal behoefte komen aan nieuwe normen, omdat nieuwe producten worden ontwikkeld en de controle op emissies wordt verhoogd. Gezien de grote transformatie van grondstoffen en producten en de aanscherping van de wetgeving, kan worden verwacht dat de behoefte, en het aantal, aan normen in de komende jaren zal toenemen.

B.1.2 Huidige status van de metrologische infrastructuur

- Herleidbaarheid van kwikmetingen: De door VSL ontworpen en gebouwde speciale drukkamer, waarin diffusiebuizen op 1020,0 mbar worden gebracht alvorens ze gewogen worden, functioneert na enkele aanpassingen uitstekend

- VOS (Vluchtige Organische Stoffen) indicatoren: de bevindingen op het gebied van adsorptie zijn geïmplementeerd in de productie en verificatie van VOS-referentiegasmengels. Andere NMIs en meetlaboratoria zijn ook geïnteresseerd in onze resultaten. Een certificeringsprotocol voor VOS-vrij nulgas is ontwikkeld en zal gebruikt worden voor het certificeren van onze matrix gassen en voor derden
- GHG (broeikasgassen): Voor het meten van de onzuiverheden van CO₂ en N₂O in N₂, O₂ en lucht is een nieuwe (unieke) OPOCRDS (Cavity Ringdown Spectroscopy, voorzien van een Optical Parametric Oscillator) opstelling gebouwd, die nieuwe mogelijkheden biedt voor lagere detectielimieten, als ook voor nieuwe, toekomstige research aan moleculen, die absorberen in hetzelfde golflengte gebied (≈ 5 μm).
- VSL richt zich in een EMPIR-project op een nieuwe dienst voor LNG-samenstelling door middel van de realisatie van een liquefier en referentiematerialen.
- Binnen ISO/TC158 heeft VSL de trekkersrol genomen voor het reviseren van de ISO 19229, de standaard voor zuiverheidsanalyse van 'pure' gassen. Hiervoor zijn in 2017 twee working drafts, een comité draft en een DIS-versie geschreven. Voor geoxideerde VOS heeft een nieuwe set standaarden opgeleverd in de range 1-10 μmol/mol en een stap is gemaakt voor het 100 nmol/mol gebied. Voor semi-VOS kan VSL nu transferstandaarden in thermische desorptie buizen produceren voor emissietest laboratoria.

B.1.3 Inhoudelijke keuzes en huidig beheer van standaarden.

De keuzes die in de afgelopen jaren in standaardenbeheer en -onderzoek zijn gemaakt, zijn logisch en bieden expertise die de komende jaren hard nodig zal zijn (H₂, NH₃, CH₄, en Broeikasgassen)

B.1.4 Technisch niveau van het standaarden beheer.

Het standaarden beheer voor Chemie is op orde. Hoewel hier de afgelopen jaren vertragingen zijn opgetreden, zijn deze niet significant geweest om de kwaliteit van de standaarden in gevaar te brengen. Die vertragingen zijn meestal te wijten aan capaciteitsproblemen of vertragingen van externe partners (wanneer activiteiten bijvoorbeeld plaatsvonden als onderdeel van Europese projecten).

B.1.5 Toegankelijkheid en gebruik van standaarden.

In de afgelopen jaren waren er problemen met capaciteit / overwerk die verder werden verergerd door verliezen binnen het team, die buiten de controle van VSL lagen (overlijden van een ervaren onderzoeker, pensionering van een ander), in combinatie met een groot aantal projecten. Momenteel is het probleem 'gedeeltelijk' opgelost, omdat veel grote projecten zijn afgerond en er een betere relatie lijkt te bestaan tussen beschikbare manuren en werklust. Dit is echter geen structurele oplossing; als er in de komende jaren nieuwe projecten worden toegekend, komt het probleem van overwerk terug. Er zijn al acties ondernomen om capaciteit op te bouwen en de projecten efficiënt te beheren, maar de grote afhankelijkheid van externe financiering beperkt de mogelijkheid om structurele investeringen te doen en daarom is de opstelling nooit proactief (er is weinig ruimte om vooruit te plannen). De toegang van bedrijven tot de standaarden is ondanks dit niet in het geding gekomen.

B.1.6 Continuïteit in standaarden beheer.

Dankzij het feit dat Europese projecten, en de daaruit toegekende subsidies, redelijk consistent binnen het gebied pasten kon er sprake zijn van continuïteit in standaardenbeheer en -ontwikkeling. Echter bij een SWOT-analyse zou deze afhankelijkheid van externe financiering als een belangrijke bedreiging voor de continuïteit kunnen worden aangemerkt.

B.1.7 Aanbevelingen

Houd de ratio van projecten en beschikbare capaciteit onder controle. Als Nederland leiderschap op dit gebied wil behouden, zijn structurele investeringen nodig die capaciteitsvergroting mogelijk maken waarmee onderzoeksrichtingen geselecteerd kunnen worden die passen in de interne strategie. Dit in plaats van het huidige beleid, waarbij de interne strategie aangepast wordt op extern (Europees) gesubsidieerde onderzoeksprojecten.

De inzet op een nieuwe projectgeoriënteerde management structuur wordt door de RvD onderschreven en zal, naar verwachting, een verbetering brengen bij de projectafhandeling. Echter de RvD verwacht niet dat dit alleen het probleem zal oplossen. Projectbeheer zal helpen, maar de behoefte aan structuurinvesteringen, om de leidende positie te kunnen continueren, blijft bestaan.

B.2 Elektriciteit en Magnetisme

B.2.1 Inleiding

Elektriciteit heeft een sleutelrol in de energietransitie en mobiliteit, zoals ook blijkt uit de eerste twee paragrafen van de duurzaamheidsagenda van het kabinet. VSL heeft geïnvesteerd in Elektriciteit, qua mensen en onderzoek, en VSL is voortrekker in Europa. NPL, PTB en RISE zijn op dit gebied grote spelers, maar VSL wordt in hetzelfde rijtje genoemd. Wereldwijd is NRC een grote speler. Tekenend voor de reputatie en de huidige technische stand van zaken van VSL is dat een grote klant van NRC, Royal Smit Transformers, in de toekomst hun herleidbaarheid bij VSL vandaan gaat halen voor een cruciaal punt: verliesmetingen aan hun belangrijkste product, vermogenstransformatoren.

De RvD verwacht binnen Elektriciteit, mede ingegeven door de energietransitie, verdere groei, en daarmee noodzakelijke investeringen, voor verder onderzoek en ontwikkeling van standaarden. Onderwerpen die hierbij van belang zijn en impact hebben op de benodigde inspanningen van VSL zijn:

- Het bepalen van (rest)capaciteit en levensduur (afname van de capaciteit gedurende de levensduur) van batterijen.
- Deelname aan standaardontwikkeling op het gebied van, in het veld inzetbare standaarden, voor fotovoltaïsche (PV) systemen, en standaarden voor bepaling van batterij levensduur en efficiëntie.
- Bepaling van de efficiency van gehele systemen. Naast efficiency van individuele componenten zal meer en meer gekeken worden naar de totale keten. Hier kan VSL een leidende rol spelen.

De realisatie van de metrologische infrastructuur, noodzakelijk voor de implementatie van “smart grids” zowel op hoogspanningsniveau als op midden- en laagspanningsniveau moet het belangrijkste speerpunt zijn. Hierbij kan worden gedacht aan de volgende onderwerpen:

- Het maken van meetstandaarden en procedures voor het meten van eigenschappen en efficiency van energiesystemen (o.a. windturbines, windparken, biomassa centrales).
- Karakterisering van en onderzoek naar innovatieve stroom en spanningssensoren voor “smart grids”, die voor een groot deel afhankelijk zullen zijn van gegenereerde meetdata en de analyse ervan.
- DC-power quality en bijbehorende meetstandaarden.
- De ontwikkeling van nieuwe laadsystemen, in samenhang met de toename op het gebied van elektrisch transport, en de mogelijkheden van V2G (Vehicle to Grid).

B.2.2 Huidige status van de metrologische infrastructuur

Het bouwwerk wordt beheerd met de beperkte middelen die er zijn. Doordat VSL zich moet richten op het hoogste punt van de Pyramide zijn de mogelijkheden om meer marktgericht werk uit te voeren, zoals NMI of kalibratielaboratoria doen, beperkt. De metrologische infrastructuur is grotendeels in lijn met wat de markt vraagt. Door de ontwikkelingen en activiteiten die gedaan zijn binnen Elektriciteit is er, desondanks, de afgelopen jaren een grote groei geweest in kalibraties en advieswerk.

Het afstoten van de elektromagnetische veldmetingen in 2017/2018 is een adering geweest. Ingegeven door beperkte omvang van de groep, en budgetten. Het afstoten leidt niet tot problemen voor het Nederlandse bedrijven. Dit vooral omdat er maar beperkt gebruik van werd gemaakt en omdat de toegang tot de faciliteiten van buitenlandse NMI's gewaarborgd blijft. Echter, het afstoten van de (hoge frequentie) elektromagnetische veldmetingen heeft wel als strategisch gevolg dat VSL geen rol van betekenis meer kan spelen in de ontwikkelingen rondom 5G (en 6G) en Internet of Things, aangezien juist daar de ontwikkeling gaat naar hogere frequenties met complexe elektromagnetische velden.

B.2.3 Inhoudelijke keuzes en huidig beheer van standaarden.

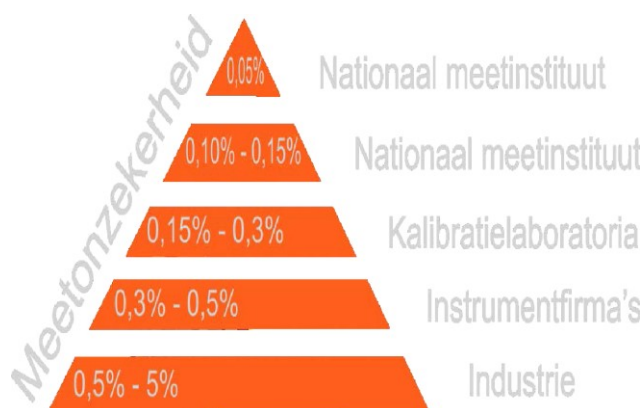
Voor elektriciteit en tijd worden momenteel de juiste standaarden beheerd. Zoals eerder aangegeven is ervoor gekozen om de kennis en expertise rondom elektromagnetische veldmetingen niet langer in stand te houden. Dit geeft een beperking in de rol die VSL nog kan spelen op ontwikkelingen rondom "Internet of Things" en 5G/6G netwerken.

B.2.4 Technisch niveau van het standaarden beheer.

Het standaarden beheer is op goed niveau. De medewerkers zijn gepassioneerd en zeer competent. De faciliteiten zijn toereikend. Onderhoud, beheer en aanpassing aan de bestaande faciliteiten blijft noodzakelijk en moet voortdurend worden getoetst aan de ontwikkeling en vragen die er leven. Gezien de toename van activiteiten zal kritisch moeten worden gekeken of er nog voldoende budgetten en menskracht aanwezig is om het beheer op peil te houden. Ook zal er ruimte aanwezig moeten zijn voor een goede (en waarschijnlijk benodigde) begeleiding van nieuwe medewerkers.

B.2.5 Toegankelijkheid en gebruik van standaarden.

VSL is het Nationaal Meetinstituut werkzaam in de top van de herleidbaarheidsketen en heeft daarom veel minder contacten met de industrie, zoals ook blijkt uit de Pyramide in de figuur. Daardoor is en zal het bedrijfsleven op afstand van VSL blijven.



VSL zal moeten blijven innoveren op het gebied van standaarden, ten behoeve van nieuwe ontwikkelingen (maatschappij, technologie). Daar kan het bedrijfsleven een stimulerende, zelfs

sturende rol in spelen. Door meer samenwerking met industrie, netbeheerders en andere belanghebbenden kan een ander verdienmodel gevolgd worden dat vergroting van de capaciteit bij VSL mogelijk maakt. Dit zal ook de continuïteit verbeteren.

Voor Elektriciteit is er voldoende bekendheid en toegang tot de standaarden. Er wordt regelmatig gepubliceerd en VSL is in de markt herkenbaar. Ten aanzien van elektriciteit is er momenteel voldoende capaciteit, maar er is wel sprake van enige kwetsbaarheid. Bij het wegvallen van 1 of 2 strategische medewerkers kan de continuïteit onder druk komen te staan. Ook is in de toekomst een stijging van activiteiten te verwachten die de capaciteit verder onder druk zal zetten.

B.2.6 Continuïteit in standaarden beheer.

Bij Elektriciteit heeft er een personele uitbreiding plaatsgevonden, mede noodzakelijk door een groeiende marktomet en succes in het verkrijgen van Europese projecten. Dit succes wordt voortgezet met ook dit jaar weer nieuwe projecten en een verdere uitbreiding van de bemensing. Hierbij blijft het een uitdaging om voldoende capaciteit vrij te maken voor het inwerken van nieuwe mensen.

B.2.7 Aanbevelingen

De rol van VSL in de herleidsbaarheidsketen is nauw verbonden met haar onafhankelijkheid. Er zijn grenzen aan de financiering door bedrijven. De onafhankelijkheid van het instituut en de brede toegankelijkheid van de standaarden zijn belangrijke randvoorwaarden voor de internationale acceptatie van VSL certificaten. De onafhankelijkheid van VSL is cruciaal, richting consument, EZK en het bedrijfsleven. Aan die onafhankelijkheid mag nooit getwijfeld worden.

Versterking van VSL activiteiten op het gebied van Elektriciteit zullen nodig zijn om zowel Nationaal als Internationaal op het gewenste niveau een rol van belang te blijven spelen. Een voortrekkersrol binnen de EMN voor smart grids is hierbij een belangrijke stap, maar ook hier moet voor voldoende menskracht en zekerheid van continuïteit worden gezorgd.

Momenteel is er onvoldoende ruimte om de volgende generatie op te leiden en om voldoende toekomstperspectief te bieden zodat medewerkers (langer) blijven. De RvD vindt deze ontwikkeling zorgelijk. Er zou meer ruimte in de organisatie moeten zijn om VSL ook een plaats te geven binnen Universiteiten (Metrologie als onderdeel van de curricula) om zodoende niet alleen het vakgebied een plek te geven maar ook om de samenwerking met universiteiten te intensiveren en zo meer contact te krijgen met potentieel nieuwe medewerkers. Ook de samenwerking met industrie kan wellicht op diverse punten worden uitgebreid (geven van trainingen, samenwerking in innovatieve projecten) om op die manier ook extra gelden (en menskracht) beschikbaar te maken.

B.3 Tijd en Frequentie

B.3.1 Inleiding

Betrouwbare tijd is onder andere voor de financiële sector van groot belang. Met de Brexit kan het zijn dat het zwaartepunt hiervan naar het vaste land verhuist. Als dit in Nederland geplaatst wordt is het van groot belang dat VSL al bekend is als leverancier van betrouwbare tijd.

B.3.2 Huidige status van de metrologische infrastructuur

VSL beheert op dit moment 4 atoomklokken (waarvan 1 defect) en levert met deze bron een tijdstempel en kan de benodigde certificering in het tijdsdomein doen. In het kader van de benodigde redundantie kan de vraag worden gesteld of het verstandig is om alle atoomklokken in hetzelfde

gebouw op dezelfde locatie te plaatsen. Als deze klokken op verschillende locaties staan kan dit ook gebruikt worden om bijvoorbeeld nieuwe tijdsynchronisatietechnieken te testen.

Verder is er een start gemaakt met een netwerk met glasvezelverbindingen (white rabbit) waarmee een betrouwbaar en nauwkeurig tijdstempel kan worden verstuurd naar klanten, aangesloten op deze toekomstige glasvezelnetwerken. Er kan worden gedifferentieerd in prijs/nauwkeurigheid naar wens van de klant. Momenteel is niet de juiste apparatuur beschikbaar om de tijd te bepalen bij de klant, hetgeen voor de financiële sector interessant kan zijn.

B.3.3 Inhoudelijke keuzes en huidig beheer van standaarden.

De ontwikkeling van de glasvezelverbinding is een juiste keuze en kan in de toekomst zorgen voor een verhoogd klantenaanbod en betere service naar afnemers. Wel moet aandacht worden geschonken aan betrouwbaarheid en continuïteit (redundantie). Het white rabbit protocol wordt veel gebruikt en is een betrouwbare methode gebleken. Een toekomstige ontwikkeling kan een extra encryptie zijn om de betrouwbaarheid van de verbinding verder te verbeteren.

B.3.4 Technisch niveau van het standaarden beheer.

De metrologische infrastructuur kan worden verbeterd. Momenteel zijn er 4 atoomklokken (Cesium klokken) waarvan er 1 defect is. Er moeten keuzes worden gemaakt om de kwaliteit en betrouwbaarheid van het systeem te waarborgen. Een mogelijke optie hiervoor is om in de toekomst te gaan naar een systeem met 2 Cesiumklokken (voor de lange termijn stabiliteit) en twee H-masers (voor de kortere termijn). Hierdoor wordt de kwaliteit van het tijdstempel verhoogd. Ook zal in verband met de continuïteit (redundantie) gekeken moeten worden naar de plaats van deze bronnen. Wellicht kunnen twee van de vier klokken worden aangesloten op het glasvezelnetwerk en opgesteld op een andere locatie.

B.3.5 Toegankelijkheid en gebruik van standaarden.

Er is op dit moment voldoende toegang voor het bedrijfsleven, maar door uitbreiding van het glasvezelnetwerk kan de service richting het bedrijfsleven worden vergroot. Er moet wel de nodige inspanning worden geleverd om de voordelen hiervan ook bij het bedrijfsleven onder de aandacht te brengen. Nut en noodzaak zouden onderdeel kunnen zijn van een (bedrijfs)film.

B.3.6 Continuïteit in standaarden beheer.

De continuïteit van de benodigde ontwikkelingen (research, beheer van standaard) is verbeterd met de komst van een nieuwe wetenschapper en een projectleider die zich naast Elektriciteit ook focust op Tijd en Frequentie. Het blijft bij deze kleine groepsomvang een belangrijk aandachtspunt voor de toekomst. Bekeken kan worden hoe door interne samenwerking enige flexibiliteit in de organisatie kan worden ingebouwd.

B.3.7 Aanbevelingen

De continuïteit (het altijd beschikbaar zijn van de dienst) is een kenmerk wat in de toekomst alleen nog maar belangrijker zal worden. Het is daarom van belang om de gehele keten die uiteindelijk deze dienst bij de klant gaat leveren voldoende redundant uit te leggen. Een onderzoek naar toekomstige mogelijkheden om deze dienst aan te bieden (en kennis te verspreiden door middel van trainingen) is van belang om ook toekomstige klanten aan VSL te binden.

B.4 Ioniserende straling

B.4.1 Inleiding

De continue verbetering in de gezondheidszorg is onmogelijk zonder betrouwbare data, zoals dosimetrie bij ioniserende straling. Dit gegeven en Europese wetgeving om de dosisverdeling te optimaliseren zorgt voor een groeiende behoefte aan kwantitatieve metingen in onder andere de Nucleaire Geneeskunde. Daarnaast zijn kwantitatieve metingen met PET en SPECT (Gallium-gebaseerde liganden en andere isotopen) nodig om bijvoorbeeld de verandering in concentratie van plaques te bepalen om zo werkzaamheid van eventuele medicijnen vast te stellen. Deze (pre)klinische ontwikkelingen moeten in de gaten gehouden worden, bijvoorbeeld door aansluiting te zoeken bij de relevante onderzoeksgroepen op de TU Delft (Dennis Schaart) en in de klinische fysica nucleaire geneeskunde (Ronald Boellaard).

Verder neemt de therapeutische toepassing van ioniserende fotonenstraling in het magneetveld van een MRI scanner, een Nederlandse uitvinding, een grote vlucht. Dit onderstreept de juiste keuze van de ontwikkeling van absolute watercalorimetrie. Ioniserende straling met protonen is recent in Nederland van start gegaan en ook hier zijn preklinische studies die deze therapie combineren met een MRI. Omdat zowel in fotonen- als protonetherapie gebruik wordt gemaakt van kleine, dynamische velden is het noodzakelijk dat VSL de hiervoor benodigde metrologie ontwikkelt, bijvoorbeeld met de genoemde watercalorimeter maar ook met filmdosimetrie. Dat laatste is een noodzakelijk, maar vooralsnog lastig, meetinstrument in de kliniek. Om meer zekerheid te geven dat de behandeling binnen een acceptabele onzekerheid wordt gegeven is dosimetrie ter plaatse, onder klinische omstandigheden, van groot belang.

B.4.2 Huidige status van de metrologische infrastructuur

Nederland loopt op enkele vlakken, met name de radiotherapeutische oncologie, internationaal voorop zowel qua metrologie als ontwikkelingen in het veld. Deze positie is alleen houdbaar bij een goede metrologische infrastructuur. Op dit vlak kan nog een aantal zaken verbeterd worden, zoals dosimetrie op afstand (postal dosimetry), ter plaatse bij de klant en dosimetrie-audits, al dan niet op afstand. VSL is goed toegankelijk voor de klanten en zoekt actief de samenwerking op. Het continueren van onafhankelijke audits, zowel wat betreft referentie dosimetrie als klinisch relevante moderne radiotherapie verdient uitbreiding richting kleinere, smallere velden met wisselend dosistempo. Voor deze verdere ontwikkeling is een goede toegang tot een klinische versneller een onontkoombare randvoorwaarde. Het aanbieden van (hoge-resolutie) dosimetrie-audits zou afgestemd moeten worden met de European Organisation for Research and Treatment of Cancer (EORTC), zodat deze audits erkend worden voor deelname in Europese klinische studies. De VSL audit zou mogelijk op de EORTC website geplaatst kunnen worden. Een lastig punt hierbij is dat Imaging and Radiation Oncology Core (IROC) een heel goedkoop, maar qua resolutie beperkt, alternatief is. Bovendien wordt dit initiatief informeel gesponsord door het MD Anderson ziekenhuis, Houston Texas. Het auditeren van radiotherapieafdelingen in veel (Europese) landen wordt verzorgd door de nationale overheid wat concurrentie op dat vlak eveneens lastig maakt.

De verdere faciliteiten zoals die voor nucleaire geneeskunde en radiologie, zijn op het niveau dat gewenst is door de Nederlandse ziekenhuizen. Ook hier is het zaak de ontwikkelingen te blijven volgen. Voor de elektronische brachytherapie wordt gewerkt aan het verbeteren van de metrologische infrastructuur in het kader van een EMPIR project waar VSL consortium partner is.

B.4.3 Inhoudelijke keuzes en huidig beheer van standaarden.

De watercalorimeter is een goede keuze geweest en de ijkfunctionaliteit voor de NL zorginstellingen is momenteel op orde. Het blijft lastig om met een kleine groep en onzekere financiering verdere ontwikkelingen te doen die nog beter aansluiten op de klinische praktijk.

B.4.4 Technisch niveau van het standaarden beheer.

Het technisch niveau is op orde, vooral dankzij de continue ontwikkelingen die de groep initieert. Echter, de kobalt-60 faciliteit is dringend aan vervanging toe. In samenhang met hetgeen onder B.4.2 is beschreven, stelt de Raad voor de mogelijkheden en de voor- en nadelen met betrekking tot de beschikbaarheid van een (klinische) lineaire versneller te onderzoeken. Dit, al dan niet in combinatie met het vervangen van de kobalt faciliteit door een nieuwe.

B.4.5 Toegankelijkheid en gebruik van standaarden.

Er is een periode geweest waarin het leek dat de toegankelijkheid minder werd door het vertrek van een metroloog. De wachttijden liepen daardoor op en bij een langdurige krappe bezetting kunnen klanten uitwijken naar buitenlandse metrologische instituten. De genoemde vacature is gelukkig weer ingevuld maar er moet wel voor gewaakt worden dat dit zo blijft. Dit gaat voor een belangrijk deel om de handen die het werk doen (medewerkers op hbo-niveau).

B.4.6 Continuïteit in standaarden beheer.

Momenteel is continuïteit geen zorg, maar bovengenoemde ervaring laat zien dat dit kan veranderen. Een bredere basis voor metrologen (uitwisseling met andere afdelingen) en een goede koppeling met instroom uit onderwijsinstellingen zou voor een stabielere bezetting kunnen zorgen.

B.4.7 Aanbevelingen

Dosimetrie voor kleine, complexe en dynamische velden (zowel qua vorm als intensiteit), al dan niet in magneetvelden, komt steeds meer in de belangstelling. Het TRS-483 rapport over kleine velden dosimetrie is goed maar vrij uitgebreid. Het is nuttig te informeren bij de NCS subcommissie over stereotaxi of een toegewijd, eenvoudige samenvatting wenselijk is, toegespitst op de Nederlands/Belgische situatie. Voor de complexere dosimetrie worden vaak commerciële fantomen gebruikt waarbij de gebruiker niet bij de brondata kan. Daarmee ontbreekt inzicht in de (on)mogelijkheden en de onafhankelijkheid van deze meetsystemen. Daarnaast is de gevoeligheid en specificiteit van dergelijke meetinstrumenten in het geheel niet bekend. Dergelijke hiaten verdienen de aandacht van VSL. Momenteel wordt in ESTRO verband een sensitiviteit/specificiteit analyse opgezet; VSL zou daarin kunnen participeren.

Hoewel IROC al redelijke, maar ruimtelijk gezien beperkte dosimetrie audits levert voor complexere velden, is filmdosimetrie hier veel beter voor geschikt. Als VSL hiervoor een open systeem ontwikkelt dan heeft het een mooi audittool in handen, dat ook per post verstuurd kan worden. Het is dan wel noodzakelijk de EORTC ervan te overtuigen dat de VSL methode veel beter is dan IROC.

Vanwege de mogelijkheid tot discussie met de klant en eventuele bijscholing, heeft visiterende metrologie een grote meerwaarde, ook omdat de meting dan ter plekke onder reële omstandigheden wordt verricht.

Omdat het gedrag van een spectrum aan fotonen en gegenereerde elektronen anders is dan dat van een monochromatische bron (Co-60), is het zeer wenselijk een functionele lineaire versneller te installeren, mogelijk naast het kobalt systeem. Dit ook om verdere ontwikkelingen mogelijk te maken voor het meten aan kleinere velden en de doorontwikkeling van audits per post voor IMRT/VMAT, passend bij de trend in radiotherapie om complexere en kleinere velden te gebruiken. Een andere

trend binnen de radiotherapie is de zogeheten FLASH radiation, met dosis tempi van meer dan 30 Gy/s. Samen met het nabijgelegen Holland Protonencentrum heeft het VSL unieke mogelijkheden dosimetrie in te zetten en waar nodig verder te ontwikkelen voor deze ontluikende techniek. Daarnaast wordt aanbevolen de ontwikkelingen te volgen in de Nederlandse radiotherapeutische oncologie op het gebied van elektronische brachytherapie en het gebruik van nanodeeltjes voor zowel warmtetherapie (hyperthermie) en radiotherapie.

VSL zal een stevige positie moeten houden, zowel ter ondersteuning van de technische ontwikkelingen in Nederland als ter ondersteuning van de kliniek. Omdat met name de markt van lineaire versnellers en brachytherapie door slechts enkele partijen wordt gedomineerd is onafhankelijke kalibratie en validatie noodzakelijk om nieuwe technologische ontwikkelingen in het veld te voorzien van herleidbare metingen.

B.5 Massa, Druk en Viscositeit (MDV)

B.5.1 Inleiding

Voor Massa is internationaal de belangrijkste ontwikkeling de nieuwe definitie van het kilogram. VSL houdt de ontwikkelingen uiteraard bij maar is niet direct betrokken. In principe verandert er door de invoering van de nieuwe definitie niets in de hardware of het beheer door VSL. De meetonzekerheid van VSL zal wel een fractie toenemen door de nieuwe definitie. Er is vraag naar nieuwe micro en nano massastandaarden voor nieuwe gebieden zoals biotechnologie, gebaseerd op resonantiemeting, en op langere termijn wellicht met een microwatt balans.

Bij Druk is de belangrijkste internationale ontwikkeling de bepaling van de Boltzmann constante en de realisatie van de nieuwe thermodynamische temperatuurschaal. Hiervoor zijn nauwkeurige, absolute drukmetingen nodig. De innovatieve technologieën rond halfgeleiders en biotechnologie vragen herleidbare metingen van zowel extreem lage als extreem hoge drukken of dynamische metingen omdat de processen dynamisch zijn en gecontroleerd moeten worden. Extreme Ultra Violet (EUV) lithografie verlangt goede beheersing van de druk in (ultra- en extreem-) hoog vacuüm systemen. Er is behoefte niet alleen aan nieuwe materialen, die niet uitgassen, maar ook aan referentiematerialen voor uitgassen.

Dichtheid en Viscositeit zijn niet alleen relevant voor bio- en pharma-industrie, maar zeker ook voor energie (gas en olie) gekoppeld aan stroming (flow). Procesbeheersing wordt belangrijker o.a. door temperatuurbeheersing. Nanotechnologie vraagt om dichtheid- en viscositeitsmeting aan extreem kleine monsters. Er wordt onder steeds extremer condities gemeten; bij drukken tot 100 bar of zelfs 400 bar en temperaturen van -50 °C tot +500 °C. Voor vloeibaar gas (LNG) zelfs tot -160 °C.

Voor Kracht en Moment bestaat een internationale vraag naar herleidbare metingen met een relatieve meetonzekerheid van 10^{-5} . Kracht- en Momentmeting voor micro- en nano-CMM (coördinaten meetmachines), MEMS, AFM's en micromanipulatie gaan richting 10^{-9} N tot 10^{-12} N. In de pharma- en bio-industrie wordt zelfs 10^{-15} N genoemd. (Op basis van gravitatie kan maar tot 10^{-5} N gemeten worden.)

Massastroom is erg relevant voor energie (gas en olie). VSL is hierin actief door kalibratie van stromingsmeters voor gas en vloeistof.

B.5.2 Huidige status van de metrologische infrastructuur

Naast druk en viscositeit zijn er nog meer massa gerelateerde grootheden zoals: kracht, moment, dichtheid en massastroom. Maar ook geluid en trillingen (bewegende massa) zijn gerelateerde grootheden.

Massametingen (en volumemetingen) zijn van oudsher zeer belangrijke metingen in het handelsverkeer (Metrologiewet). Massa en afgeleide grootheden worden op grote schaal gebruikt en in veel gevallen is herleidbaarheid belangrijk. De huidige kalibratie-infrastructuur van MDV is voldoende voor de behoefte aan massa, druk en viscositeit metingen.

Naast VSL zijn er vele andere door de RvA geaccrediteerde kalibratie- en test-laboratoria. Deze laboratoria herleiden hun standaarden uiteraard naar (inter)nationale standaarden. De rol van VSL in deze is niet exclusief en de positie wordt vooral bepaald door de doelmatigheid.

Drukmetingen zijn nog steeds belangrijk in de luchtvaart en procesindustrie en die sectoren hebben daarom ook vaak hun eigen kalibratielaboratoria. Viscositeit is vooral van belang voor de pharma-, proces- en voedselindustrie. Het gebruik van referentie-oliën is daar van belang.

B.5.3 Inhoudelijke keuzes en huidig beheer van standaarden.

Voor massabepaling zijn de kalibratiemiddelen goed op orde en de automatisering is verder doorgezet. De door VSL ontwikkelde weegrobots voor referentiegasmengsels komen voort uit de goede samenwerking/synergie met VSL/Chemie. Nederland presteert hier internationaal op hoog niveau.

Voor gasdruk zijn de kalibraties veelal geautomatiseerd en er is een nieuw project gestart voor de ontwikkeling van een herleidbare generator van dynamische drukken (tot 500 MPa).

Viscositeit is ook bijna geheel geautomatiseerd en kalibraties zijn nu sneller en nauwkeuriger; VSL hoort internationaal tot de subtop.

Meting van Dichtheid is beperkt tot aerostatische volumebepaling.

Kracht en Moment worden niet meer beheerd door VSL. De Nederlandse referentie voor Moment staat bij Caliz B.V. te Berlicum. De referentie voor Kracht is een zogenaamde "dood gewicht bank" en staat bij NMI Certin B.V. te Dordrecht en deze wordt binnenkort verhuisd naar Delft. Dit vraagt een substantiële investering.

Massastroom en volumestroom zijn nauw verbonden. Stromingsmeters voor gas en vloeistof (denk aan LNG) blijven voor Nederland erg belangrijk. Deze grootheden worden besproken bij Volumetrie.

B.5.4 Technisch niveau van het standaarden beheer.

Het beheer van standaarden en faciliteiten bij MDV is op orde. VSL is geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie (RvA) voor:

- Kalibraties: De K999 kalibratie scope van VSL:
https://www.rva.nl/system/scopes/file_ens/000/000/195/original/K999-sce.pdf?1516842022
Deze bevat voor MDV : massa, druk en viscositeit.
- Referentiematerialen: De P002 scope voor gasmengsels en viscositeit:
https://www.rva.nl/system/scopes/file_ens/000/000/196/original/P002-sce.pdf?1537358425
- Organisatie van ringonderzoeken: De R006 scope voor o.a. massa, druk en viscositeit:
https://www.rva.nl/system/scopes/file_ens/000/000/197/original/R006-sce.pdf?1516842022

B.5.5 Toegankelijkheid en gebruik van standaarden.

De VSL kennis en faciliteiten zijn voor het Nederlandse bedrijfsleven toegankelijk via geaccrediteerde dienstverlening en de beschikbare kalibratiefaciliteiten. VSL geeft advies en er is directe samenwerking mogelijk. MDV is maar een kleine groep (~1,5 fte) en kan dus niet zondermeer reageren op een schommelende vraag vanuit het bedrijfsleven. Een gedegen planning is nodig.

B.5.6 Continuïteit in standaarden beheer.

Continuïteit blijft gevaarlijk bij de kleine groep MDV en daarom is de samenwerking met andere groepen binnen VSL, maar ook (inter)nationaal, belangrijk. Het vertrek van drie gespecialiseerde medewerkers (voor massa, druk en viscositeit) in de afgelopen periode is zorgwekkend en belemmert de handhaving van het benodigde niveau van kennis en vaardigheden. Het is goed dat MDV momenteel weer betrokken is bij research projecten.

B.5.7 Aanbevelingen

De afnemende financiële middelen en de onafhankelijkheid (lees: relatie met FDI, First Dutch Innovations) zijn zorgelijk voor VSL en het standaardenbeheer voor het Nederlandse bedrijfsleven. Financiële middelen worden niet alleen structureel minder, maar ook erg onvoorspelbaar door het grote aandeel via EMRP of EMPIR projectaanvragen, bij EUROMET tegen Europese criteria en speerpunten. Dit conflicteert mogelijk met de lange termijn planning voor de Nederlandse (VSL) research en ontwikkeling. Uiteindelijk moet worden getracht met standaardenbeheer en -ontwikkeling aan te sluiten op de programma's van 3 partijen, FDI, EUROMET en EZK, welke mogelijk niet op alle gebieden met elkaar verenigbaar zijn. Belangrijk is om een onafhankelijke stabiele financiële basis op te zetten welke garant staat voor continuïteit en onafhankelijkheid bij de uitvoering van het standaardenbeheer.

B.6 Lengte

B.6.1 Inleiding

Twee belangrijke ontwikkelingen in het bedrijfsleven (en met name in de precisie industrie) zijn de behoefte aan nauwkeurige “in line metrologie” op de werkvloer en de behoefte aan nauwkeurige dynamische meetfaciliteiten. VSL speelt hier goed op in met meerdere hieraan gerelateerde internationale onderzoeksprojecten in globaal vier categorieën:

- Nanometrologie
- Micrometrologie / 3D micromeetmachine
- Interferometrie voor lengte en oppervlakten
- Proces- en fabricagemetrologie

B.6.2 Huidige status van de metrologische infrastructuur

Het technisch niveau van de bestaande faciliteiten is goed. Dit blijkt uit de contacten met het bedrijfsleven, de deelname aan Europese onderzoeksprojecten en de Key-comparisons. Er lijkt voldoende capaciteit te zijn voor de toegang voor het bedrijfsleven tot de lengte-gerelateerde standaarden. Er zijn relatief veel medewerkers bij Lengte en er is veel overlap met Optica (Radiometrie) waardoor medewerkers van beide standaarden aan elkaars projecten kunnen bijdragen. Dit geeft flexibiliteit.

Alle geometrische metingen zijn herleidbaar naar “de meter” die sinds 1983 is gedefinieerd, op basis van de lichtsnelheid in vacuüm, als $1/299.792.458^e$ deel van de afstand die licht aflegt in vacuüm in

een seconde. Bij VSL is “de praktische Nederlandse standaard voor Lengte” de golflengte in vacuüm van een jodium-gestabiliseerde helium-neonlaser die, via de frequentiekam van een femtosecondelaser, gekoppeld is aan de cesium-atoomklok, de standaard voor tijd, met de daarbij behorende zeer geringe meetonzekerheid. De metrologische faciliteiten voor lengte van VSL zijn veelal bedoeld voor de Nederlandse (precisie) maakindustrie. Het betreft niet alleen eendimensionale lengten zoals eindmaten maar ook andere geometrieën of steeds complexer wordende vormen.

In zowel het handelsverkeer als in het dagelijks leven zijn eenduidige meetwaarden van lengte, oppervlak, snelheid en dergelijke bepalend voor het nakomen van afspraken, het voldoen aan normen en specificaties, het voorkomen van conflicten (justitie) en het realiseren van hoge kwaliteit bij productie. Waar deze processen in toenemende mate over de landsgrenzen heen gaan is dat belang nog groter.

Onderzoek voor het vakgebied van de geometrische meettechniek is sterk geconcentreerd in specialistische bedrijven (ASML, Mitutoyo RCE, IBS Precision Engineering, Heidenhain etc.), bij TNO en VSL, dit is nagenoeg volledig verdwenen bij de Nederlandse Universiteiten. Na het afstoten van deze activiteit bij TU Eindhoven is een klein deel van het onderzoek overgenomen door de TU Delft om het gebied levend te houden maar ook dat is in 2015 gestaakt door gebrek aan fondsen.

B.6.3 Inhoudelijke keuzes en huidig beheer van standaarden.

Samenvattend kan gezegd worden dat door VSL de juiste keuzes zijn gemaakt. De keuze voor de metrologie van nanostructuren ten behoeve van vooral de halfgeleiderindustrie is juist gebleken; voor ASML is dit onderwerp zeer belangrijk en er is een goede samenwerking opgebouwd. De verbeterde 3D coördinaten meetmachines zijn belangrijk voor de maakindustrie. Meten in de nanobiotechnologie is succesvol opgepakt met twee projecten over vormmeting van cellen of vesikel (t.b.v. kankeronderzoek). De verbeterde lange afstandmetingen zijn potentieel interessant voor de geodesie en de ruimtevaart industrie. Deze industriële ruimtevaart is relatief sterk in Nederland.

B.6.4 Technisch niveau van het standaardenbeheer.

Het technisch niveau van de bestaande faciliteiten is goed. Dit blijkt uit de contacten met het bedrijfsleven, de deelname aan Europese onderzoeksprojecten, de resultaten van de internationale Key-comparisons en de jaarlijkse RvA audit van de kalibratiefaciliteiten (RvA scope K999).

B.6.5 Toegankelijkheid en gebruik van standaarden.

De toegang voor het bedrijfsleven tot de standaarden komt veelal tot stand via de beschikbare kalibratiefaciliteiten, consultancy en/of samenwerkingsprojecten. De afdeling Lengte is relatief groot met ~8 personen en door de verwevenheid van de vakgebieden is er ook veel samenwerking met Optica.

B.6.6 Continuïteit in standaarden beheer.

Voor VSL blijft strategische R&D planning op de lange termijn lastig door de grote afhankelijkheid van al dan niet toegekende projectfinanciering. Door de overlap met Optica kunnen medewerkers van beide groepen aan elkaars projecten bijdragen. Dit geeft meer flexibiliteit en vereenvoudigt de planning.

B.6.7 Aanbevelingen

Voor de huidige en toekomstige keuzes onderscheidt de RvD meerdere belangrijke toepassingsgebieden met ieder hun eigen specifieke eigenschappen:

- Hoog nauwkeurige productiemachines in de halfgeleiderindustrie waarbij de nauwkeurigheid vooral relatief is ten opzichte van een interne referentie (de silicium wafer; het basismateriaal voor chips). De beheersing van de temperatuur en het beperken van temperatuur invloeden in het productieproces vragen hierbij steeds meer aandacht.
- 3D CMM's (Coordinate Measuring Machines) voor complexe vormen waarbij de toegestane absolute (herleidbare) meetonzekerheden slechts enkele nanometers bedraagt; de kwaliteit van de (mechanische of optische) taster is in belangrijke mate bepalend geworden voor deze te behalen onzekerheid.
- Microsystemen en nanotechnologie waar de meetmethodes nog geenszins voldoende deterministisch zijn om structuren, vormen en ruwheden te bepalen en waar een toenemende behoefte bestaat aan gestandaardiseerde karakterisering en beheersing van de afmetingen; de relatieve onzekerheden liggen hier aanmerkelijk hoger. Belangrijk zijn hier de snelle ontwikkeling van de vraag vanuit de nano-biotechnologie.
- Het meten van grote afstanden voor geodetische landmetingen, voor de ruimtevaart en voor de astronomie. Voor bijvoorbeeld snellere satelliet communicatie met lasers wordt een zeer precieze en stabiele laser uitlijning vereist.

Aangezien er veel optische expertise gebruikt wordt in Lengte, is het van belang dat de regering Fotonica tot speerpunt technologie heeft gemaakt en dit continueert. Dit geeft extra kansen op financiële middelen voor onderzoek en ontwikkeling.

B.7 Temperatuur en Luchtvochtigheid

B.7.1 Inleiding

Temperatuurmetingen zijn in vrijwel alle industrieën van groot belang. De daarmee verbonden temperatuurstandaarden vormen tevens de basis voor vele andere metrologische gebieden zoals Volumetrie en Chemie en moeten in Nederland gehandhaafd worden. Ontwikkelingen op het gebied van temperatuurmeting komen voort uit de vraag van met name de automotieve industrie naar dynamische temperatuurmetingen in het milliseconde bereik, het zoeken naar een vervanging van de kwikstandaard en onderzoek aan een fotonische temperatuurmeting (zgn. Quantum Thermometrie).

B.7.2 Huidige status van de metrologische infrastructuur

De beheerde standaarden opereren, volgens de scope van de RvA (sterk vereenvoudigd) in de volgende bereiken:

- Temperatuur van $-195 - + 1550$ °C met een onzekerheid van 0,5 mK respectievelijk 3,5 °C (contact thermometrie).
- Relatieve luchtvochtigheid 1% - 97% RH met een onzekerheid van $0.4 \%RH - 0.8 + (5 - t)/45 \times 0.8 \%RH$ (in het drukbereik 50 – 600 kPa(a) en temperatuurbereik $-40 - +5$ °C).

B.7.3 Inhoudelijke keuzes en huidig beheer van standaarden.

Mede in verband met het vertrek van personeelsleden is besloten de stralingsthermometrie (non-contact thermometrie) te ontmantelen (temperatuurbereik 1550 – 3000 °C). Deze werd vooral gebruikt voor de staalindustrie. Heropbouw van deze standaard is in verband met de niet meer aanwezige kennis, de hoge kosten, beslag op capaciteit en de afweging van het rendement niet wenselijk. Uitbreiding tot temperaturen onder de -195 °C zijn momenteel commercieel niet interessant en worden overal afgebouwd, alleen PTB werkt hier nog aan. Echter, mochten ontwikkelingen richting vloeibaar waterstof (LH₂) zich voordoen, dan kan een lage temperatuurmeting, met uitbreiding naar -254 °C, weer aantrekkelijk worden.

B.7.4 Technisch niveau van het standaarden beheer.

VSL temperatuurstandaarden zijn in hoge mate geautomatiseerd. Gedurende de dag worden de opstellingen voorbereid, gedurende de nacht worden de kalibraties automatisch uitgevoerd. Dit is zeer efficiënt. De standaarden zijn ISO17025 geaccrediteerd, er zijn geen afwijkingen gevonden bij de meest recente audit. Echter, er heeft geen nieuwe validatie plaatsgevonden na de verhuizing van het oude naar het nieuwe laboratorium. Derhalve is kwaliteitsmanagement een punt van zorg.

B.7.5 Toegankelijkheid en gebruik van standaarden.

Omzetontwikkeling is stabiel en er wordt geen stijging of daling verwacht. Voor standaardkalibraties wijken veel bedrijven uit kostenoverwegingen uit naar andere certificatielaboratoria zoals Kalibra of TKS. Fluke laat hoogwaardige kalibraties (dus met lage meetonzekerheid, orde-grootte milliKelvin) uitvoeren op klantwens bij VSL. Een eventuele voorgenomen kostprijsverhoging is niet wenselijk, dan prijst VSL zich uit de markt. Er is behoefte aan snel, goed en goedkoop kalibreren. Er is concurrentie vanuit Tsjechië, Oost-Europa. Er ligt (internationaal) een kans voor VSL, want PTB en LNE zijn niet commercieel, zij brengen geen offerte uit, en er zijn lange wachttijden.

B.7.6 Continuïteit in standaarden beheer.

De medewerkers in de groep werken er al lang, en de apparatuur is goed op orde. Het zou wellicht een goed idee zijn om jonge onderzoekers aan te trekken, om voorbereid te zijn op het vertrek of pensionering van medewerkers, het duurt ca. 5 jaar voordat nieuwe medewerkers op gelijkwaardig niveau zijn met de zittende medewerkers.

B.7.7 Aanbevelingen

Het NIST werkt aan fotonische temperatuurmeting. Hiermee meet je rechtstreeks de thermodynamische temperatuur en vervalt mogelijk de behoefte aan kalibraties. Het is zaak een EMPIR project hiervoor op te zetten "quantum thermometrie", b.v. samen met de Lengte groep.

Ingegeven vanuit de automotive industrie kan het ontwikkelen van een opstelling en meetmethode voor het kalibreren van dynamische temperaturen opgepakt worden. Mogelijk zou dit vanuit een EMPIR project gerealiseerd zou kunnen worden.

Er zou een EMPIR project opgestart moeten worden om het onderzoek naar de "ultra trace moisture" en "enhancement factors" ten behoeve van de omrekening van dauwpunt naar waterconcentratie in aardgas weer op te pakken en voort te zetten.

De definitie van RH% ligt nog niet vast boven 100 °C. VSL heeft hier al aan gewerkt, tot 180 °C in het EMPIR project HiT. In het algemeen is dit van belang voor alle droogprocessen in de industrie, b.v. in de papierindustrie. Het onderzoek bij VSL is momenteel gestopt.

B.8 Optica

B.8.1 Inleiding

Optica binnen VSL hield zich vanouds bezig met fotometrische en radiometrische kalibraties van lichtbronnen. Dit is altijd van groot belang geweest vanwege de aanwezigheid in Nederland van een belangrijke lichtindustrie, voorheen Philips Lighting, nu Signify. Maar optica als discipline heeft ook altijd een belangrijke rol gespeeld in het metrologisch gebied Lengte en dat is nog steeds zo. Het is dan ook niet verwonderlijk dat medewerkers die bij Optica werken soms ook aan Lengte werken en omgekeerd.

VSL heeft nieuwe methoden ontwikkeld voor de kallibratie van spectrale radiometers. Het toepassingsgebied van deze nieuwe radiometers is zeer groot: ultraviolet gebaseerde desinfectiesystemen (zoals gebruikt in ziekenhuizen), nieuwe optische bronnen voor medische toepassingen, en systemen voor aardobservatie (voor het monitoren van luchtvervuiling of de ozonlaag bijvoorbeeld). Omdat genoemde nieuwe kallibratiefaciliteit (nog) niet aanwezig is in andere metrologische instituten in Europa, heeft VSL unieke mogelijkheden op de internationale markt.

De Nederlandse regering heeft Fotonica tot speerpunttechnologie bestempeld. Vanouds is de optica in Nederland zeer sterk, zowel het academisch onderzoek als ook de industriële toepassingen. De compact disc speler van Philips en de optische lithografie machines van ASML zijn aansprekende voorbeelden. Echter, optische afbeeldingen, optische sensoren en behandelingen met lasers zijn ook enorm belangrijk geworden de detectie van vervuiling, in de landbouw, bij voedselkwaliteit en in medische toepassingen. Voorbeelden zijn behandeling van huidziekten met UV licht en het gebruik van UV lampen voor ontsmetting, bijvoorbeeld in operatiekamers en voor waterzuivering. Behalve voor bronnen en detectoren is het ontwikkelen van standaarden voor andere optische componenten zoals spectrometers en afbeeldingsoptiek (bepaling van aberraties) voor een breed golflengtegebied van röntgen tot infrarood essentieel voor de Nederlandse industrie. VSL moet inspelen op deze relatief nieuwe ontwikkelingen en een coördinerende rol op zich nemen. Hiertoe moet de metrologische infrastructuur worden uitgebreid naar nieuwe golflengten. Voor de steeds grotere eisen van nauwkeurigheid bij de fabricage van geïntegreerde schakelingen moet nieuwe metrologie bij kortere golflengten (extreem UV tot zwakke Röntgenstraling) ontwikkeld worden. Belangrijk in dit verband is dat VSL deelnemer is in een Delfts initiatief om een coherent afbeeldingssysteem te ontwikkelen voor zachte Röntgenstraling in het Dutch Optics Centre (DOC). VSL is goed aangehaakt en een gewaardeerde partner in het DOC en de directeur van VSL is lid van de Adviesraad van DOC.

B.8.2 Huidige status van de metrologische infrastructuur

De metrologische faciliteiten van VSL voor het meten van vormen zijn goed op orde. De nieuwe kalibratie instrumentatie voor spectrale radiometers is boven al genoemd. Verder zijn er geïntegreerde bollen en is er een faciliteit om hoekafhankelijke emissie van lichtbronnen zeer nauwkeurig te meten. Verder is er de op optische scatterometrie en ptychografie gebaseerde metrologie die, in combinatie met een AFM, nanostructuren zoals die in de halfgeleiderindustrie worden gemaakt kunnen meten. De kwaliteit van deze faciliteit en het onderzoek dat VSL verricht op dit gebied wordt onderstreept door de samenwerking met ASML en door het feit dat VSL een Europees consortium leidt op het gebied van optische superresolutie technieken voor zeer kleine structuren. VSL heeft tevens een techniek ontwikkeld om grote afstanden (tientallen meters) tot op de micrometer nauwkeurig te meten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van speciale lasers, de zogenaamde frequentiekammen. Deze faciliteit kan van bijzondere waarde zijn voor toepassingen in de ruimte, bijvoorbeeld voor het meten van afstanden tussen satellieten.

B.8.3 Inhoudelijke keuzes en huidig beheer van standaarden.

De instandhouding en het beheer van VSL faciliteiten voor het karakteriseren van lichtbronnen blijft belangrijk voor de Nederlandse lichtindustrie. De investeringen in de faciliteit voor de metrologie van nanostructuren ten behoeve van de hightech maakindustrie, speciaal de halfgeleiderindustrie, is juist gebleken. Voor ASML is verder onderzoek aan deze metrologie essentieel om nieuwe generaties van IC fabricage machines op de markt te kunnen brengen. Er is een hechte samenwerking tussen ASML en VSL op dit gebied. De langeafstandsmetingen zijn potentieel interessant voor de ruimtevaartindustrie. Deze industriële tak is relatief sterk in Nederland. Samenvattend kan gezegd worden dat de juiste keuzes zijn gemaakt.

B.8.4 Technisch niveau van het standaarden beheer.

Het technisch niveau van de bestaande faciliteiten is goed. Dit blijkt uit de contacten met het bedrijfsleven, de deelname aan Europese onderzoeksprojecten en de Key-comparisons.

B.8.5 Toegankelijkheid en gebruik van standaarden.

Er is voldoende capaciteit voor de toegang voor het bedrijfsleven tot de standaarden.

B.8.6 Continuïteit in standaarden beheer.

Er is veel overlap in expertise tussen lengte en Optica (Radiometrie) waardoor medewerkers van beide standaarden aan elkaars projecten kunnen bijdragen. Dit geeft flexibiliteit.

B.8.7 Aanbevelingen

Het werven van nieuw talent voor de metrologie heeft aandacht nodig. Studenten van de universiteiten en HBO instellingen moeten beter geïnformeerd worden over de metrologie en de kansen voor een carrière in deze sector. Dit kan onder andere door medewerkers van VSL gastcolleges te laten geven en door structurele verbindingen tussen medewerkers van VSL en de met hun expertise verwante universitaire groepen.

De regering heeft de fotonica tot speerpunt technologie gemaakt. Dit geeft extra kansen op financiële middelen voor onderzoek en ontwikkeling waar VSL op in moet springen. Er is veel kennis op hoog niveau op het gebied van de optica binnen VSL en er zijn daarom volop kansen om nationaal en internationaal met peers van het vakgebied samen te werken om zo extra fondsen binnen te halen.

Voor de instandhouding en verbreding van de faciliteiten en expertise in de optica is het van groot belang dat een senior onderzoeker van Optica een deeltijdpositie heeft aan de TU Delft. Hierdoor krijgt VSL toegang tot nieuwe financieringsmiddelen voor onderzoek. Bovendien wordt het netwerk van VSL zodoende versterkt en kan, door het geven van bijdragen aan het universitaire onderwijs, de metrologie als discipline meer bekend worden onder studenten. Dit samenwerkingsmodel tussen VSL en de TU Delft dat al voor het gebied Optica is geïmplementeerd, wordt door de RvD sterk aanbevolen voor senior onderzoekers van ook de andere gebieden. Behalve het in stand houden van de bestaande unieke metrologische infrastructuur voor radiometrie, beveelt de RvD aan om de verbreding van de optische expertise naar nieuwe toepassingen door te zetten en uit te breiden. Voorbeelden van deze verbreding zijn de eerder genoemde ptychografie en meer algemeen het afbeelden zonder lenzen, optische technieken voor aardobservatie en monitoring van luchtvervuiling, optische sensoren voor het detecteren van vervuiling. Ook verdient genoemd te worden het initiatief van VSL op nieuwe optische metrologie te ontwikkelen ten behoeve van kernfusie in samenwerking met Differ in Eindhoven en PTB in Braunschweig.

B.9 Volumetrie

B.9.1 Inleiding

Volumetrie speelt een belangrijke rol bij de implementatie, realisatie en verificatie van doelstellingen van o.a. de energietransitie en klimaatagenda. Met die achtergrond zijn belangrijke opgaven op het gebied van volumetrie, flowmeting van volume en massa vast te stellen. Zoals:

- Behoeftte aan waterstofmeting in het energiesysteem (waterstof auto's en tankstations, gebruik in de industrie, gebouwde omgeving waardoor gasmeters moeten worden aangepast, productie en kwaliteit van waterstof, transport van waterstof in gas of vloeistof vorm (LH₂))

- Verdere ontwikkeling van small-scale LNG voor tanktransport, schepen- en bunkerfaciliteiten en mobiele tankstations
- Toenemend belang voor de bepaling van gassamenstelling (kwaliteit H₂, vervuiling, samenstelling LNG, methaan getal, aardgas samenstelling na menging met groen gas, buitenlands gas of gasvormig gemaakt LNG)
- Energie meting i.p.v. volume of massa meting, dus calorische waardebepaling.
- Fiscale metingen van nieuwe energie stromen, zoals groen gas, LNG, H₂, CO₂-neutale brandstoffen

B.9.2 Huidige status van de metrologische infrastructuur

De faciliteiten Westerbork en Bergum die in het verleden gebruikt werden voor hoge druk kalibratie zijn gesloten. De faciliteiten voor visceuse vloeistoffen en water in Dordrecht zijn uit gebruik genomen en niet vervangen. Er wordt voor kalibratie gebruik gemaakt van de EuroLoop faciliteit, maar deze installatie is in 2018 verkocht aan een private partij.

Voor waterkalibratie zijn er in Dordrecht nog faciliteiten, maar VSL heeft aangegeven deze te sluiten en gedeeltelijk te verhuizen naar Delft. Onduidelijk is of in Delft dezelfde scope nog kan worden aangeboden aan de markt of dat ook hier gebruik gemaakt gaat worden van kalibratiefaciliteiten van derden.

Voor de kalibratie van gas en vloeistof onder extremere condities zoals hoge druk, hoge viscositeit of extreem lage of hoge debieten wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van kalibratiefaciliteiten bij derden zoals Euroloop, waar ook de VSL gas-oil-piston-prover (de primaire standaard voor gas) en Trasy's staan opgesteld. In zo'n soort model wordt de gehele kalibratiefaciliteit niet door VSL beheerd, maar faciliteert deze wel de nationale standaard. VSL verzorgt dan voor de herleidbaarheid naar de SI eenheid. In de toekomst zou dit model verder kunnen worden uitgebouwd, bijvoorbeeld voor micro- en nanoflow, en mogelijk ook voor LNG kalibratie voor het midden debiet gebied.

Voor de kalibratie van vloeibaar aardgas (LNG) is een primaire standaard opgebouwd in Delft. In Rotterdam wordt een mid-scale kalibratiefaciliteit voor LNG ontwikkeld. Hiermee is VSL leidend in de wereld met op dit moment de enige operationele LNG kalibratiefaciliteit. De andere faciliteit bij NIST is op dit moment niet operationeel, zodat VSL een (tijdelijke) monopolie positie op LNG kalibratie bezit.

B.9.3 Inhoudelijke keuzes en huidig beheer van standaarden.

Er is een risico dat de faciliteiten onder eigen beheer van VSL te beperkt zijn om het kennisniveau op peil te houden. Dit geldt in het bijzonder voor kalibratie onder hoge druk, viscositeit, microflow en hoog volume vloeistof en gas.

Door het stoppen van de kalibratie van viskeuze flowstoffen in Dordrecht is VSL aangewezen op de beschikbaarheid van de commerciële faciliteit EuroLoop in Rotterdam. Na verkoop van de EuroLoop faciliteit is het van belang dat er goede samenwerking is en transparante afspraken worden gemaakt met EuroLoop om de nationale volume standaard voor hoge druk adequaat te kunnen beheren en in te kunnen zetten bij (bijvoorbeeld EMPIR) projecten.

De waterkalibratiefaciliteit in het Reynoldslaboratorium in Dordrecht is ontmanteld. Er is de RvD nog geen voorstel bekend of en hoe VSL een dergelijke faciliteit in haar strategische plannen heeft opgenomen.

B.9.4 Technisch niveau van het standaarden beheer.

De standaarden onder beheer van VSL zijn RvA geaccrediteerd en worden jaarlijks geauditeerd. Dit geldt tevens voor de organisaties waar VSL gebruik van maakt. Internationaal wordt VSL erkend als een van de leidende metrologie instituten op flow en volumetrie gekoppeld aan met name het gebruik van aardgas in Nederland. Het is van belang deze positie te behouden en uit te breiden naar de nieuwe gassen, biogas, groen gas, waterstof.

B.9.5 Toegankelijkheid en gebruik van standaarden.

In dit werkveld is er veel vraag vanuit het bedrijfsleven voor het gebruik van de standaarden voor kalibratie van flowmeters voor massa en volume flow. Hoewel andere Europese metrologie instituten deze flowstandaarden aanbieden, zoals PTB, NEL, Force, heeft het Nederlands bedrijfsleven een voorkeur voor kalibratie door VSL vanwege klantvriendelijkheid, bereikbaarheid en aantrekkelijke levertijd.

B.9.6 Continuïteit in standaarden beheer.

De afdeling volumetrie en flow kalibratie hebben de laatste tijd flinke fluctuaties in de personele samenstelling laten zien. Aangezien dit een van de belangrijkste en toonaangevende gebieden van kalibratie is, is het voor VSL belangrijk de stabiliteit weer op peil te brengen en te waarborgen door het beschikbaar houden en opleiden van voldoende senior expertise in dit werkveld. Nieuwe medewerkers hebben een goede inwerkperiode nodig, door zowel eigen senior personeel als eventueel externe experts, om zich de fijne kneepjes van het vak eigen te maken. Dit is noodzakelijk, omdat het uitvoeren van flow kalibraties door nieuwe medewerkers voor klanten in het verleden regelmatig voor afwijkende certificaten en disputen tussen klant en VSL hebben gezorgd.

B.9.7 Aanbevelingen

Ontwikkel een model waarbij VSL gebruik kan maken van faciliteiten van derden en waarbij VSL de herleidbaarheid naar SI eenheden en de toegang voor marktpartijen blijft waarborgen. In het bijzonder geldt dit voor de inzet van kalibratie faciliteiten van derden voor het werkgebied micro- en nanoflow. Werk aan een plan voor de continuering van de waterkalibratie faciliteit uit Dordrecht.

De activiteiten op het gebied van kalibratie van LNG ten behoeve van small-scale LNG toepassingen moet worden doorgezet. LNG heeft inmiddels zijn positie gevonden in de zwaar transport mobiliteitssector zoals vrachtvervoer, binnenvaart, ferry's en cruiseschepen. De eerste bunkerschepen voor LNG zijn ontwikkeld, LNG terminals hebben o.a. in Zeebrugge en Rotterdam ook een LNG tankstation voor vrachtwagens en schepen. Maar op veel plaatsen worden schepen nog gebunkerd met behulp van LNG tank auto's en mobiele units voor flow meting. De verwachting is dat deze small-scale LNG markt zal toenemen wereldwijd en er meer flowkalibratie gevraagd zal worden.

In de energie transitie speelt waterstof een steeds belangrijker rol om de CO₂ footprint te verlagen voor de mobiliteitssector, gebouwde omgeving en met name de industrie (chemie, raffinage, staal, glas, cement). Waterstof kan daarbij zowel uit aardgas als uit duurzame elektriciteit worden geproduceerd. Transport kan plaatsvinden in gasvorm via pijpleidingen, of bijvoorbeeld in vloeibare vorm bij -254°C (LH₂). Voor het meten van de waterstofstroom is zowel de volume of massa meting van belang, maar ook de zuiverheid en concentratie van de waterstofstroom. Dit zou een nieuw werkveld voor VSL flow kalibratie moeten worden waarbij de relevante range van volume en massa flow en druk nog moet worden vastgesteld.

Emissiemetingen worden steeds belangrijker. Naast CO₂ emissie- en transportmetingen komt er steeds meer aandacht voor andere broeikasgassen, zoals bijvoorbeeld methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). Er komen online meters op de markt van gassamenstelling die zowel de energiestroom als

gassamenstelling kunnen meten. VSL kan een rol spelen bij de toepasbaarheid van deze nieuwe technologie alsmede bij de standaardisering ervan.

APPENDIX I: Beschouwing en realisatie adviezen 2013-2016

1.1 Terugblik op het huidige strategisch advies 2013-2016

Generiek

Advies 1: Richt in samenwerking met universiteiten deeltijdposities in voor senior onderzoekers van VSL in relevante vakgroepen aan universiteiten op het gebied van de kerngebieden van het metrologisch onderzoek van VSL. Stel hiertoe een plan van aanpak op gericht op uitvoering per 2014.

Een plan van aanpak voor realisatie van deeltijdposities in relevante vakgroepen aan universiteiten voor senior onderzoekers van VSL is niet gerealiseerd en derhalve ook niet uitgevoerd. Om dit wel van de grond te krijgen is het noodzakelijk dat hier in het budget van VSL ruimte (zowel tijd als geld) voor wordt gemaakt, zodat de betrokken medewerkers 1 dag in de week onderzoek kunnen doen bij een universiteit.

Alleen binnen Optica is er vanuit VSL een deeltijd UHD-aanstelling gerealiseerd. Wel zijn er tussen verschillende vakgroepen van VSL en diverse universiteiten samenwerkingsverbanden ontstaan. Bijvoorbeeld op het gebied van de Elektriciteit is er samenwerking met de TU/e en de UT, bij HF is er sprake van een uitstekende samenwerking met de TUD, Thermometrie heeft een goede samenwerking met de RUG.

Advies 2:

- a. *Ondersteun actief een vervolg op het European Metrology Research Programme (EMRP).*
- b. *Blijf investeren in fundamenteel onderzoek (in Europees verband) naar modern standaarden om zodoende een technologische voorsprong en daardoor ook de meerwaarde in de toekomst voor de Nederlandse industrie te behouden.*
- c. *Intensiveer de samenwerking met Europese meetinstellingen, onderwijsinstellingen en bedrijfsleven vooral ten aanzien van de nieuwe gebieden. Maak optimaal gebruik van de mogelijkheden die universiteiten en onderzoeksprogramma's op deze universiteiten bieden.*
- d. *Stimuleer en waardeer het publiceren in wetenschappelijke tijdschriften.*

Ad a) EMPIR (European Metrology Programme for Innovation and Research) is de opvolger van EMRP (European Metrology Research Programme).

Ad b) VSL is zeer succesvol en actief binnen EMPIR en KP7 (KP7 is opgevolgd door Horizon 2020).

Ad c) VSL heeft zich gericht op de speerpunten en is ook actief de samenwerking met marktpartijen (industrie) gaan zoeken. Dat heeft daarop ook weer geleid tot nieuwe EMPIR projecten. KP7 projecten zijn altijd met industriële partners.

Ad d) De RvD vraagt bij de jaarlijkse voortgangsgesprekken gericht om wetenschappelijke publicaties. Als die er niet zijn, of slechts beperkt, dan vraagt de RvD om meer mogelijkheden te zoeken. In de afgelopen jaren is het aantal publicaties toegenomen. Bij o.m. de groepen Elektriciteit en Thermometrie wordt jaarlijks een aantal hoogstaande papers gepubliceerd.

Chemie

Advies 3: Het blijft noodzakelijk te investeren op het gebied van gasanalyses (lagere detectiegrenzen en hogere nauwkeurigheden) om de toppositie te behouden.

Dit advies is opgevolgd. Chemie, en meer specifiek gasanalyse, is een van de speerpunten van VSL en het is ook een van de gebieden waarop VSL een internationale toppositie bekleedt. De prioritaire

aandachtspunten ten tijde van het advies waren milieu / energie en gezondheid (voedsel), met nadruk op emissies van gassen en bepaalde stoffen, nanomaterialen en grondstoffen voor energieconversieprocessen (biobrandstoffen).

Sinds het advies heeft VSL deelgenomen aan verschillende Europese projecten (als coördinator en of WP-leider), wat heeft geresulteerd in de verdere ontwikkeling van normen, referentiematerialen, onzekerheidsbeheer en kwaliteitsborging. De leidende positie van VSL wordt weerspiegeld in de leidende rol bij de herziening van ISO-normen (b.v., ISO 19229, ISO/TC193) en coördinator/WP-leiderschapsrol in groot internationaal consortia.

In 2017 werden verschillende grote Europese projecten afgerond op het gebied van het advies (oxy-VOC's, NH₃, kwik, broeikasgassen, LNG en biogas) en werden nieuwe projecten gestart die voor enige continuïteit tot 2018/2019 zorgen (EMPIR-projecten voor emissies, NO₂, LNG, kwik, waterstof en biomethaan). Ontwikkelingen in deze projecten hebben potentieel voor grotere impact. Bijvoorbeeld, meetmethoden voor HCL, mierenzuur en formaldehyde (EMPIR-Metrology for Hydrogen Vehicles) of de referentiemethode voor meetstandaard voor amines (EMPIR-Biomethaan) zijn van belang voor het meten van fakkeltgassen bij verbranding/ vergassing van biomassa of na CO₂ opvangen (postcombustion capture via amine solvents), die mogelijk vereist zijn als onderdeel van de energietransitie. Er waren ook ontwikkelingen met betrekking tot softwareontwikkeling voor automatisering die hebben geleid tot verbetering in de kwaliteit van de software en betere samenwerking tussen gebruikers en automatiseerders.

Advies 4: Participeer actief in een internationaal samenwerkingsverband waarbinnen een verkennende studie naar de haalbaarheid en toepassing van gecertificeerde referentiematerialen voor voedselveiligheid en -betrouwbaarheid wordt uitgevoerd.

De situatie met betrekking tot advies 4 is heel anders. Voor zover de RvD kan zien, heeft voedselveiligheid bij VSL geen prioriteit. Dit kan te wijten zijn aan het gebrek aan expertise op dit gebied (zoals aangegeven in het advies voor 2013-2016). Als de RvD het correct interpreteert, gezien het huidige gebrek aan multidisciplinaire expertise bij VSL op dit gebied en de huidige setting (waarin de wetenschappelijke kennisvoorziening van de overheid voor voedselveiligheid is ondergebracht bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), RIKILT en CVI van Wageningen University & Research Centrum), is er geen (urgente) behoefte aan VSL om hier een sleutelrol te spelen.

Elektriciteit en magnetisme

Advies 5: Breng de faciliteiten op peil voor:

- *Het meten van de kwaliteit en stabiliteit van het hoogspanningsnet, onder andere fasehoekmetingen (Phasor Measurement Units, PMU's).*
- *Het meten van efficiency en stroom- en spanningskenmerken van nieuwe technologieën (verliesmetingen)*
- *Het meten van de kwaliteit van de elektriciteitsvoorziening in laag- en middenspanningsnetten (Power Quality, PQ-aspecten)*

De eerste 2 deeladviezen (PMU's en verliesmetingen) zijn volledig en succesvol uitgevoerd. VSL is nu leidend, en toonaangevend in Europa (wereld). Het derde aspect is deels uitgevoerd, waarbij de belemmerende factor de marktontwikkelingen zijn. Met name de diversiteit van de stakeholders en hun belangen spelen een dominante rol. Echter, op een afgeleid gebied, de elektromagnetische interferentie (EMI, EMC, ook PQ) van statische en slimme energiemeters, speelt VSL opnieuw een leidende rol in Europa.

Advies 6: Ontwikkel de volgende speerpunten van wetenschappelijk onderzoek:

- *Geavanceerde sampling(meet)methoden voor wisselspanning en –stroom.*
- *Meten van Power Quality aspecten, propagatie door het net en tijdsynchronisatie van metingen in elektriciteitsnetten, fasehoekmetingen.*
- *Toepassing en kalibratie van niet-conventionele meettransformatoren*

Het eerste en derde aspect zijn naar hoog niveau gebracht, vooral door de intensieve samenwerking met andere leidende NMI's in Europa op dit gebied (NPL, RISE). Het tweede aspect is complex en nog verder in ontwikkeling. PQ is een belangrijk en groeiend onderzoeksgebied op de TU/e en elektromagnetische interferentie (EMI) als gevolg van onvoldoende PQ is een belangrijk en groeiend onderzoeksgebied op de UT. VSL werkt samen met TU/e en twee promovendi die een onderzoek doen naar propagatie van PQ-aspecten in elektriciteitsnetten enerzijds, en de toepassing van PMU's in distributienetten anderzijds.

Tijd & frequentie

Advies 7: Zet de ontwikkelingen aan het glasfibernetwerk voortvarend door, en werk daarbij nauw samen met nationale en internationale partners.

VSL is bezig in het kader van tender van ESTEC om “white rabbit” over de grens voor elkaar te krijgen. Dit is succesvol afgerond. De verbinding tussen Brussel en Noordwijk is officieel sinds 14 november 2018 operationeel. Ook is er een goede verbinding tussen Delft en Amsterdam.

Advies 8: Zet een communicatieplan op om de markt wat “agressiever” te benaderen en verbeter de directe toegankelijkheid van de technici voor klanten met een certificeringswens.

Financiële instellingen en mogelijk andere geïnteresseerden, zoals netbeheerders, zijn benaderd in accurate tijd synchronisatie met VSL. Zaken gaan langzaam o.a. omdat er nog geen wetgeving is. Eisen aan nauwkeurigheid van de tijdbepaling voor financiële instellingen zijn nu relatief licht. Europese regelgeving is ingevoerd per 3 januari 2018. Er is nog geen grote vraag ontstaan uit de financiële sector omdat de autoriteit financiële markten (AFM) nog geen toezicht hierop uitoefent. VSL heeft de eerste klanten al kunnen bedienen met een tijdkalibratiedienst. Er wordt nog niet continu tijd geleverd (via glasvezel). Er kan nog meer werk worden gemaakt aan verdere commercialisering en inzet /ontwikkeling van deze dienst. Hiervoor kunnen o.a. de contacten met de TU Delft worden gebruikt op het gebied van navigatie/GPS maar ook time-of-flight positron emissie tomografie, tijdbepaling/timestamping voor de AFM, DigID (overheid), surfnet diensten en andere providers.

Ioniserende straling

Advies 9: VSL moet samen met de fabrikanten, gebruikers en beroepsverenigingen tot een plan van aanpak komen voor de realisatie van gestandaardiseerde ijkbronnen voor het kalibreren van PET scanners en voor dosiskalibratoren.

Noodzaak lijkt inmiddels minder. Benodigde nauwkeurigheid is vrij laag en wordt door de markt zelf opgelost.

Advies 10: De kalibratiefaciliteit voor put-ionisatiekamers voor iridium-192 high dose rate bronnen en low dose rate jodium-125 zaadjes dient te worden voltooid. Samen met de beroepsverenigingen moet VSL een aanbeveling formuleren betreffende regelmatige kalibratie van deze putionisatiekamers voor gebruik in de brachytherapie.

Dit is gereed en er zijn NCS aanbevelingen deze kalibratie te gebruiken.

Advies 11: Continueer het onderzoek naar het gebruik van de watercalorimeter van VSL voor de kalibratie van protonenbundels en van fotonenbundels van MRI-versnellers.

De calorimetrie voor de Elekta Unity MR linac is uitgebreid getest en bleek uitstekend te functioneren in het UMC-Utrecht. Verder is deze naar tevredenheid ingezet voor FFF-bundels en medium energie röntgenstraling. De watercalorimeter past goed in de wenselijke trend metrologie bij de klant aan te bieden. Als er voldoende bundeltijd beschikbaar komt zal VSL protonendosimetrie gaan ontwikkelen met het systeem.

Massa, druk en viscositeit (MDV)

Advies 12: "Massa, druk en viscositeit" (MDV) is binnen VSL de enige groep zonder EMRP of KP7 projecten. Onderzoek de mogelijke uitbreiding voor R&D- samenwerking tussen Massa, Volumetrie en Chemie.

Binnen MDV is de afgelopen periode een toename van R&D waargenomen: MDV heeft in 2017 het EMRP-project *Sensor development and calibration method for inline detection of viscosity and solids content of non-Newtonian liquids* succesvol afgerond en in 2018 is een nieuw EMPIR-project gestart over herleidbare dynamische drukmetingen. VSL gaat samen met Minerva BV een faciliteit voor herleidbare dynamische drukken tot 500 MPa op een tijdschaal van milliseconden ontwikkelen. Dynamische metingen en kalibraties zijn een belangrijke metrologische ontwikkeling. De samenwerking tussen massa en chemie is uitgebreid met name door verdere en verbeterde automatisering van gasweging.

Advies 13: Zorg voor duidelijkheid qua verantwoordelijkheden omtrent de nationale kalibratie-faciliteiten voor Kracht en Moment. VSL is ten minste aanspreekpunt voor deze massa- gerelateerde grootheden.

VSL zorgt voor de herleidbaarheid van onze nationale standaarden en is voor de "markt" of het bedrijfsleven toegankelijk via dienstverlening in de vorm van advies en kalibraties. De RvA scope van VSL geeft een goed overzicht van alle VSL kalibratie faciliteiten. VSL zelf verricht geen kalibraties kracht en moment; hiervoor kan het bedrijfsleven terecht bij de respectievelijke kalibratielaboratoria Caliz B.V. en NMI Certin B.V. Deze kalibratielabs zijn veelal herleidbaar via VSL.

Lengte

Advies 14: Continueren van activiteiten en niveau voor High Tech Systems en micro- en nanometrologie.

Nano- en microtechnologie is momenteel een van de vijf speerpunten van VSL en de adviezen van de RvD zijn goed opgepakt gezien de vele internationale KP7- en EMRP-projecten in onderstaande categorieën:

- nanometrologie
- micrometrologie/ 3D micromeetmachine
- interferometrie voor lengte en oppervlakten
- proces- en fabricagemetrologie

In deze projecten wordt samengewerkt met NMI's, universiteiten en bedrijfsleven. Door deelname aan de KP7-projecten blijft VSL tevens goed op de hoogte van de ontwikkelingen en de wensen bij het Hightech bedrijfsleven.

Advies 15: Verken de metrologiemarkt voor nano-biotechnologie nader en kijk in hoeverre het mogelijk en zinvol is de samenwerking met Amsterdam UMC en anderen uit te breiden en te structureren.

De verwachting is nog steeds dat de biotechnologie een enorme groei zal doormaken en dat er veel vraag naar nieuwe meet- en kalibratietechnieken zal zijn. Het is nog steeds moeilijk te overzien welke nano-bioactiviteiten en ontwikkelingen plaatsvinden bij de Nederlandse bedrijven en universiteiten. De bio-nanotechnologie is door VSL opgepakt o.a. met het AFM-microvesikels project.

Thermometrie en luchtvochtigheid

Advies 16: continueer het onderzoek naar het effect van onzuiverheden op het watertripelpunt.

Dit is gebeurd, is afgerond en heeft o.a. geresulteerd in 2 papers uit de samenwerking met prof. Harro Meijer uit Groningen. Andere publicaties zijn gedaan samen met het NIST en SMD (Belgische NMI).

Advies 17: Continueer de ontwikkeling van methoden voor het meten van vocht in aardgas op hoge druk.

Dit is gebeurd en is deels afgerond. De gebouwde primaire standaard is uniek, VSL is het eerste instituut dat vocht in aardgas kan meten tot 65 bar. Voordat dit operationeel is moet nog een aantal problemen worden opgelost. De zogeheten "enhancement factors" (deze zijn onbekend voor aardgas; nodig t.b.v. het omrekenen van dauwpunt naar de waterconcentratie) kunnen worden onderzocht met de opstelling (onderzoek naar "ultra trace moisture" (< 1 PPM water in gas)). Kanttekening: onderzoek kan alleen worden uitgevoerd via EMPIR projecten, er is geen budget binnen VSL voor "eigen" onderzoek. Het onderzoek bij VSL is momenteel gestopt, de RvD kan zich hier in vinden.

Optica

Advies 18: Bouw de metrologische adviesactiviteit op het gebied van ruimtelijke stralingsmeting verder uit, onder andere ten gunste van de aardobservatie en de Nederlandse ruimtevaart. Verken het verre infrarood tot en met het terahertzgebied.

In het verleden waren de fotometrische en radiometrische kalibraties vooral gericht op lampen, met name LEDs. Het aantal kalibraties van LEDs is de laatste tijd minder geworden. Twee medewerkers die vooral actief waren op dit gebied hebben VSL verlaten. De twee medewerkers die nu de optische standaarden behartigen, zijn beiden senior onderzoekers met een uitstekende kennis van de optica. Hierdoor zijn er nu uitstekende mogelijkheden om de bestaande adviesactiviteit verder uit te breiden naar andere toepassingen, bijvoorbeeld die genoemd in bovenstaand advies. Dit advies is gedeeltelijk opgevolgd doordat VSL nieuwe methoden voor de kalibratie van spectrale radiometers heeft ontworpen. Het toepassingsgebied van deze radiometers is zeer groot: ultraviolet gebaseerde desinfectiesystemen (bijvoorbeeld voor ziekenhuizen), nieuwe bronnen voor medische toepassingen en systemen voor observatie van de aarde (bijvoorbeeld monitoring van de ozon laag). Omdat vergelijkbare kalibratiemethoden nog niet aanwezig zijn in andere metrologie instituten, biedt dit unieke kansen voor VSL om opdrachten ook op de internationale markt te verkrijgen.

Advies 19: Ga door met het ontwikkelen van metrologische en spectroscopische kennis en kunde op het gebied van solid-state verlichting met behulp van LEDs, OLEDs en lasers. Onderhoud contacten met Philips en Holst Centre.

Dit betreft vooral onderzoek naar de definitie van en de realisatie van nieuwe standaarden voor LEDs. Het aantal kalibraties uitgevoerd voor externe klanten is afgenomen. Hierbij kan de herstructurering bij Philips een rol hebben gespeeld. Een plan voor een nieuwe focus van de toepassingen van de radiometrie naar andere optische toepassingen zoals de bovengenoemde brede spectrale analyse van bronnen en detectoren is nodig. De regering heeft de fotonica tot speerpunttechnologie gemaakt en er zijn veel bedrijven in Nederland die werken op het gebied van optica en fotonica. VSL kan een belangrijke rol spelen in het ecosysteem bestaande uit universiteiten, TNO en bedrijven. Een

voorbeeld van een dergelijk ecosysteem waarin VSL al een duidelijke rol speelt is het Dutch Optics Centre. Om deze rol te versterken is een verbreding van het aan optica gerelateerde standaardenbeheer gewenst.

Advies 20: Benut de brede optische expertise en verken nieuwe onderwerpen. De verbreding van onderwerpen is belangrijk om aan EMRP-projecten mee te kunnen doen en is ook van belang voor de Nederlandse industrie.

Zoals uit het commentaar bij Advies 18 volgt, zijn nieuwe onderwerpen inderdaad verkend en deels ook al met succes opgestart. De verbreding is nog niet afgerond hetgeen mede veroorzaakt werd door het vertrek van twee medewerkers.

Volumetrie

Advies 21: Blijf aandacht besteden aan het onderhoud van de lage druk gas standaard en verdere reductie van de gerealiseerde onzekerheden van de nieuwe faciliteiten voor hoge druk gas en minerale oliën.

De faciliteit voor minerale oliën in Dordrecht is gestopt en niet vervangen. De faciliteiten voor hoge druk gas (tot 60 bar) en minerale oliën (viscositeit van 1 – 100 cP) in Rotterdam zijn verzelfstandigd tot Euroloop B.V. en VSL is geen aandeelhouder meer. Wel is de hoge druk faciliteit GasCal onderdeel van het Europees programma voor harmonisatie van nationale standaarden en worden er regelmatig Key Comparisons uitgevoerd o.l.v. VSL.

Advies 22: Werk aan een verdere reductie van de onzekerheid van de primaire LNG standaard om, zo mogelijk, de doelstelling van 0,05% te behalen.

Er is een primaire standard ontwikkeld voor kalibratie van LNG flow meters, de CMC claim is echter nog niet wat in het advies is aangegeven en nog niet opgenomen in de scope van verrichtingen van VSL (K999). De kalibratie faciliteit in Rotterdam die is opgezet om hogere debieten te kunnen kalibreren (mid scale) is nog niet operationeel en heeft significante vertraging opgelopen. Door de deelname aan diverse EMPiR en TKI projecten is de kennis van LNG kalibratie op orde. De faciliteit bij VSL is uniek in de wereld.

Advies 23: Blijf werken aan de verdere ontwikkeling van een primaire standaard voor micro- en nanoflow met een lage onzekerheid.

Er is in het kader van een EMPiR project gewerkt aan micro flow kalibratie voor drug delivery in medische toepassingen. Dit heeft echter nog niet geleid een primaire standaard op micro- of nanoflow gebied.

Advies 24: Volg nauwlettend de ontwikkelingen op het terrein van gasemissies. Zorg dat er herleidbaarheid kan worden aangeboden zodra betrouwbare industriële meetinstrumentatie op de markt beschikbaar komt.

Er zijn de afgelopen jaren diverse EMPiR projecten uitgevoerd in het kader van het meten van gasemissie, o.a. in flares (fakkellinstallaties).

1.2 Welke activiteiten kunnen in lijn met het advies 2013-2016 worden gecontinueerd en overgenomen worden in het advies 2019-2023

Generiek

Advies 1: Niet nastreven om een eigen leerstoel op te zetten, wel om metrologie in meerdere vakgebieden in het curriculum te integreren. Deeltijd aanstelling als UHD/UD van VSL medewerkers aan universiteiten wordt als een zeer wenselijke ontwikkeling gezien. Tevens opent dit de mogelijkheid om voor nieuwe subsidiestromen in aanmerking te komen.

Advies 2: EMPIR is een wezenlijk onderdeel in de ontwikkeling van een Europees netwerk. Het is ook het belangrijkste middel om te investeren in nieuwe onderwerpen, en daarbij te werken aan de door VSL voor zichzelf gedefinieerde focusgebieden.

Chemie

Advies 3 moet worden voortgezet. De topospositie van VSL in Chemie moet de komende jaren worden gehandhaafd en verder worden ontwikkeld. Met de huidige trends in de samenleving (energietransitie, circulaire economie, CO₂ reductie) zullen de gebieden milieu en energie verder toenemen in belang en de topospositie kan niet worden behouden zonder structurele investeringen in apparatuur en mensen. De overgang van aardgas naar alternatieve en hernieuwbare grondstoffen verlaagt de relevantie van het ontwikkelen en onderhouden van een leidende positie op gebieden die sterk verband houden met fossiele brandstoffen (zoals kwikmeting) en vergroot de behoefte om verder te ontwikkelen op gebieden die de huidige trends ondersteunen. Er zijn duidelijke verbanden tussen ontwikkelingen in de chemie en andere gebieden (stroming, massa en elektriciteit (trends in de elektrochemische productie van chemicaliën/brandstoffen en H₂-elektrolyse)). Het nieuwe advies legt de nadruk op de noodzaak om de samenwerking tussen deze drie gebieden te versterken, hetgeen zal resulteren in synergiën en een kern van activiteiten met kritische massa zal creëren.

Advies 4: kan worden stopgezet. Op dit moment is er geen (urgente) behoefte bij VSL om bij het themagebied voedselveiligheid een sleutelrol te spelen gezien het gebrek aan multidisciplinaire expertise in het gebied. Niettemin moeten de ontwikkelingen op dit gebied in de gaten gehouden worden.

Elektriciteit en magnetisme

Advies 5 en 6: Een verdere specialisatie van deze onderwerpen, PMU, verliesmetingen en PQ in hoog-, midden en laagspanningsnetten, is gewenst en noodzakelijk gezien de energietransitie, die alleen maar mogelijk is via elektriciteit. Een verdere concentratie en specialisatie rondom "smart grid" thema's is noodzakelijk.

Tijd & frequentie

Advies 7: Er moet blijvend ingezet worden op glasvezelverbindingen. Daarnaast is voor een stevig fundament het zeer wenselijk te blijven streven naar het verbeteren van tijdsynchronisatie en bepaling. Dat kan later nuttig zijn voor de financiële sector maar ook andere afnemers. Het is belangrijk dat ook de satelliettechnieken voor tijd- en frequentietransfer in stand worden gehouden. Voor lange afstanden van bijv. meer dan 1000 km is glasvezel nog geen goed alternatief. Bovendien is redundantie door gebruik van verschillende technieken belangrijk voor de continuïteit van processen. Voor de continuïteit moet ook de gehele keten worden beoordeeld (zie ook huidige status metrologische infrastructuur). In dit kader is het goed dat VSL deelneemt aan het project JRP s16 TiFOON: "Advanced time/frequency comparison and dissemination through optical telecommunication networks".

Advies 8: Verder moet nog een slag gemaakt worden met het benaderen en interesseren van toekomstige klanten voor het gebruik van nauwkeurigere tijdstempels en kalibratie van de benodigde apparatuur ter plaatse. Ook kunnen nieuwe toepassingsgebieden worden onderzocht, wellicht Cryptomunten.

Ioniserende straling

Advies 9: Vanwege het toenemende klinische gebruik van alternatieve isotopen blijft het zaak deze ontwikkelingen in de gaten te houden. Zie ook advies 10.

Advies 10: Er worden vaker alternatieve isotopen ingezet als onderdeel van de oncologische behandeling. Daarnaast wordt de therapeutische behandeling met radioactieve nucliden in de nieuwe wetgeving beschouwd als een vorm van radiotherapie waaraan hogere eisen worden gesteld op het gebied van dosimetrie.

Advies 11: Test de watercalorimeter ook in het ViewRay MRIdian systeem. Test het systeem daarnaast ook voor protontherapie en onderzoek of en op welke manier het systeem ingezet kan worden bij FFF bundels en kleine velden. Continueer de ontwikkeling van audits per post (filmdosimetrie) voor dosimetrie bij de klant, zowel voor eenvoudige als meer klinisch-relevante veldvormen. Ga door met het bepalen van de nieuwe correctie factoren voor verschillende ionisatiekamers (IAEA project) en beoordeel welke aanpassingen nodig zijn voor FFF bundels.

Massa, druk en viscositeit (MDV)

Adviezen 12 en 13: Primair continuering van het beheer van de (praktische) standaarden voor massa, druk en viscositeit. Verder is continuering van de deelname aan (EMPIR Horizon 2020, de opvolger van KP7 en Horizon Europe, de opvolger van Horizon 2020) onderzoeksprojecten belangrijk voor handhaving van het eigen niveau en het internationale netwerk. Continuering van de automatisering en samenwerking met Chemie (en eventueel andere groepen binnen VSL) is belangrijk voor de efficiëntie en toegankelijkheid voor het bedrijfsleven.

Lengte

Adviezen 14 en 15: Beide adviezen 14 en 15 uit het advies 2013-2016 kunnen gecontinueerd worden. De metrologie van lengte is voor een groot deel optische metrologie. Meestal gaat het niet zo zeer om het meten van lengten maar meer om het bepalen van de vorm van structuren. Vaak betreft dit micro- en nanostructuren zoals bijvoorbeeld in de IC fabricage door ASML of biologische structuren zoals microvesikels. Het is goed dat VSL expertise en internationale zichtbaarheid heeft op dit gebied. Door deelname aan Europese onderzoeksprojecten kan VSL bijdragen aan dit voor ASML zeer belangrijke onderwerp. Ook nationale financiering en samenwerking via bijvoorbeeld TKI is belangrijk.

Thermometrie en luchtvochtigheid

Advies 16: Dit is afgerond. VSL is wereldwijd één van de beste instituten op het gebied van het watertripelpunt. VSL is WP leider in het EMPIR REAL-K project, de realisatie van de nieuwe Kelvin. Het WP van VSL betreft de “none uniqueness” van de ITS90. Het gaat om het reduceren van de onzekerheid van de interpolatie tussen de 17 vaste punten (gebaseerd op de fase overgang van high purity materialen). Daarnaast moet kwik worden vervangen als 1 van deze punten omdat kwik niet meer is toegestaan. Er wordt gezocht naar een high purity materiaal met een triple point rond de -100 °C (midden tussen argon en water).

Het nieuwe advies is derhalve het doen van onderzoek naar de “none uniqueness” van de ITS90 alsmede het vinden van een materiaal met een triple point rond de -100°C.

Advies 17: Het meten van vocht in aardgas op 65 bar kan worden toegepast bij het transport van aardgas, b.v. van Rusland via Oekraïne. Als er een afwijking is bij het omrekenen van het dauwpunt naar de waterconcentratie gaat het al snel om grote bedragen in de afrekening van het aardgas.

Het nieuwe advies is derhalve om het onderzoek naar de “ultra trace moisture” en “enhancement factors” ten behoeve van de omrekening van dauwpunt naar waterconcentratie in aardgas bij hoge druk weer op te pakken en voort te zetten.

De definitie van RH% ligt nog niet vast boven 100 °C. VSL heeft hier al aan gewerkt, tot 180 °C in het EMPIR project HiT. Toepassing is b.v. voor Friesland Campina om in melkpoeder voor baby's de vochtigheid bij 180 °C te meten. In het algemeen is dit van belang voor alle droogprocessen in de industrie, b.v. in de papierindustrie. Het onderzoek bij VSL is momenteel gestopt. De RvD is het eens met dit besluit.

Optica

Adviezen 18, 19 en 20: De huidige kalibratiefaciliteit die gericht is op met name verlichting moet gehandhaafd blijven omdat er in Nederland nog een belangrijke verlichtingsindustrie heeft (Signify, voormalig Philips Lighting) en er daarnaast belangrijk ontwikkelwerk wordt gedaan door het Holst Centre. Het verdient aanbeveling te onderzoeken wat de oorzaak is van de afname van de kalibraties op dit gebied. De verbreding van het toepassingsgebied van de fotometrie en radiometrie naar toepassingen buiten de verlichtingstechnologie is gewenst. In Nederland is de optica vanouds zeer sterk, zowel het onderzoek aan de universiteiten als toepassingen in de industriële sector. Behalve een zeer grote internationale speler als ASML, zijn er meer dan tweehonderd vooral midden- en kleinbedrijven gericht op optische technologie en optische toepassingen. De Nederlandse regering heeft het grote economisch belang van de optica en fotonica erkend door fotonica tot een speerpunt technologie te benoemen. Bij veel van deze bedrijven is er behoefte aan diverse kalibraties en aan nieuwe kalibratiemethoden. Daarnaast zijn er mogelijkheden voor internationale opdrachten. Het gegeven dat er momenteel twee zeer deskundige medewerkers bij VSL aan de optische standaarden werken, geeft vertrouwen dat de aanwezige kansen voor verbreding benut zullen worden. De door VSL reeds ontwikkelde spectrale radiometrische kalibratiefaciliteit voor o.a. ultraviolette straling is een eerste belangrijke stap. Behalve voor bronnen en detectoren is het ontwikkelen van standaarden voor andere optische componenten zoals spectrometers en afbeeldingsoptiek (bepaling van aberraties) voor een breed golflengtegebied van röntgen tot infrarood belangrijk voor de Nederlandse industrie.

Volumetrie

Adviezen 21, 22, 23 en 24: De activiteiten op het gebied van kalibratie van LNG ten behoeve van small scale LNG toepassingen moet worden doorgezet. LNG heeft inmiddels zijn positie gevonden in de zwaar transport mobiliteitssector zoals vrachtvervoer, binnenvaart, ferry's en cruiseschepen. De eerste bunkerschepen voor LNG zijn ontwikkeld, LNG terminals hebben o.a. in Zeebrugge en Rotterdam ook een LNG tankstation voor vrachtwagens en schepen. Maar op veel plaatsen worden schepen nog gebunkerd met behulp van LNG tank auto's en mobiele units voor flow meting. De verwachting is dat deze small scale LNG markt zal toenemen wereldwijd en er meer flow kalibratie gevraagd zal worden.

In de energie transitie speelt waterstof een steeds belangrijkere rol om de CO₂ footprint te verlagen voor de mobiliteitssector, gebouwde omgeving en met name de industrie (chemie, raffinage, staal, glas, cement). Waterstof kan daarbij zowel uit aardgas als duurzame elektriciteit worden geproduceerd. Transport kan plaatsvinden in gasvorm via pijpleidingen, of in vloeibare vorm bij -254 °C (LH₂). Voor het meten van de waterstof flow is zowel de volume of massa meting van belang, maar

ook de zuiverheid en concentratie van de waterstof flow. Dit zou een nieuw werkveld voor VSL flow kalibratie moeten worden waarbij de relevante range van volume en massa flow en druk nog moet worden vastgesteld. Bovendien wijzen de huidige trends op de noodzaak om CO₂ te transporteren, hetzij voor langdurige opslag, hetzij voor gebruik. Metingen en standaarden zullen nodig zijn bij het transport van CO₂, evenals metingen van onzuiverheden die een belangrijke rol zullen spelen bij de toegang van derden tot elke CO₂-infrastructuur evenals voor gebruik als grondstof voor de productie van CO₂-neutrale brandstoffen (bijv. bij electrocatalytic reduction) .

Emissie metingen worden steeds belangrijker. Naast CO₂ emissiemetingen komt er steeds meer aandacht voor ander broeikasgassen, zoals onder andere methaan CH₄ en lachgas N₂O. Er komen online meters van gassamenstelling op de markt die zowel de energie stroom als gassamenstelling kunnen meten.

APPENDIX II: Overzicht van afkortingen

Abbr.	Explanation
AFM	Atomic Force Microscopy
CCUS	Carbon Capture Utilisation & Storage
CMM	Coordinate Measurement Machine
EMN	European Metrology Network
EMPIR	European Metrology Programme for Innovation and Research
EMRP	European Metrology Research Programme
EORTC	European Organisation for Research and Treatment of Cancer
ESTRO	European Society for Radiotherapy & Oncology
EURAMET	European Association of National Metrology Institutes
EUV	Extreme Ultra Violet
EZK	Economische Zaken en Klimaat (Ministerie van)
FDI	First Dutch Innovations
HBO	Hoger beroepsonderwijs
HR	Human Resources
IC	Integrated Circuit
ICT	Informatie Communicatie Technologie
IMRT	Intensity Modulated Radiation Therapy
IoT	Internet of Things
IROC	Imaging and Radiation Oncology Core
KIA	Kennis en Innovatie Agenda
LNE	Laboratoire National de Metrology et Essais
LNG	Liquified Natural Gas (Vloeibaar Aardgas)
MDV	Massa, Dichtheid en Viscositeit
MEMS	MicroElectroMechanical Systems
MRI	Magnetic Resonance Imaging
NIST	National Institute of Standards and Technology
NMI	National Metrology Institute
NPL	National Physics Laboratory
NRC	National Research Council
NWO	Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek
PET	Positron Emissie Tomografie
PMU	Phasor Measurement Unit
PR	Public Relations
PTB	Physikalisch Technische Bundesanstalt
PV	PhotoVoltaïsch
RISE	Research Institutes of Sweden
RvA	Raad voor Accreditatie
SI	Système International d'unités
SMD	Service Métrologie Scientifique
SPECT	Single Photon Emission Computed Tomography
TNO	Toegepast Natuurkundig Onderzoek
U(H)D	Universitair (Hoofd) Docent
UTC	Coordinated Universal Time
V2G	Vehicle to Grid
VMAT	Volumetric Modulated Arc Therapy
VOS	Vluchtige Organische Stoffen
VSL	Van Swinden Laboratorium
WKO	Warmte Koude Opslag
WLAN	Wireless Local Area Network
WO	Wetenschappelijk Onderwijs