RAAD VAN DESKUNDIGEN
VOOR DE NATIONALE MEETSTANDAARDEN
INGESTELD BIJ DE METROLOGIEWET, ARTIKEL 4 (STB. 2 FEB. 2006)

STRATEGISCHE VISIE STANDAARDENBEHEER

Uitgangspunten voor een strategisch vierjarenplan voor de periode 2013 – 2016

Advies aan de Minister van Economische Zaken
Juli 2013

Colofon

Dit advies is opgesteld door de Raad van Deskundigen voor de Nationale Standaarden, bestaande uit:

Mw. dr. P.C. Plooij-van Gorsel	voorzitter
prof. dr.ir. J.F.G. Cobben	TU/e
Mw. prof. dr.ir. P.M. Herder	TUD
dr.ir. C.J. Hogendoorn	Krohne
dr. B.J. Mijnheer	NKI-AVL
prof.em. dr.ir. P.P.L. Regtien	UT
Ir. J.W. Spronck	TUD
prof. dr. H.P. Urbach	TUD
prof.em. dr. J.H.W. de Wit	TUD

Het secretariaat van de Raad is gevestigd bij:
Agentschap NL
t.a.v. Mw. A.A. Steggerda (secretaris)
Postbus 93144
2509 AC Den Haag
Tel. 088-602 5759
Fax 088-602 9023

1 Inhoudsopgave

1 Inhoudsopgave 5
2 Samenvatting en aanbevelingen 7
2.1 Algemeen 7
2.2 Chemie 8
2.3 Elektriciteit en magnetisme 9
2.4 Tijd en frequentie 9
2.5 Ioniserende straling 10
2.6 Massa en gerelateerde standaarden 10
2.7 Lengte en gerelateerde standaarden 11
2.8 Thermometrie en vochtigheid 11
2.9 Optische standaarden 12
2.10 Volumetrie 12
3 Voorwoord 15
4 Basisbegrippen Metrologie 17
4.1 Terminologie en begrippen 17
4.2 Het doel van standaarden 20
5 Omgevingsanalyse 21
5.1 Internationale ontwikkelingen 21
5.2 Europese ontwikkelingen 22
5.2.1 De Europese positie van VSL 23
5.2.2 Het European Metrology Research Programme (EMRP) 24
5.2.3 Het European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR) 25
5.3 Nederland 25
5.3.1 Inleiding 25
5.3.2 Relatie VSL – Nederlands bedrijfsleven 27
5.4 Samenwerking VSL- Hoger Onderwijs 28
5.4.1 Uitgangspunten 28
5.4.2 Noodzaak tot samenwerking 29
5.4.3 Een model voor samenwerking 29
5.4.4 Lopende initiatieven 31
6 Huidige situatie en ontwikkelingen van Standaarden 33
6.1 Inleiding 33
6.2 Chemie 35
6.2.1 Inleiding 35
6.2.2 Huidige Situatie 35
6.2.3 Ontwikkelingen 36
6.3 Elektriciteit en magnetisme 37
6.3.1 Inleiding 37
6.3.2 Huidige situatie 38

6.3.3 Ontwikkelingen ... 39
6.4 Tijd en frequentie ... 41
6.4.1 Huidige Situatie ... 41
6.4.2 Ontwikkelingen ... 42
6.5 Ioniserende straling ... 42
6.5.1 Huidige situatie ... 42
6.5.2 Ontwikkelingen ... 43
6.6 Massa en gerelateerde standaarden ... 47
6.6.1 Huidige situatie internationaal ... 47
6.6.2 Ontwikkelingen Internationaal ... 48
6.6.3 Ontwikkelingen binnen VSL ... 49
6.7 Lengte en gerelateerde standaarden ... 50
6.7.1 Huidige situatie ... 50
6.7.2 Ontwikkelingen ... 52
6.8 Thermometrie en vochtigheid ... 55
6.8.1 Inleiding ... 55
6.8.2 Huidige situatie. ... 55
6.8.3 Ontwikkelingen ... 56
6.8.4 Conclusies. ... 56
6.9 Optische standaarden ... 57
6.9.1 Huidige situatie ... 57
6.9.2 Ontwikkelingen ... 58
6.10 Volumetrie ... 60
6.10.1 Huidige situatie ... 60
6.10.2 Ontwikkelingen ... 61
7 Nieuwe gebieden ... 63
7.1 Algemeen ... 63
7.2 Ontwikkelingen in de afgelopen periode ... 65
7.2.1 Milieu en Chemie ... 65
7.2.2 Voeding en Gezondheid ... 65
7.2.3 Energie ... 65
7.2.4 Veiligheid (Safety en Security) ... 66
7.2.5 Advanced (High-tech) Systems ... 66
8 Metrologische Infrastructuur ... 69
8.1 Inhoud ... 69
8.2 Kostenontwikkeling ... 69
9 Speerpunten en prioritering ... 71
Afkortingen ... 73
Geraadpleegde bedrijven ... 75

2 Samenvatting en aanbevelingen

2.1 Algemeen

Metrologie is 'de wetenschap van het meten'. Het omvat zowel de theoretische als de praktische aspecten met betrekking tot het uitvoeren en analyseren van metingen. Een meting beoogt het bepalen van de waarde van een grootheid.

Voor het uitvoeren van een correcte meting zijn meetstandaarden nodig waarmee de te gebruiken meetapparatuur gekalibreerd kan worden. De meting zelf dient volgens een vastgesteld protocol uitgevoerd te worden en de analyse van het meetresultaat dient ook een schatting van de meetonzekerheid te omvatten.

Geconstateerd is dat de aandacht voor de metrologie in Nederland fors is teruggelopen. In het hoger onderwijs wordt nauwelijks aandacht besteed aan metrologie. Zelfs binnen de drie Technische Universiteiten is de aandacht voor dit vakgebied zeer beperkt. Deze universiteiten hebben geen leerstoel in de metrologie meer. Ook maatschappelijk bezien gaat het de verkeerde kant op. In communicatie, zoals in kranten, maar ook in brochures worden verkeerde of zelfs foute eenheden gebruikt. Door de industriële en maatschappelijke ontwikkelingen neemt het belang van de metrologie echter juist toe.

Het is zeer moeilijk voor VSL om met de beperkte middelen zowel de kennis op hoog peil te houden als ook nieuwe onderwerpen aan te boren. Anderzijds is het voor de weinige aan de universiteit overgebleven metrologische experts moeilijk om het onderwijs in de metrologie uit te breiden. Structurele samenwerking tussen VSL en de universiteiten is daarom een voor de hand liggende methode om zowel het onderzoek als het onderwijs in de metrologie te versterken.

Vandaar dat de Raad als eerste prioriteit aanbeveelt het instellen van een duurzame relatie tussen VSL en relevante vakgroepen aan technische (en wellicht algemene) universiteiten volgens het model uiteengezet in H. 5.4. Samengevat komt dit model erop neer dat senior onderzoekers van VSL die werken op de kerngebieden nanometrologie, optica, elektrische energie, chemie (inclusief spectroscopie) en flow een deeltijdaanstelling krijgen in een overeenkomstige vakgroep van een universitaire onderwijsinstelling voor (bijvoorbeeld) 10% van hun tijd. Deze medewerkers moeten via bijdragen aan het onderwijs en universitair onderzoek de metrologie onder studenten promoten en de zichtbaarheid van VSL vergroten. Bovendien kunnen de deeltijdaanstellingen worden benut om studenten voor afstudeerprojecten te werven en om toegang te krijgen tot onderzoeksfondsen zoals die van STW/NWO waar VSL nu niet kan indienen.

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.

VSL is zeer succesvol in het EMRP (European Metrology Research Programme). Ongeveer 1/3 van het totale budget van VSL wordt via EMRP projecten verworven, en komt ten goede aan onderzoek op nieuwe gebieden binnen de metrologie. Het publiceren van onderzoeksresultaten in internationale wetenschappelijke

tijdschriften en presentaties op conferenties versterkt de reputatie van VSL en verhoogt daarmee de kansen op participatie in toekomstige EU-projecten.

Advies 2

a. Ondersteun actief een vervolg op het European Metrology Research Programme (EMRP).

b. Blijf investeren in fundamenteel onderzoek (in Europees verband) naar moderne 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 meetinstituten, 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.

2.2 Chemie

VSL heeft een internationale toppositie op het gebied van gasanalyses. Deze positie is zeer belangrijk voor de Nederlandse Economie. Deze positie moet daarom behouden blijven.

Advies 3

Het advies van 4 jaar geleden is opgevolgd en dient nu met kracht te worden herhaald: Het blijft noodzakelijk te investeren op het gebied van gasanalyses (lagere detectiegrenzen en hogere nauwkeurigheden) om de toppositie te behouden.

Er dient ook na de zeer goede aanpak van de afgelopen 4 jaar verder te worden geïnvesteerd in nieuwe toepassingen van gasanalyses. Deze zijn vaak milieu/energie en veiligheid (gezondheid) gerelateerd. Slechts enkele voorbeelden zijn: gassen die uit kunststoffen ontwijken/diffunderen (geur- en smaakstoffen fabrikanten, houdbaarheid producten etc.), emissies van nano-deeltjes in lucht, radicalen/reactieve gassen in de atmosfeer als gevolg van de toename van het gebruik van biobrandstoffen, ademanalyses in relatie tot sensoren, kwik in uitlaatgassen.

Het advies om een verkennende studie (in een internationaal samenwerkingsverband) te starten naar de haalbaarheid en toepassing van gecertificeerde referentiematerialen voor voedselveiligheid en -betrouwbaarheid , rekening houdend met de complexiteit van matrixeffecten uit de strategische visie van 2009-12 is door EZ niet overgenomen.

De argumentatie was dat VSL hiervoor niet voldoende expertise bezit. Immers naast chemische experts zijn ook biologen, biofysici etc. nodig. Dat is juist. Daarom pleiten we, ook gestuurd door de al gemelde complexiteit (o.a. matrix effecten) van het werkgebied, voor een internationaal samenwerkingsverband. Het veld van voedselveiligheid is zeer relevant en is voor de Nederlandse economie een belangrijk onderwerp, waarbij VSL vanuit zijn leidende positie op het gebied van gasanalyses wellicht een coördinerende rol kan spelen. Het gebied sluit ook aan bij ademanalyses en de diffusie van gassen uit kunststoffen (ofodor), zoals al eerder genoemd.

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.

2.3 Elektriciteit en magnetisme

Het blijft van belang om het uitvoeren van kalibraties voor alle gangbare elektrische grootheden in de top van de herleidbaarheidsketen te continueren. De huidige faciliteiten voor herleidbaarheidskalibraties voor alle gangbare elektrische grootheden dienen te worden gehandhaafd om aan de marktvraag te kunnen blijven voldoen. Nieuwe ontwikkelingen die plaatsvinden op het gebied van efficiency van nieuwe technologieën, intelligentie in elektriciteitsnetwerken en specifieke stroom- en spanningskenmerken van apparatuur zorgen voor nieuwe gebieden en daarom ook nieuwe kansen.

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)*

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*

2.4 Tijd en frequentie

De internationale positie op het gebied van tijd en frequentie kan als goed worden gekarakteriseerd, zonder in de breedte de technologische top te bereiken, zoals ook in de vorige strategische visie werd verwoord. Die noodzaak bestaat ook niet, gezien de bestaande alternatieven in Europa. Echter in het veld wordt zeer veel belang gehecht aan de blijvende beschikbaarheid van de bestaande faciliteiten op hoog niveau.

Advies 7

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

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.

2.5 Ioniserende straling

In de *nucleaire geneeskunde* is sprake van een enorme toename in het gebruik van Positron Emission Tomography (PET), vooral uitgevoerd met PET-CT scanners.

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.

Er bestaat behoefte aan meer kwaliteitscontrole “op de werkvloer” wat betreft de *brachytherapie.*

Advies 10

De kalibratiefaciliteit voor put-ionisatiekamers voor iridium-192 high doserate bronnen en low doserate 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.

In Europa zijn een tiental centra voor *hadrontherapie***,** voornamelijk met protonen, in gebruik of in aanbouw. Waarschijnlijk wordt begin 2014 besloten om ook in Nederland één of meerdere faciliteiten voor protonentherapie te installeren. Ook worden de komende jaren in Nederland en elders in de wereld MRI-versnellers geïnstalleerd.

Advies 11

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

2.6 Massa en gerelateerde standaarden

Het zwaartepunt van het internationale massagerelateerd onderzoek betreft de nieuwe definitie van de massastandaard en ligt buiten Nederland.

Het huidige kalibratie- en automatiseringsniveau voor massa, druk en viscositeit is goed. De activiteiten zijn vooral gericht op service en dienen gezien het belang, de behoefte en tevredenheid vanuit de markt te worden voortgezet.
Op het gebied van de afgeleide grootheid viscositeit presteert VSL op hoog niveau en verwacht VSL de lopende automatisering en verbeteringen in 2014 af te ronden en deze faciliteit zo veel mogelijk vanuit marktopdrachten te financieren. MDV (Massa, Druk en Viscositeit) is een relatief kleine groep en het huidige niveau, niet alleen van beheer maar ook van ondersteuning binnen VSL, dreigt weg te zakken als er voor deze groep geen budget meer is voor R&D.

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, Flow en Chemie.

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.

2.7 Lengte en gerelateerde standaarden

Het verkleinen van de meetonzekerheid van lengte in algemene zin behoeft niet de hoogste prioriteit. VSL heeft, mede op advies van de Raad, gekozen voor concentratie op specifieke gebieden zoals High Tech Systems en micro-nanotechnologie.

Advies 14

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

De verwachting is dat de biotechnologie nog een enorme groeispurt te wachten staat en dat er veel vraag naar nieuwe meettechnieken zal zijn. Het is echter moeilijk te overzien welke nano-bioactiviteiten en ontwikkelingen plaatsvinden bij de Nederlandse bedrijven en universiteiten.

Advies 15

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

2.8 Thermometrie en vochtigheid

De vaste temperatuurpunten worden op een goed niveau door VSL onderhouden. In een eerdere fase is het effect van isotopen op het WTP reeds onderzocht. VSL heeft zich hiermee wereldwijd een leidende positie op het gebied van WTP verworven.

Om aan de marktvraag te kunnen blijven voldoen dienen de huidige faciliteiten voor herleidbaarheidskalibraties te worden gehandhaafd. Het gaat dan vooral om de uitvoering van kalibraties van temperatuur en dauwpuntstemperatuur in de top van de herleidbaarheidsketen voor het gehele temperatuurbereik.

Advies 16

Continueer het onderzoek naar het effect van onzuiverheden op het watertripelpunt (WTP).

In het kader van het ERMP-project “Metrology for Energy Gases”, dat gecoördineerd wordt door de Chemiegroep van VSL, wordt gewerkt aan het meten van vocht in aardgas bij hoge druk. VSL heeft hier een leidende rol.

Advies 17

Continueer de ontwikkeling van methoden voor het meten van vocht in aardgas bij hoge druk.

2.9 Optische standaarden

VSL heeft een sterke positie opgebouwd op het gebied van radio- en fotometrie, onder andere door de gerealiseerde driedimensionale radiantiemeetopstelling voor de karakterisering van een breed gamma aan lichtbronnen en detectoren.

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.

Solid-state verlichting met behulp van LED's, OLED's en lasers is aan een stormachtige opmars bezig vanwege het zeer gunstige energieverbruik en het duurzaamheidaspect. Zowel op het gebied van afgeleide, tijdsopgeloste standaarden, als op het gebied van consultancy zijn belangrijke nieuwe mogelijkheden aanwezig.

Advies 19

Ga door met het ontwikkelen van metrologische en spectroscopische kennis en kunde op het gebied van solid-state verlichting met behulp van LED's, OLED's en lasers. Onderhoud konktakten met Philips en Holst Centre.

Er is nu in VSL brede expertise aanwezig op optisch gebied. Hierdoor kan VSL gaan werken aan nieuwe onderwerpen zoals bijvoorbeeld de karakterisatie van fouten in afbeeldingssystemen, en de karakterisatie van optische sensoren in de biologie en de chemie. De aanwezige brede expertise geeft goede mogelijkheden voor EMRP-projecten.

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.

2.10 Volumetrie

Hogedruk aardgas en minerale oliën

Er is in Nederland veel veranderd ten aanzien van de hogedruk aardgaskalibraties. Euroloop GasCal heeft de bekende faciliteiten in Westerbork en Bergum nagenoeg geheel vervangen en voorziet duidelijk in een nationale en internationale behoefte. Tevens wordt momenteel de laatste hand gelegd aan de grootste en nauwkeurigste kalibratiefaciliteit ter wereld voor minerale oliën: Euroloop – HyCal. Deze faciliteit is volledig nieuw voor Nederland en zorgt voor een enorme uitbreiding van herleidbare debietkalibraties op het gebied van één van de belangrijkste energiedragers ter wereld.

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.

LNG

De belangstelling voor LNG is afgelopen jaren zeer sterk toegenomen. De reden hiervoor is dat LNG een aantal specifieke voordelen heeft. Het gebruik van LNG zal de komende jaren sterk toenemen. Hierdoor ontstaat een grote behoefte aan herleidbare debietmetingen.
Afgelopen jaren heeft Nederland zich ook op dit werkgebied internationaal onderscheiden door als eerste een primaire debietstandaard voor LNG te realiseren. Nederland zet hier duidelijk de trend.

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.

Micro- en Nanoflow

Belangrijke ontwikkelingen hebben plaatsgevonden op het terrein van 'micro- en nanoflow'. Een voorname toepassing vinden we in de dosering van medicijnen. Een lage meetonzekerheid bij deze extreem lage debieten kan letterlijk van levensbelang zijn zeker nu, ten gevolge van sterkere medicijnen, de benodigde doseringen sterk afnemen. In de achterliggende periode is er bij VSL in het kader van een EMRP-project ('Metrology for Drug Delivery') gewerkt aan de basis van een standaard voor micro- en nanoflow.

Advies 23

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

Meten van gasemissie

De afgelopen jaren is de druk op het meten van afvalgasstromen via de zg. 'stacks' en 'flares' (veelal gebruikt bij petrochemische en chemische installaties) aanzienlijk toegenomen. Deze druk zal de komende tijd verder toenemen. Tot nu toe ontbreekt betrouwbare en nauwkeurige industriële meetinstrumentatie voor deze toepassing. In de industrie wordt gewerkt aan mogelijke oplossingen. Zodra er geschikte meetinstrumentatie op de markt komt, is herleidbaarheid nodig.

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.

3 Voorwoord

Op verzoek van de minister van Economische Zaken geeft *de Raad van deskundigen voor de nationale standaarden* (de Raad) in dit rapport haar visie op het standaardenbeheer voor de periode 2013-2016.

In de vigerende Metrologiewet staat:

> **Artikel 4**
>
> 1. Er is een Raad van deskundigen voor de nationale meetstandaarden die tot taak heeft:
>
> a. toezicht uit te oefenen op de verwezenlijking en het beheer van nationale meetstandaarden en omtrent dat toezicht jaarlijks verslag uit te brengen aan Onze Minister en hem overigens van raad te dienen;
>
> b. advies uit te brengen over aangelegenheden in verband met de meetstandaarden van grootheden.

De visie en adviezen in dit rapport hebben zowel betrekking op het beheer en de ontwikkeling van de huidige meetstandaarden (artikel 4 lid a), als op metrologie in het algemeen (artikel 4 lid b) in het belang van Nederland als lid van de Europese Unie.

Dit strategische advies is een vervolg op het advies over de jaren 2009-2012. Daar waar relevant wordt in deze rapportage ook ingegaan op de resultaten van de adviezen uit het voorgaande rapport.

De Raad heeft geconstateerd dat er weinig affiniteit voor de metrologie bestaat in Nederland, terwijl dit vakgebied toch van groot economisch belang is en steeds meer wordt. Vandaar dat gepoogd is dit rapport ook voor minder ingewijden leesbaar te maken. Daartoe wordt in hoofdstuk 4 ingegaan op de terminologie en begrippen uit de metrologie en wordt het doel van de standaarden geschetst. De Raad hoopt daarmee dat dit rapport ook toegankelijk is voor diegenen in Nederland die hierover besluiten moeten nemen.

Er is voor gekozen om de omgevingsanalyse te splitsen in een algemeen deel, dat in hoofdstuk 5 wordt beschreven en in een meer specifiek deel per werkgebied, dat in hoofdstuk 6 is opgenomen.

In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op ontwikkelingen en het ontstaan van nieuwe werkgebieden. Hoewel sommige daarvan betrekking hebben op een periode die veel langer is dan de komende vier jaren, leek het de Raad toch nuttig om deze te beschouwen.

In dit rapport wordt veelvuldig over VSL gesproken. De Raad is zich er van bewust dat er formeel een onderscheid bestaat tussen enerzijds het beheer en de ontwikkeling van de standaarden en anderzijds de handhaving. In principe staan deze los van elkaar. De Raad brengt immers ook advies uit over de plek waar deze activiteiten kunnen worden ondergebracht. Formeel is VSL een marktpartij. Toch is het gekunsteld steeds deze scheiding aan te brengen. De Raad acht het bovendien onlogisch aan de mogelijkheden van VSL voorbij te gaan, mede gezien haar conclusie (zie hoofdstuk 8), dat het beheer en ontwikkeling van de standaarden bij VSL in goede handen is. Dit blijkt ook uit de positie die VSL binnen het Europese onderzoeksveld inneemt en haar internationale reputatie. Vandaar ook dat dit

aspect regelmatig in het rapport terugkomt. Dit weerhoudt de Raad er niet van ook naar andere marktpartijen te kijken, bijvoorbeeld in het geval van standaarden op het gebied van Voeding en Gezondheid of Veiligheid.

Om de aanbevelingen goed toegankelijk te maken is er voor gekozen deze te bundelen in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 9 wordt nader ingegaan op de prioritering van deze aanbevelingen.

4 Basisbegrippen Metrologie

In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de volgende basisbegrippen verklaard: metrologie, meten, grootheden, eenheden, standaarden, referenties, meetonzekerheid, kalibratie en herleidbaarheid.

4.1 Terminologie en begrippen

Metrologie is 'de wetenschap van het meten'. Het omvat zowel de theoretische als de praktische aspecten met betrekking tot het uitvoeren en analyseren van metingen. Bij een meting heeft men de bedoeling de waarde van een grootheid, bijvoorbeeld een lengte, temperatuur, tijd, elektrische weerstand of de concentratie van een bepaalde stof te bepalen. Ook dient een schatting gemaakt te worden van de onzekerheid in het meetresultaat.

Metrologie is 'de wetenschap van het meten'. Het omvat zowel de theoretische als de praktische aspecten met betrekking tot metingen. Bij een meting heeft men de bedoeling de waarde van een grootheid, bijvoorbeeld een lengte, temperatuur, tijd, elektrische weerstand of de concentratie van een bepaalde stof te bepalen.

Bijna alle landen ter wereld hebben wettelijke regelingen over het gebruik van eenheden, maten, gewichten en meetinstrumenten ("wettelijke metrologie"). Deze komen voort uit de zorg van de overheid voor eerlijkheid in de handel, veiligheid, gezondheid en milieu.

Meten is het op objectieve en experimentele wijze toekennen van getallen of symbolen aan eigenschappen van objecten en gebeurtenissen met het doel deze te beschrijven[1].

Om meetwaarden wereldwijd te kunnen vergelijken is een internationaal eenhedenstelsel opgesteld (Meterconventie 1885) en zijn meetstandaarden ontwikkeld. Alle meetbare grootheden kunnen worden uitgedrukt in termen van deze basiseenheden.

Een (meetbare) **grootheid** beschrijft een specifieke eigenschap van een verschijnsel, een lichaam of een stof die kwalitatief kan worden onderscheiden en kwantitatief kan worden bepaald. *Voorbeelden: temperatuur, snelheid, elektrische stroom*.

Een (meet)**eenheid** is de maat van een bepaalde grootheid, bij afspraak gedefinieerd en aangenomen, waarmee andere grootheden van dezelfde soort worden vergeleken om hun grootte ten opzichte van die grootheid uit te drukken. Voorbeelden: *graad celsius, meter per seconde, ampère*.

Een **meetwaarde** (van een grootheid) is de grootte van een bepaalde grootheid, in het algemeen uitgedrukt als een (meet)eenheid vermenigvuldigd met een getal. *Voorbeelden: 37 graad celcius, 330 meter per seconde, 25 ampère*.

De **zeven grondeenheden** met bijbehorende **basisgrootheden** zijn:

- de meter voor lengte;

[1] Een van de vele definities. Deze is van Ludwik Finkelstein (City University London): Measurement is the process of empirical, objective assignment of numbers or symbols to attributes of objects and events of the real world, in such a way as to describe them.

- het kilogram voor massa;

- de seconde voor tijd;

- de ampère voor elektrische stroom;

- de kelvin voor thermodynamische temperatuur;

- de mol voor hoeveelheid stof;

- de candela voor lichtsterkte.

Bij de waardebepaling van een grootheid wordt de gemeten waarde uitgedrukt in deze gestandaardiseerde eenheden of een combinatie daarvan.

Een (meet)**standaard** is een stoffelijke maat, meetinstrument, referentiemateriaal of meetopstelling die tot doel heeft de eenheid (of een daarvan afgeleide waarde) van grootheden te definiëren, te verwezenlijken, te beheren of te reproduceren, om als **referentie** te dienen.

Afhankelijk van de plaats in de metrologische keten onderscheidt men diverse typen standaarden, waaronder:

- *Internationale meetstandaard*, door een internationale overeenkomst aangewezen om als basis te dienen voor het vaststellen van waarden van andere standaarden van de betrokken grootheid.
- *Primaire standaard*, aangewezen of alom erkend als standaard met de hoogste metrologische kwaliteit en waarvan de waarde wordt aanvaard zonder verwijzing naar andere standaarden van dezelfde grootheid.
- *Referentiestandaard*, beschikbaar op een gegeven plaats of in een gegeven organisatie, en in het algemeen van de hoogste beschikbare metrologische kwaliteit, waaraan metingen worden ontleend die daarmee zijn verricht.
- *Werkstandaard*, routinematig in gebruik om stoffelijke maten, meetinstrumenten of referentiematerialen te kalibreren of te keuren.

Meetstandaarden van basisgrootheden berusten doorgaans op natuurkundige grootheden die de basis zijn van onveranderlijke natuurwetten. In het verleden hanteerde men veelvuldig materiële representanten voor deze standaarden, thans is dit grotendeels vervangen door operationele definities. Zowel de beschikbaarheid als de reproduceerbaarheid en daarmee de (meet)nauwkeurigheid zijn hierbij gebaat. De enige uitzondering is nog het kilogram, (het blok metaal bewaard in Sèvres), waarvoor thans door samenwerkende NMI's en andere onderzoekscentra een alternatief wordt gezocht (voor verdere details zie H. 6.6).

Elke meting gaat gepaard met *onzekerheid*, de exacte waarde van een grootheid kan nimmer worden vastgesteld. Het is uiteraard van belang de onzekerheid van een meting zo laag mogelijk te houden, in een mate die afhangt van de toepassing. De wet vergt dat de onzekerheid kan worden vastgesteld. Daarbij spelen de volgende begrippen een rol:

Meetonzekerheid: een parameter die de *spreiding* van waarden, die redelijkerwijs aan de meetgrootheid kunnen worden toegekend, karakteriseert, bijvoorbeeld de *standaardafwijking* (of een bepaald veelvoud daarvan), of de helft van een interval dat een bepaald *betrouwbaarheidsniveau* bezit.

Kalibratie: het geheel van handelingen dat onder gegeven omstandigheden het verband vastlegt tussen de door een meetinstrument of meetsysteem aangewezen waarden van grootheden - of de door een stoffelijke maat of een referentiemateriaal vertegenwoordigde waarde - en de overeenkomstige door standaarden verwezenlijkte waarden.

Herleidbaarheid: de eigenschap van een meetresultaat of de waarde van een standaard waardoor deze in verband kan worden gebracht met bepaalde referenties, gewoonlijk nationale of internationale standaarden, door een ononderbroken keten van vergelijkingen die allemaal bepaalde onzekerheden hebben. Onderstaande figuur geeft een voorbeeld van de herleidbaarheidsketen voor de grootheid massa (met eenheid kilogram), met een indicatie van de betreffende onzekerheden.

Een internationaal goed functionerend stelsel van meetstandaarden is gebaseerd op de ***beschikbaarheid*** van nationale meetstandaarden en op de wederzijdse ***internationale erkenning*** daarvan.

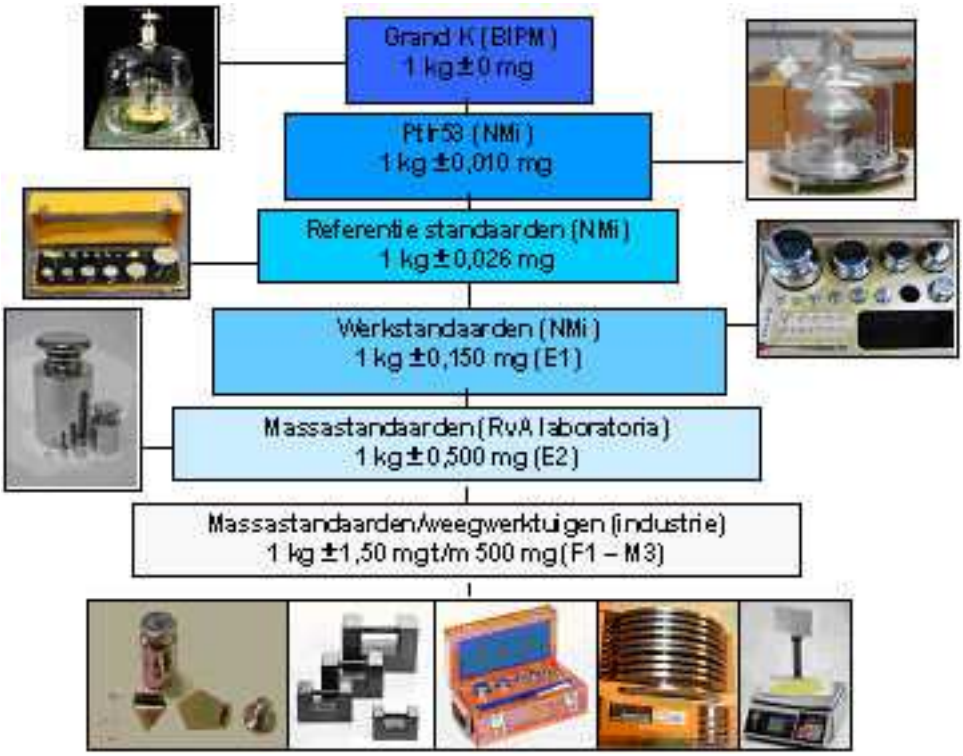


Fig. 1. Herleidbaarheidsketen voor massa (kilogram)

Een meetresultaat kan nooit nauwkeuriger zijn dan de standaard waarnaar herleidbaarheid is vastgelegd. In de praktijk wordt de meetonzekerheid in een meetresultaat bepaald door meerdere factoren, bijvoorbeeld de ***meetprocedure***. Hiervoor bestaan ook standaarden (meer in het bijzonder ***normen*** genoemd).

Het ***waardenbereik*** van een meetgrootheid kan sterk uiteenlopen. Zo kunnen kalibraties worden verlangd voor afstanden ter grootte van lichtjaren of ter grootte van nanometers. De kalibratie geschiedt echter steeds vanuit de beschikbare lengtestandaard (1 meter). “Upscaling” en “downscaling” zijn derhalve belangrijke metrologische parameters bij de inrichting van een standaardenfaciliteit.

4.2 Het doel van standaarden

Metrologie speelt een belangrijke rol in de industrie, internationale handel en in het dagelijkse leven. Nauwkeurige en betrouwbare metingen zijn van cruciaal belang om de kwaliteit van het product te garanderen, en in de ondersteuning van milieu, gezondheid en veiligheid. Een nauwkeurig systeem van maten en gewichten is een essentiële voorwaarde voor mondiale en nationale economische activiteit, eerlijke handel, toezicht op de kwaliteit en dient ter bescherming van de klant.

De nationale overheid heeft de taak toe te zien op handhaving van de Metrologiewet, waaronder het juiste gebruik van eenheden en standaarden en de correcte toepassing van kalibratievoorschriften. Kalibraties worden meer en meer uitgevoerd door daartoe gecertificeerde instanties. De overheid blijft echter verantwoordelijk voor het beheer en de ontwikkeling van de nationale (primaire) standaarden en het verschaffen van faciliteiten voor kalibraties tot het hoogste (nationale) niveau. Daarbij hoort ook het deelnemen aan internationale Key-comparisons en het faciliteren van wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de metrologie, om de kwaliteit van de standaarden ook in de toekomst te kunnen waarborgen, zowel naar Europese als naar internationale maatstaven.

Het eenhedenstelsel is gebaseerd op het internationaal overeengekomen “Système international d’unités”, kortweg SI genoemd. Alle landen op drie na (waaronder de Verenigde Staten van Amerika) hebben het gebruik van dit stelsel per wetgeving verplicht gesteld. Diverse landen, waaronder ook Nederland, laten ook enkele andere dan SI-eenheden toe. Een mondiaal gebruik van dezelfde eenheden bevordert de internationale samenwerking t.a.v. onderzoek, productie en handel. Het naast elkaar gebruiken van verschillende eenheden kan leiden tot verwarring, vertraging of zelfs gevaarlijke situaties[2].

[2] Het meest bekende voorbeeld is de mislukte landing van de Mars Climate Orbiter (23 september 1999). In de geneeskunde wordt nog steeds druk in zowel mmHg als Pa gebezigd, hetgeen op zijn minst verwarrend is bij het uitwisselen van medische gegevens.

5 Omgevingsanalyse

Industrie, handel en in toenemende mate de kwaliteit van het leven zijn steeds meer afhankelijk van nauwkeurige, betrouwbare en vergelijkbare metingen.

Drie drijvende krachten zijn:

- Traditionele industrieën worden complexer en vereisen bredere meetbereiken en kleinere onzekerheden;
- Nieuwe opkomende gebieden zoals nanotechnologie en biotechnologie;
- Gebieden waarbinnen de toegevoegde waarde van metrologie in toenemende mate wordt erkend en nodig is, zoals chemie, gezondheidszorg en voedselveiligheid.

Hierdoor worden de eisen die aan de metrologie worden gesteld steeds zwaarder; dit zal in de toekomst alleen maar toenemen. Dit resulteert in een behoorlijke druk op de traditionele benadering van metrologieontwikkeling die tot nu toe gebaseerd is geweest op nationale onderzoeksinitiatieven met af en toe internationale samenwerking.

Vanuit de industrie wordt duidelijk de behoefte aangegeven dat het beheer van de nationale standaarden dient te gebeuren door een onafhankelijk instituut. Al te grote invloeden van niet onafhankelijke grote instituten of externe partijen moeten worden voorkomen. Vanwege deze noodzaak tot stabilisatie en het grote belang voor Nederland dient de minister van Economische Zaken voldoende inbreng te hebben. Het beschikbaar stellen van voldoende financiële middelen en het aanhouden van de juiste werkstructuur en verantwoordelijkheden vormen belangrijke elementen in het kunnen voldoen aan bovengenoemde zaken.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op:

- internationale ontwikkelingen
- Europese ontwikkelingen
- de situatie in Nederland

Vervolgens wordt speciaal aandacht gegeven aan:

- samenwerking VSL met universiteiten en hogescholen
- het metrologie onderwijs in Nederland

5.1 Internationale ontwikkelingen

Het Internationaal Comité voor Maten en gewichten (BIPM: de Intergouvernementele organisatie van de Meter Conventie bestaande uit 51 lidstaten en 20 geassocieerde landen) heeft in 2003 de nieuwe uitdagingen beschreven in een rapport "Evolving needs for Metrology in Trade, Industry and Society and the Role of BIPM".

De voornaamste conclusie was dat de toenemende eisen voor nauwkeurige metingen in zowel nieuwe als traditionele vakgebieden het vermogen van de NMI's en het BIPM overstijgt. Duidelijk is dat geen enkel NMI in staat is het hele gebied van noodzakelijke meetstandaarden en diensten te leveren en dat netwerken en nauwe samenwerking van NMI's over de hele wereld noodzakelijk is.

Ofschoon samenwerking bij wetenschappelijke vergelijkingen of meetstandaarden heel gebruikelijk was, werden er voor de komst van het European Metrology

Research Programme (EMRP) geen pogingen ondernomen tot internationale strategische onderzoeksplanning.

Tezamen met de oproep van BIPM (eind 2005) aan de internationale metrologie-gemeenschap tot herdefiniëring van de fundamentele eenheden als het kilogram, de ampère en de kelvin met een ambitieus tijdpad, creëerde dit de urgentie tot lancering van het European Metrology Research Programme (EMRP) waarop verderop in dit rapport wordt ingegaan.

5.2 Europese ontwikkelingen

Europa levert collectief de grootste bijdrage en is tevens de grootste deelnemer in het wereld-metrologieprogramma. Deze investering is belangrijk voor de economie en de levenskwaliteit in Europa. Uit een studie van de Universiteit van Oxford (2002) in opdracht van de Europese Commissie blijkt dat Europa alleen al via direct kwantificeerbare bronnen jaarlijks € 83 miljard of bijna 1% van de EU GDP spendeert aan meetactiviteiten. Voegen we daar de maatschappelijke uitgaven voor gezondheid, milieuregels, veiligheidstesten, antifraudeprojecten en dagelijkse activiteiten bij, dan stijgt dit bedrag aanmerkelijk. Goed besteed geld als we kijken naar de opbrengsten.

Economen schatten dat door de invloed van de meetactiviteit op de technologische ontwikkeling bijna € 230 miljard aan baten wordt gegenereerd. Dit komt neer op 2,7% van het EU GDP. Met andere woorden, iedere Euro geïnvesteerd in meetactiviteit genereert drie Euro als direct geschatte baten.

Meten, testen en de definitie van gemeenschappelijke standaarden zijn essentiële bouwstenen van de Europese kenniseconomie. Een krachtige Europese metrologische infrastructuur is cruciaal om adequaat functioneren van de Europese interne markt te waarborgen en tegelijkertijd de concurrentiepositie van Europese bedrijven op de wereldmarkt te versterken".

De Europese metrologiegemeenschap realiseerde zich dat een gefragmenteerde aanpak het effect en het enorme economische potentieel van Europees Metrologisch onderzoek zou beperken. In veel gevallen is het niet mogelijk op nationaal niveau de noodzakelijke kritische massa in R&D te realiseren en sommig onderzoek wordt gedupliceerd in verschillende nationale instituten. Om onderlinge afstemming van metrologische activiteiten en diensten in Europa te bevorderen en om meer efficiëntie te bereiken werd in 1987 Euromet opgericht. Dit was een vrijwillig samenwerkingsverband tussen de nationale instituten voor metrologie (NMI's) in de EU en de EVA.

Nieuwe uitdagingen voor Europese metrologie, zoals het bereiken van een hoger niveau van integratie en coördinatie van metrologisch onderzoek in het kader van EMRP, maakten het oprichten van een rechtspersoon voor de coördinatie van Europese metrologie noodzakelijk. De installatie van deze rechtspersoon is voorbereid binnen het iMERA - project met als resultaat de transformatie van EUROMET naar EURAMET E.V. op 11 januari 2007 in Berlijn.

EURAMET heeft als doel de bevordering van wetenschap en onderzoek en Europese samenwerking op het gebied van metrologie en aansluiting bij ERA, de European Research Area. Dit wordt gerealiseerd door de volgende acties:

- Ontwikkeling en ondersteuning van Europese onderzoekcoördinatie op het gebied van metrologie en meetstandaarden
- Ontwikkeling, regelmatige updating en implementatie van het European Metrology Research Programma (EMRP)
- Ondersteuning van leden en "associates" bij het werven van onderzoeksgelden in het kader van Europese samenwerkingsprojecten
- Coördinatie van het gezamenlijke gebruik van speciale faciliteiten
- Technische samenwerking met metrologie instituten buiten EURAMET en met andere regionale en internationale metrologie organisaties.
- Als Regionale Metrologie Organisatie (RMO) fungeren met als doel wederzijdse wereldwijde erkenning (mutual recognition) van nationale standaarden, van kalibratie en van meetcertificaten.
- Promotie en coördinatie van wetenschappelijke kennistransfer en ervaring op het gebied van de metrologie
- Vertegenwoordigen van de metrologie op Europees niveau, bevorderen van best-practice naar beleid en beleidsmakers in het kader van metrologische infrastructuur en Europese samenwerking.
- Samenwerking met Europese en internationale organisaties verantwoordelijk voor een infrastructuur van hoog niveau, in het bijzonder bij participatie in de voorbereiding van geharmoniseerde technische documenten.

De voorloper van het EMRP, iMERA-Plus, liep van 2007-2012 en is succesvol afgerond.

5.2.1 De Europese positie van VSL

In de Strategievisie standaardenbeheer 2009-2012 luidde advies 24: Continueer de deelname aan iMERA projecten vanuit NMi-VSL. Dit advies is met enorme inzet en veel succes opgevolgd. VSL heeft aan 8 iMERA+ projecten deelgenomen, welke inmiddels zijn afgerond.

In het vervolgprogramma, EMRP, is VSL eveneens zeer actief. Momenteel lopen er 27 projecten, waarvan er 7 in 2013 eindigen. Daar tegenover staat dat er halverwege 2013 nog 6 nieuwe projecten van start zullen gaan. De verdeling van de EMRP-projecten over de diverse thema's is:

- Energy1: 7 projecten
- Industry1: 6 projecten
- Environment1: 4 projecten
- Health: 5 projecten
- SI-1: 3 projecten
- New Technologies: 2 projecten
- Industry2: 3 projecten
- SI-2: 3 projecten
- Energy2: naar schatting 8 projecten (laatste call)
- Environment 2: naar schatting 4 projecten (laatste call).

Bij meerdere projecten is VSL coördinator.

Het participeren in deze projecten heeft niet alleen geleid tot uitbreiding van de onderzoeksactiviteiten, maar ook en vooral tot meer focus op die terreinen waar VSL bij uitstek over expertise beschikt, en het afstoten van enkele andere gebieden, waaronder akoestiek en grafeen.

5.2.2 Het European Metrology Research Programme (EMRP)

Het EMRP heeft als hoofddoel de ontwikkeling van de metrologie als een multidisciplinair wetenschappelijk vakgebied significant te versnellen en te verbreden. Deze discipline:

- Ondersteunt het innovatieproces binnen de onderzoeksgemeenschap en de voortschrijdende industriële ontwikkeling.
- ondersteunt EU-beleid door te zorgen voor een geavanceerde technische basis van de metrologie.

Het EMRP focust daarbij op drie uitgangspunten:

- Een nieuwe aanpak voor metrologisch onderzoek waarbij “grote uitdagingen” vanuit de verschillende takken van de metrologie worden geformuleerd . De sleutelgebieden zijn gerelateerd aan de prioriteiten van het zevende Kaderprogramma (FP7). De EMRP Research Council waakt ervoor, dat de beschikbare middelen gericht en effectief worden ingezet
- Ontwikkelen van multidisciplinaire oplossingen om fundamentele metrologische problemen gerelateerd aan de fundamentele constanten opt te lossen.
- Gerichte R&D met als doel de realisatie en verspreiding van de primaire en secundaire eenheden te verbeteren.

Het EMRP beschikt over een budget van € 400 miljoen voor een periode van 7 jaar, wordt georganiseerd door 23 nationale metrologie–instituten, onder auspiciën van EURAMET met ondersteuning van de Europese Unie.

Verbinding met de geschikte thema’s binnen FP7 zijn voorzien, in het bijzonder met het Instituut voor Reference Materials and Measurement, onderdeel van het European Joint Research Center (JRC), waarvan directe participatie in de juiste EMRP-activiteiten wordt verwacht.

Momenteel hebben sommige landen slechts een marginaal of in het geheel geen nationaal R&D programma. Binnen het onderdeel “Capacity Building” voorziet het EMRP in zowel verspreiding als opbouw van capaciteit binnen deze landen en maakt tegelijkertijd gebruik van de aanwezige expertise.

In 2012 verscheen een tussentijdse evaluatie van het EMRP, met een zeer positief resultaat. In het rapport staat o.a.: “the EMRP is an excellent example of a joint programme aimed at creating critical mass to address complex, interdisciplinary social challenges and minimise duplication of research efforts.”

Het EMRP bracht bijna 100 gezamenlijke projecten tot stand en nog dit jaar lanceert EMRP zijn laatste call 2013 (metrologie voor energie en metrologie voor milieu) maar een mogelijke opvolger is bijna gereed, n.l. The European Metrology Programme for Innovation and Research, kortweg EMPIR genoemd. Dit nieuwe initiatief zal wederom worden uitgevoerd onder de koepel van EURAMET met aanzienlijke steun vanuit het Europese kaderprogramma HORIZON 2020. Voor het

zover is dient EMPIR, gebaseerd op artikel 185 van het Verdrag van de Europese Unie, goedgekeurd te worden door de Europese Raad en het Europees Parlement via een z.g. co-decisieprocedure.

5.2.3 Het European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR)

EMPIR betreft toonaangevend onderzoek op het terrein van SI (internationale eenheden), en onderzoek gerelateerd aan de grote uitdagingen op de gebieden van energie, milieu en gezondheid. Deze activiteiten richten zich op de behoeften van de Europese industrie en bevorderen een snel gebruik van de onderzoekresultaten.

Een andere belangrijke doelstelling van EMPIR is het verder intensiveren en faciliteren van samenwerkingsverbanden tussen metrologie-organisaties, industrie en nationale meetinstituten (NMI's).

EMPIR in kort bestek:

- is het belangrijkste programma voor Europees metrologieonderzoek
- is gebaseerd op artikel 185 van het Europees Verdrag
- gaat uit van gezamenlijke implementatie door de bij Euramet aangesloten instituten
- krijgt evenredige financiering van Eurametleden en de Europese Unie (50/50 basis)
- omvat verschillende modules, ieder met een duidelijke eigen focus
- heeft een looptijd van 10 jaar met calls tussen 2014 en 2020
- beoogt uitbreiding van de reikwijdte van het onderzoek richting innovatie, standaardisatie en "capacity building"
- wordt opengesteld voor deelname van excellente onderzoekspartners (niet NMI's)

5.3 Nederland

5.3.1 Inleiding

Zoals in hoofdstuk 4 is aangegeven speelt metrologie een belangrijke rol in de industrie, internationale handel en het dagelijkse leven. Onder andere vanwege een eerlijke handel en ter bescherming van de consument heeft de overheid in het verleden een systeem in het leven geroepen om bepaalde standaarden vast te leggen en apparatuur verplicht te ijken. Het vakgebied metrologie bestrijkt echter een breder terrein dan in de Metrologiewet is omschreven.

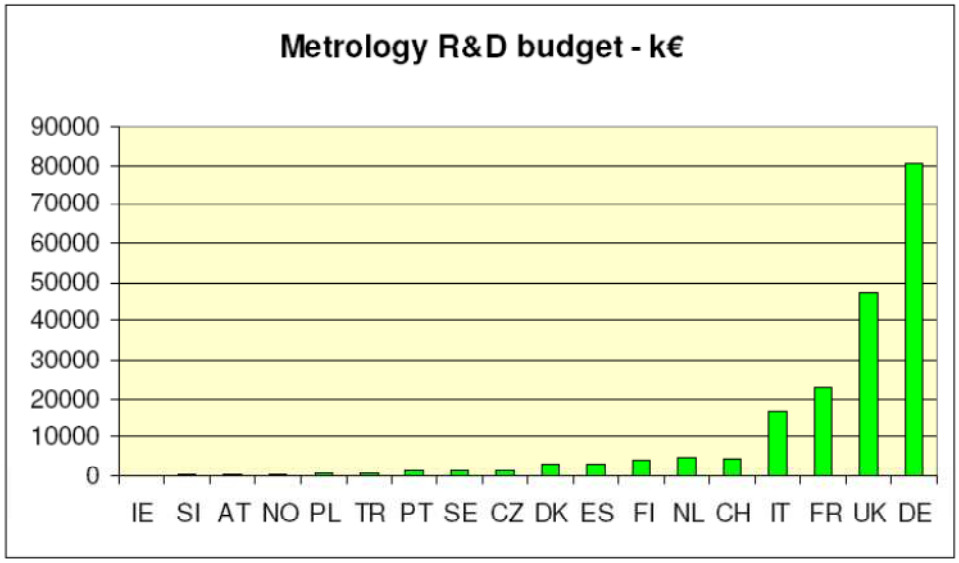
Op 1 mei 1989 is de Dienst van het IJkwezen geprivatiseerd onder de naam Nederlands Meetinstituut. Dit komt voort uit het beleid van de overheid zo min mogelijk uitvoerende taken zelf te verrichten. Bijkomend argument was dat zo de aanwezige kennis bij de Dienst van het IJkwezen op een betere wijze aan het bedrijfsleven kan worden aangeboden. Hiermee is de grens tussen wat een overheidstaak is en welke taken aan het bedrijfsleven kunnen worden overgelaten minder duidelijk geworden. De Raad adviseert de minister van Economische Zaken en de regering ten aanzien van deze aspecten.

Daarbij moet worden aangetekend dat de Raad beseft dat inzicht in het belang van meetstandaarden in de volle breedte niet bij alle departementen aanwezig kan worden verondersteld. Daarom beveelt de Raad opnieuw aan bij de beoordeling van wetten/regelgevingen waarin metingen aan de orde zijn een advies van VSL verplicht te stellen over meetmethode, meetstandaard en herleidbaarheid.

Tijdens haar werk als toezichthouder (artikel 4 lid a van de Metrologiewet) heeft de Raad ervaren dat vanuit EZ drie maal per jaar uitvoerige rapportages van VSL worden verlangd om zich te verantwoorden. Deze rapportages worden door de Raad beoordeeld. De Raad heeft geadviseerd deze rapportages minder uitvoerig te maken en meer op hoofdlijnen te sturen. Dit geeft voor de medewerkers van VSL en ook voor de leden van de Raad de gelegenheid meer met de inhoud bezig te zijn.

Dat Nederland als geïndustrialiseerd land niet voorop loopt op het gebied van de metrologie blijkt uit Fig. 2. Vergelijken we de figuren 2a (metrologiebudget) en 2b (BNP) van diverse Europese landen dan is duidelijk te zien dat Nederland beduidend minder geld aan R&D metrologie besteedt, uitgedrukt als fractie van het BNP, dan Duitsland, Engeland en Finland. Dit botst met de ambitie van Nederland om Kennisland zijn.

(a)



(b)

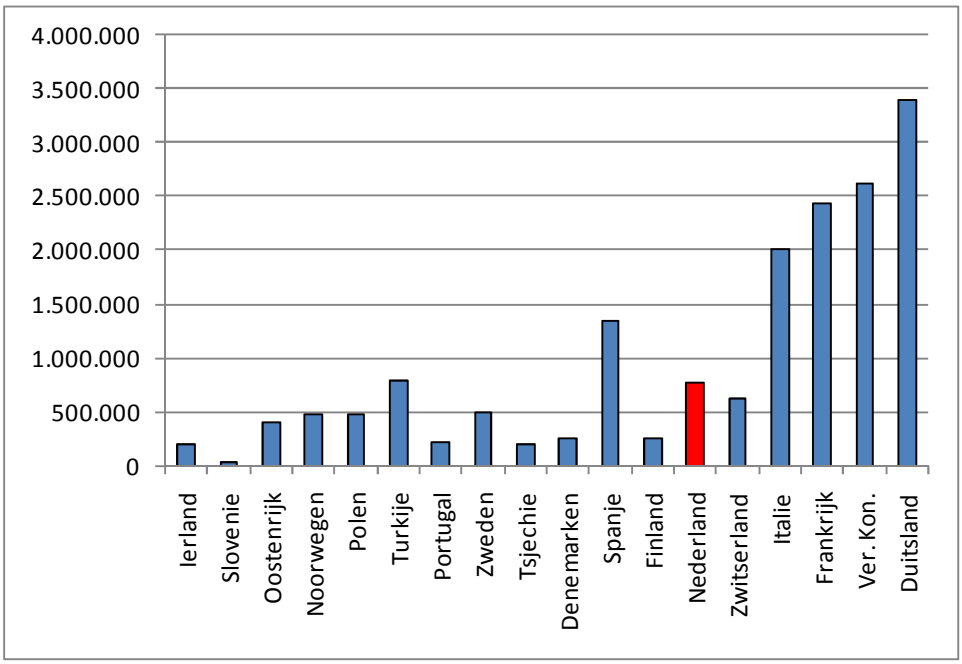


Fig. 2. (a) R&D metrologiebudget van enige Europese landen [L.R. Pendrill 2011: Looking to the Future of European Metrology. NCSLiGaylord, Washington DC], (b) BNP in 10^6 USD van dezelfde landen vlgs IMF 2012 [Wikipedia].

5.3.2 Relatie VSL – Nederlands bedrijfsleven

Met het opheffen van de Holland Metrology Group is de directe moederorganisatie van VSL weggevallen en zag VSL zich genoodzaakt in een nog zelfstandiger vorm haar weg te gaan. Deze nieuwe positie is, vanuit de perceptie van het bedrijfsleven, door VSL goed ingevuld. Er wordt serieus gepoogd om samen te werken met het bedrijfsleven. Het is gewenst dat VSL deze samenwerking verder versterkt. Het belang van samenwerking tussen de metrologische instituten en de industrie wordt ook door het Europese Parlement onderstreept en zal gestimuleerd worden in EMPIR (de opvolger van EMRP).

De Raad voor Accreditatie (RvA) zorgt voor kalibratie, (afname) keuringen en inspectie volgens ISO 17025 en 17020. VSL draagt bij aan het niveau door het organiseren van nationale ringvergelijkingen. Momenteel is VSL de enige instelling die in Nederland formele ringvergelijkingen organiseert voor kalibratielaboratoria (VSL is geaccrediteerd tegen ISO17043; registratie R006). Hun aanbod wordt bepaald door signalen uit de markt en via afspraken binnen de Technische Commissies (voorheen NKO, nu onder de vlag van VSL). Deze commissies dekken niet alle parameters, maar slechts Elektriciteit, Temperatuur & Vocht, Geometrie en Druk.

Door andere prioriteiten is de voortgang van ringvergelijkingen en de deelname aan TC's niet altijd optimaal. Internationale key comparisons duren vaak veel te lang.

Als het gaat om routinematige kalibraties is er nog steeds een trend om die uit te laten voeren door andere (binnen- en buitenlandse) geaccrediteerde bedrijven, voornamelijk vanwege de lagere kosten die deze instellingen in rekening brengen, vergeleken met die van VSL. Echter, in toenemende mate vindt men in VSL een betrouwbare en solide uitvoerder waar het gaat om lagere onzekerheden, bijzondere toepassingen, extreme bereiken en condities, nieuw ontwikkelde instrumenten, of de herleidbaarheid tot nationale standaarden.

Grote klanten maken zich uitgesproken zorgen over de toekomstige dienstverlening van VSL vanwege de voortdurende bezuinigingen. Men vreest voor het wegvloeien van deze specifieke voor de Nederlandse industrie uiterst relevante kennis. VSL is inmiddels de enige instelling in Nederland waar een brede en diepgaande metrologische kennis aanwezig is. De metrologische kennis is binnen bedrijven aan het verdwijnen: gekwalificeerd personeel stroomt uit door pensionering en de aanwas van jonge, goed opgeleide mensen stagneert. Bedrijven hebben dan ook de grootste moeite gekwalificeerd personeel aan te trekken. Men constateert dat de basis van de metrologie niet meer onderwezen wordt, noch op universitair, noch op HBO-niveau (zie ook de paragraaf over samenwerking met Universiteiten en Hogescholen). De kenniseconomie en het innovatief vermogen van Nederland lopen het gevaar bij ongewijzigd beleid op termijn achterop te geraken bij andere Europese landen.

Positief is te noemen de initiatieven die gestart zijn met als doel deze ontwikkeling te keren. Eén van deze initiatieven is de oprichting van het 'Flow Center of Excellence' waarbij onderwijsinstellingen, het bedrijfsleven en VSL intensief samenwerken. VSL speelt bv. bij dit initiatief een belangrijke rol.

Een andere potentiële verantwoordelijkheid die zich steeds meer in de richting van VSL beweegt is die van het werken aan standaardisering en het ontwikkelen van

normen. Juist de bij VSL aanwezige specifieke kennis biedt hier unieke mogelijkheden. Samenwerking met nauwverwante organisaties en de relevante bedrijven is hierbij onmisbaar en kan weer tot nieuwe ontwikkelingen leiden.

5.4 Samenwerking VSL- Hoger Onderwijs

5.4.1 Uitgangspunten

Wetenschappelijke onderzoek van hoog niveau is essentieel voor de metreologie in Nederland en voor VSL in het bijzonder. Op het gebied van de industriële en wetenschappelijke metrologie profileert VSL zich als de schakel tussen de internationale metrologische infrastructuur en de toegepaste metrologie (meettechniek en instrumentatie) in Nederland. Om de metrologie adequaat en op het huidige hoge niveau ook in de toekomst te beoefenen is het noodzakelijk de hiervoor benodigde (wetenschappelijke) kennis op peil te houden, om nieuwe gebieden te verkennen en om aan relevante nieuwe onderwerpen te werken. Dat is alleen mogelijk door actief bij te dragen aan de wetenschappelijke ontwikkeling van de metrologie.

Zoals in eerdere versies van het strategische visiedocument al moest worden geconstateerd, is het academisch wetenschappelijk onderzoek in de metrologie in omvang afgenomen. Aan alle drie de technische universiteiten zijn de daar ooit aanwezige metrologische leerstoelen opgeheven na pensionering van de betreffende hoogleraar. Wat rest wordt gedaan in vakgroepen die metrologie als onderdeel van een breder onderzoekspallet beoefenen.

Een recent voorbeeld van deze teruggang is te zien in het nieuwe onderwijsmodel van de Universiteit Twente (TOM, 2013). Het enige basisvak Meettechniek, dat na de opheffing van de leerstoel Meettechniek en Instrumentatie nog in het bachelorprogramma in stand was gehouden voor nog slechts een klein deel van de studenten, gaat verdwijnen. In plaats daarvan komen enkele onderdelen van het vak verspreid terug in de diverse in te richten modules. Het is duidelijk dat door deze versnippering alsmede de afwezigheid van metrologisch geschoolde docenten de basis van de metrologie in het onderwijs van deze universiteit geheel teloor zal gaan.

Het Angelsaksische model voor het bedrijven van wetenschappelijk onderzoek, waarbij publiceren in tijdschriften met hoge (hoogste) impact het allerbelangrijkste is, heeft ook de Nederlandse universitaire wereld geïnfecteerd. Vakgebieden zoals de metrologie hebben hier onevenredig veel onder te leiden gehad. Vanwege het grote economische belang van de metrologie is het de hoogste tijd dat er tegengas wordt gegeven.

Degelijk onderwijs in de metrologie is van groot belang om de metrologische infrastructuur in Nederland op peil te houden. De afgelopen jaren is er in het hoger onderwijs steeds minder aandacht voor de metrologie. Het vakgebied geldt als niet sexy. De slagzin van het voormalige Laboratorium van prof. Heike Kamerlingh Onnes in Leiden: “Door meten tot weten” wordt door velen in de natuurkunde onderschreven. Toch is er tegenwoordig in het bacheloronderwijs in de natuurkunde en de ingenieursvakken weinig aandacht voor meettechnieken, bepaling van meetnauwkeurigheden en foutenanalyse. Door de geringe aandacht voor metrologie in de curricula is het voor het Nederlandse bedrijfsleven en ook

voor VSL zeer moeilijk om gekwalificeerde medewerkers op het gebied van de metrologie te werven.

5.4.2 Noodzaak tot samenwerking

Het is voor VSL zeer moeilijk, zo niet onmogelijk, om met de beperkte middelen zowel de kennis op hoog peil te houden als ook nieuwe onderwerpen aan te boren. De hiervoor benodige hoeveelheid personeel ontbreekt en ook is het moeilijk om het nodige geld vrij te maken. Zoals eerder aangegeven loopt Nederland qua budget voor R&D in de metrologie in verhouding tot het nationaal budget achter op het gemiddelde in Europa.

Anderzijds is het voor de weinige aan de universiteit overgebleven metrologische experts moeilijk om het onderwijs in de metrologie uit te breiden.

Structurele samenwerking tussen VSL en de universiteiten is daarom een voor de hand liggende manier om zowel het onderzoek als het onderwijs in de metrologie te versterken.

Er wordt weliswaar al samengewerkt tussen medewerkers van VSL en universitaire groepen maar die samenwerking is vrijblijvend en niet structureel. Men kent elkaar bijvoorbeeld uit het verleden. Ook wordt wel eens een Research Excellent Grant (REG) onderzoeker (meestal een postdoc) aan een vakgroep van een Nederlandse universiteit gefinancierd door een EMRP project. Vaak gebeurt dit dan door bemiddeling van VSL.

In de volgende paragraaf wordt een model beschreven om de samenwerking minder vrijblijvend en meer gestructureerd te maken. Hiervoor is een inspanning (onder andere financieel) van zowel VSL als de universiteiten nodig. De kosten en moeiten worden echter bij verre overtroffen door de voor beide partijen te verwachten baten.

5.4.3 Een model voor samenwerking

In het volgende beschrijven we een model voor de samenwerking van wetenschappers van VSL en Nederlandse universiteiten. Het model is tot stand gekomen door interne discussie in de Raad waarbij gebruik is gemaakt van gesprekken die gevoerd zijn tussen leden van de Raad en wetenschappers van VSL. Uit die gesprekken kwam naar voren dat in het samenwerkingsmodel vijf metrologische kerngebieden aan bod moeten komen. Deze kerngebieden zijn:

1. nanometrologie
2. optica
3. elektrische energie
4. chemie (inclusief spectroscopie)
5. flow

In het voorgestelde samenwerkingsmodel zou voor elk van de vijf kerngebieden een senior wetenschapper van VSL een deeltijdaanstelling in een passende groep aan een universiteit moeten krijgen voor bijvoorbeeld 10%, d.w.z. voor 1 dag per twee weken. Voor elk van de vijf kerngebieden geldt dat er passende vakgroepen aan Nederlandse universiteiten zijn. In paragraaf 5.4.4. wordt uiteengezet dat zowel VSL

als de betrokken universitaire vakgroepen zullen profiteren van deze deeltijdaanstellingen. Het lijkt daarom redelijk dat VSL en de universiteit ieder de helft van de benodigde financiële middelen opbrengen, d.w.z. bij een 10% aanstelling ieder 0,05 fte. De selectie van de deeltijdmedewerker moet in goed overleg door VSL en de universiteit gezamenlijk worden gedaan en de aanstelling zal 3 jaar gelden met een optie tot verlenging met nog eens 3 jaar. Het niveau van de deeltijdaanstelling hangt van de wetenschapper af; in een aantal gevallen kan het om een aanstelling als deeltijdhoogleraar gaan, in andere gevallen kan een aanstelling als deeltijd UHD of UD passender zijn.

Het voorgestelde model is slechts een voorbeeld en variaties zijn uiteraard mogelijk. Een belangrijke overweging bij het tot stand komen van dit model was dat op deze wijze met minimale kosten een maximaal effect bereikt kan worden. In de vorige versie van de Strategische Visie van de Raad was de belangrijkste aanbeveling de aanstelling van een voltijdse leerstoel in de metrologie aan een van de technische universiteiten. Dit advies is niet opgevolgd, dat wil zeggen dat de hiervoor benodigde middelen door geen van de betrokken partijen, inclusief EZ, beschikbaar zijn gesteld. Hoewel de instelling van een voltijdse leerstoel in de metrologie een heel goed signaal zou zijn om het belang van het vakgebied te onderstrepen, is het waarschijnlijk dat een dergelijke voltijdse leerstoel zich slechts op een deelgebied van de metrologie zou richten: het vakgebied is nu eenmaal te groot voor een leerstoel. De Raad denkt dat het in dit document voorgestelde model van een aantal parallelle deeltijdaanstellingen een grotere impact kan hebben op onderzoek en onderwijs bij lagere kosten. Belangrijk voordeel is dat alle vijf kerngebieden aandacht krijgen en dat in meerdere curricula het onderwijs in de metrologie uitgebreid zou kunnen worden (bijvoorbeeld in de natuurkunde, de elektrotechniek, de werktuigbouwkunde en de chemie).

Voordelen van samenwerking

a. Voordelen voor VSL

- Toegang tot andere financieringsbronnen voor onderzoek zoals STW, FOM, IOP en HTSM waar alleen medewerkers van universiteiten projecten kunnen indienen.
- Het inzetten van door genoemde organisaties betaalde promovendi die aan metrologische onderzoeksprojecten werken is voor VSL een zeer efficiënte manier om diepgaand onderzoek in de metrologie te doen tegen zeer lage kosten.
- Directe toegang tot universitaire kennis. Mogelijkheden tot brainstormen over nieuwe ideeën (binnen VSL zijn er vaak weinig collega's die voldoende van elkaars vakgebied afweten).
- Toegang tot het experimentele instrumentarium van universitaire vakgroepen. Dit is nuttig voor het doen van kortdurende projecten. De eigen opstellingen zijn dikwijls al voor langere tijd geboekt.
- Via het bijdragen aan onderwijs directe toegang tot studenten. Afstudeerprojecten maken het mogelijk extra werk te laten doen waar men anders geen tijd of geld voor heeft. Voorbeelden zijn het doen van voorstudies voor nog aan te vragen EMRP projecten.
- Via bijdragen aan het universitaire onderwijs en onderzoek wordt de zichtbaarheid van de metrologie en van VSL vergroot.
- Voor wetenschappers van VSL kan een deeltijdbetrekking in een universitaire vakgroep zeer bevredigend en inspirerend zijn.

b. Voordelen voor de universiteit.

- Toegang tot REG posities (bijvoorbeeld postdocs) van EMRP projecten.
- Meer wetenschappelijke output voor de betreffende vakgroepen.
- Extra promovendi door gehonoreerde aanvragen van de VSL-wetenschapper met deeltijdaanstelling.
- VSL kan als bedrijf meedoen en meehelpen bij onderzoeksaanvragen in het kader van HTSM, STW enz.
- Makkelijker toegang tot experimenteel instrumentarium van VSL.
- Verbetering van het onderwijs in experimentele vaardigheden.

Van een deeltijder die een aanstelling van 10% heeft kan uiteraard niet verwacht worden dat zij/hij alleen een heel college verzorgt. Het zou echter al heel nuttig zijn als een aantal uren metrologie gedoceerd zou worden ingebed in een ander college.

De mogelijkheid van een deeltijdhoogleraarsplaats heeft grote voordelen, gezien de mogelijkheden om metrologie een basisplaats te geven binnen de huidige opleiding en hiermee ook het belang van metrologie te onderstrepen. Voor VSL zijn verder vooral Promotieonderzoek en Postdocs aantrekkelijk, gezien de subsidiemogelijkheden en het hoge niveau van het onderzoek.

5.4.4 Lopende initiatieven

Om de metrologie maatschappelijk weer verankerd te krijgen heeft de Raad in zijn vorig strategisch advies voorgesteld een Nederlands “Platform Metrologie” op te richten, naar voorbeeld van andere, gelijkwaardige platforms zoals het platform Sensortechnologie. Vanuit dit platform kan dan een subsidieprogramma worden ontwikkeld op het gebied van de metrologie. In de lichtste organisatievorm zou dit platform kunnen bestaan uit een gezelschap van vooraanstaande personen uit het Nederlandse bedrijfsleven. Het platform zou ook de mogelijkheden kunnen onderzoeken voor het aanstellen van één of meer deeltijdhoogleraren in de metrologie, bekostigd vanuit de deelnemers aan dit platform.

EZ heeft het afgelopen jaar een beperkte verkenning gedaan naar het draagvlak voor een dergelijk platform. Dit draagvlak bleek slechts voor Temperatuur en Stroming te bestaan. De Raad heeft een voorkeur voor een platform dat het gehele vakgebied van VSL bestrijkt. Daar dit niet op korte termijn mogelijk blijkt, adviseert de Raad VSL zelf een plan van aanpak te ontwikkelen met de hiervoor genoemde suggesties voor een sterkere verbondenheid van VSL met universiteiten en hogescholen.

Maar ook vanuit andere hoeken dienen zich initiatieven aan om de metrologie, op specifieke terreinen, te ondersteunen. Een interessant initiatief van de Technische Universiteit Eindhoven verdient hier te worden genoemd. Op deze universiteit wordt een promotieonderzoek gestart, betrekking hebbend op de aspecten van het meten van Power Quality, mede gezien de ontwikkeling van intelligente elektriciteitsnetwerken. Deze promotieplaats zal worden gefinancierd door de Technische Universiteit zelf, maar vanuit VSL zal een deel van de begeleiding kunnen worden gedaan, mede om de resultaten van het onderzoek ook ten volle door VSL te benutten. Ook kan de promovendus wellicht deels werkzaam zijn bij of voor VSL.

Een ander sprekend voorbeeld is het initiatief tot de vorming van een centrum voor Flowtechniek (Flow Center, zie www.flowcenter.nl). Flow Center werkt aan opleiding en innovatie op het gebied van flow measurement. Met industrie en onderwijs, ondersteund door brancheorganisaties en overheid, wordt er samen gebouwd aan de toekomst van flow measurement.

Resumerend is het duidelijk dat zowel VSL als de universiteiten heel veel baat zullen hebben bij een structurele samenwerking zoals hierboven geschetst. De Raad adviseert daarom deze plannen nauwlettend te volgen en te steunen. Voorts dient VSL gekwalificeerde medewerkers te stimuleren meer bij te dragen aan het hoger onderwijs, en de mogelijkheden te onderzoeken dit bij de universiteiten en hogescholen onder de aandacht te brengen.

6 Huidige situatie en ontwikkelingen van Standaarden

6.1 Inleiding

Op basis van de omgevingsanalyse en middels vele gesprekken van de leden van de Raad met marktpartijen, collega deskundigen tijdens formele en informele bijeenkomsten en bij symposia en congressen, is de Raad na interne discussie tot inzichten gekomen ten aanzien van de huidige situatie en de noodzakelijke toekomstige ontwikkelingen op de bestaande metrologische vakgebieden.

Deze worden in dit hoofdstuk gepresenteerd. De conclusies hiervan staan vermeld in Hoofdstuk 2. Nieuwe ontwikkelingen en nieuwe gebieden worden in Hoofdstuk 7 besproken, conform een nieuwe indeling.

De activiteiten van VSL worden gefinancierd vanuit subsidies door EZ, Europese onderzoekssubsidies en eigen inkomsten. Deze budgetten worden gebruikt voor de volgende activiteiten:

- Beheer
- Ontwikkeling
- Onderzoek
- Key comparisons

De activiteiten zijn opgedeeld in de volgende groepen, conform de in dit rapport gehanteerde indeling: Chemie, Elektriciteit, Ioniserende straling, Massa en gerelateerde grootheden, Lengte en gerelateerde grootheden, Thermometrie, Tijd en Frequentie, Volumetrie en ten slotte Metrologische Infrastructuur. Daarnaast heeft VSL in het meerjarenplan 2010-2013 gekozen voor een duidelijke profilering in 5 speerpunten. Deze zijn:

- Chemie
- Volumetrie
- HV vermogen
- Radiometrie
- Nano- en micrometrologie

Figuur 3 geeft weer hoe de budgetten zijn verdeeld over de verschillende activiteitsgroepen. Het diagram toont duidelijk aan dat de genoemde speerpunten inderdaad verantwoordelijk zijn voor het grootste aandeel in de totale kosten. De EMRP-gelden worden uitsluitend aangewend voor onderzoek. Het matchingaandeel is 50%.

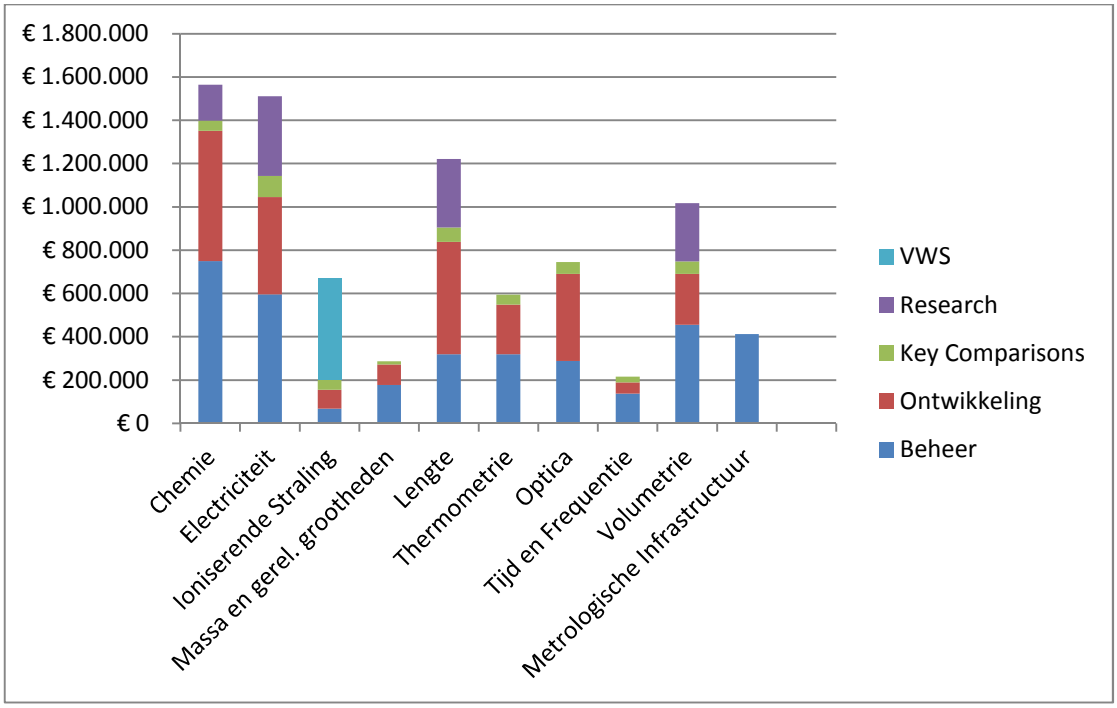


Fig. 3. Verdeling van EZ- en VWS-budget (in €) binnen VSL in 2013.

In Fig. 4 worden de inspanningen van VSL op de diverse technologische gebieden vergeleken met die van Europa.

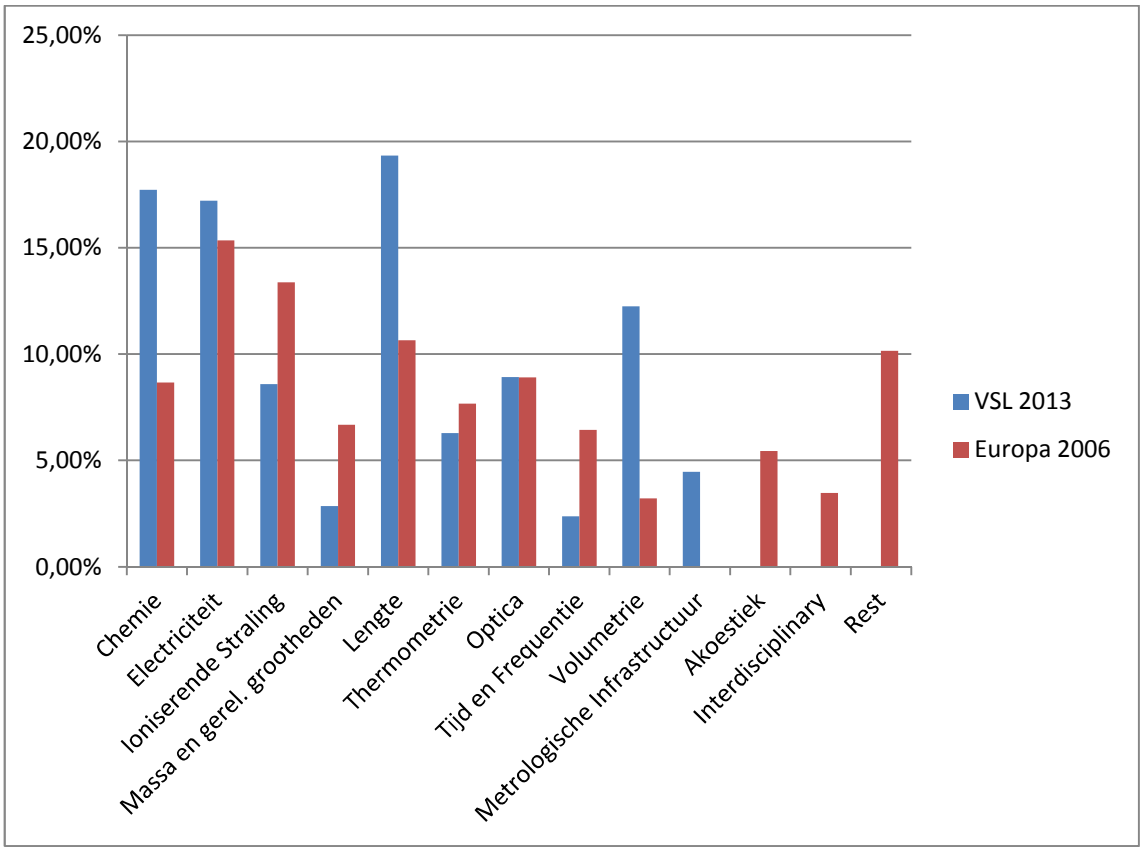


Fig. 4. Procentuele verdeling van de inspanningen van VSL en Europa op de diverse technologieën

Uit de grafiek volgt duidelijk dat VSL zich op de gebieden Chemie, Volumetrie en Lengte nadrukkelijker profileert dan de rest van Europa. Voor Chemie en Volumetrie is dit consistent met de leidende positie die VSL al sinds meerdere jaren binnen deze disciplines heeft. De relatief grote inspanning bij Lengte wordt veroorzaakt door een bovengemiddeld goede score in recente EMRP-calls en doordat Lengte (als één van de weinige technologieën binnen VSL) participeert in diverse FP7-projecten op het gebied van nanometrologie en op het gebied van inline metingen.

Tot slot valt op dat de technologieën Massa en Tijd relatief weinig aandacht krijgen binnen VSL vergeleken met de rest van Europa. Dit is in lijn met het vorige Meerjarenplan 2009-2012, waarin gekozen is voor versterking van de eerder genoemde 5 speerpunten en voor het op een goed niveau houden van Massa en Tijd met een relatief beperkt budget. Massa participeert niet in het EMRP, maar Tijd wel, met een project op het gebied van tijd- en frequentiedistributie via glasfibers.

In de volgende paragrafen komen achtereenvolgens de ontwikkelingen van de negen hoofddomeinen van VSL aan de orde.

6.2 Chemie

6.2.1 Inleiding

Chemische standaarden vormen een zeer breed werkgebied. De basisgrootheid voor een chemische standaard is de “hoeveelheid stof” uitgedrukt in de eenheid mol. De mol is een van de zeven basiseenheden in het SI. De mol is niet direct te meten en wordt berekend op basis van meetresultaten zoals massa per volume eenheid en kennis van het molecuulgewicht. Bij de voorziene herdefinitie van de basiseenheden zal een mol gaan corresponderen met een bepaald exact aantal deeltjes afgeleid uit de constante van Avogadro, hetgeen binnen de vereiste nauwkeurigheid geen consequenties heeft voor het begrip “hoeveelheid stof”.

6.2.2 Huidige Situatie

Bij de uitvoering van een chemische meting spelen de omgevingsfactoren van de te bepalen stof/component een belangrijke rol. De aanwezigheid van andere componenten kan het meetresultaat op twee manieren sterk beïnvloeden. In de eerste plaats is het gemeten signaal niet altijd voldoende specifiek voor de te bepalen component. In feite betekent dit dat de gekozen meetmethode niet de juiste is; dit probleem kan vaak worden ondervangen door verschillende meetmethoden toe te passen. Ten tweede is er de invloed van de “matrix” op de monstername en de monster voorbewerking, die het resultaat sterk beïnvloedt. Zo kan de bepaling van een legeringssamenstelling via Röntgenfluorescentie, waarbij het oppervlak van de legering eerst wordt gepolijst, tot totaal verkeerde resultaten leiden door oppervlakteverrijking. Ook bij diepteafhankelijke informatie die kan worden verkregen door “sputteren” kan ongewild selectief sputteren niet altijd door het gebruik van betrouwbare referentie “standaarden” worden opgevangen. Ook in de levensmiddelenanalyse kan de bepaling van bv dioxine in een niet homogeen vast product (kip) niet eenvoudig met de analyse in een vloeistof (melk) worden vergeleken. Na monstername en verdere bewerking bij het kipproduct wordt uiteindelijk een vloeistofanalyse uitgevoerd, die met dezelfde analysetechniek en zorgvuldigheid als bij melk wordt gedaan, maar nog steeds een vertaalslag nodig

heeft naar (een deel van) het oorspronkelijke kipproduct om van waarde te kunnen zijn voor de consument.

Het is duidelijk dat voor vaste stoffen en in iets mindere mate vloeistoffen voor elke component in ieder type matrix een specifieke meetmethode met een aparte standaard zou moeten worden ontwikkeld om tot herleidbaarheid te komen. Vanzelfsprekend is dat praktisch onuitvoerbaar. De ontwikkeling van chemische standaarden voor vaste stof en vloeistofanalyses staat daarom nog in de kinderschoenen. VSL heeft bewust gekozen om in dit veld niet te streven naar een belangrijke positie, mede omdat de industrie vaak een acceptabele manier van werken heeft gevonden zonder de beschikbaarheid van referentiestandaarden.

De uitzondering hierop vormen de chemische standaarden voor gasanalyses. Aangezien een groot aantal gassen in zeer zuivere vorm verkrijgbaar is kan met behulp van nauwkeurige meetapparatuur een groot aantal combinaties van primaire gasmengsels worden gemaakt. Deze kunnen gebruikt worden in de industrie voor een zeer goot aantal toepassingen. VSL heeft op het gebied van deze gasanalyses al geruime tijd een vooraanstaande positie in de wereld, mede door de zelfgekozen specialisatie (speerpuntenbeleid). Sinds 1994 heeft de afdeling chemie van VSL ook een “declaration of equivalence” met het NIST in de VS. Hierdoor kunnen Europese klanten een specifieke range van primaire referentiematerialen van VSL gebruiken als bron voor herleidbaarheid. De Nederlandse gebruikers zijn evenals dat in de vorige rapportage werd geconstateerd hiermee zeer tevreden.

VSL speelt ook een belangrijke rol bij het opbouwen van kennis omtrent chemische standaarden bij andere NMI’s in Europa en bij de industrie. Ook in het kader van het EMRP speelt VSL op dit terrein een belangrijke rol.

6.2.3 Ontwikkelingen

Voor de Nederlandse economie zijn betrouwbare en herleidbare gasanalyses van steeds groter belang (gasrotonde, LNG, aardgas/schalie, gasharmonisering (Wobbe index), biobrandstoffen etc.). Het is daarom noodzakelijk de vooraanstaande positie van VSL op het gebied van de gasanalyses vast te houden. VSL moet dus , zoals ook in de afgelopen jaren is gedaan, blijven investeren in de toepassing van nieuwe technologieën met de laagste detectiegrenzen en de hoogste nauwkeurigheid. De investeringen in CRDS (Cavity Ring Down Spectroscopy) en in gaschromatografen voor gespecialiseerde toepassingen in de afgelopen periode worden door industriële klanten zeer gewaardeerd.

Belangrijke ontwikkelingen zijn vaak milieu en veiligheid (gezondheid) gerelateerd en worden ook door nieuwe wetgeving op het gebied van uitstoot van gassen en fijnstof geïndiceerd. Ook de opkomst van nano-materialen kan in de nabije toekomst leiden tot de noodzaak nieuwe meetstandaarden te ontwikkelen, zowel in de gasfase als in de vloeistoffase (o.a. drinkwater).

De toepassing van nieuwe grondstoffen voor energieconversieprocessen (bv biobrandstoffen) blijft onverminderd van belang.

6.3 Elektriciteit en magnetisme

6.3.1 Inleiding

Omdat veel meetinstrumenten de gewenste informatie afbeelden op een elektrische grootheid, is de betekenis van het meten van elektrische grootheden ruimer dan voor het meten van die grootheden alleen. Recente ontwikkelingen op het gebied van draadloze communicatie en de toenemende mate van afhankelijkheid van elektronische systemen verklaart de opkomst van nieuwe metrologische activiteiten, zoals EMC-metingen (elektromagnetische compatibiliteit) vanwege ongewenste beïnvloeding (interferentie). De verwachting is dat de toepassing en noodzaak tot deze activiteiten de komende jaren alleen nog maar zal groeien.

Daarnaast is er een grote toename aan nieuwe technologieën (zoals onder andere PV-systemen, verlichtingssystemen, elektrisch vervoer) die ook tot gevolg hebben dat er een grote toename van sensoren zal plaatsvinden in de elektriciteitsnetten. Dit laatste om de kwaliteit van de elektriciteitsvoorziening (Power Quality) te kunnen waarborgen.

Op het gebied van efficiency van de nieuwe technologieën en kwaliteitsaspecten van de elektriciteitsvoorziening zijn de volgende ontwikkelingen van belang:

- Meer complexe vermogens- en energiemetingen (in een groter frequentiebereik en met complexere niet-sinusvormige signalen)
- Verliesmetingen aan netcomponenten en toestellen (vermogenstransformatoren, PV-systemen, elektrische auto's, nieuwe verlichtingssystemen)
- Toepassing van andere sensoren dan de traditionele stroom- en spanningstransformatoren om plaatsing van sensoren onder spanning mogelijk te maken

Tevens is er een toenemende noodzaak tot certificering/kalibratie van apparatuur voor bovengenoemde gebieden. Het arsenaal aan elektrische en magnetische grootheden is groot: spanning, stroom, weerstand, capaciteit, zelfinductie, frequentie, vermogen, elektrische veldsterkte en magnetische veldsterkte, allen met een enorm waardenbereik en met een hoge tot zeer hoge nauwkeurigheid. De standaarden voor spanning en weerstand worden rechtstreeks afgeleid van kwantumeffecten. De standaard voor stroom is af te leiden van die van spanning en weerstand. Alle andere elektrische grootheden kunnen direct dan wel indirect via fysische wetmatigheden worden herleid tot de basisgrootheden.

VSL heeft op het gebied van elektriciteit een sterke reputatie opgebouwd, met name door een belangrijke rol te spelen in het fundamentele onderzoek naar kwantumstandaarden. Een en ander is ook onlosmakelijk met elkaar verbonden. Een toppositie zonder te werken aan fundamenteel onderzoek is op langere termijn niet mogelijk.

Ook heeft VSL een leidende rol in Euramet en EU-research op het gebied van elektriciteit, zeker op het gebied van het meten van vermogen en energie. Hier heeft de focus van VSL op dit nieuwe gebied - zoals voorgesteld in het vorige meerjarenplan - zijn vruchten afgeworpen.

Naast VSL zijn er vele erkende bedrijven die mogen kalibreren. Uiteindelijk zal de gebruikte kalibratieapparatuur herleidbaar moeten worden gekalibreerd om de erkenning (door de RvA) te kunnen behouden.

6.3.2 Huidige situatie

VSL verricht kalibraties voor bedrijven en ook voor geaccrediteerde instanties. Zodra dat economisch loont gaan bedrijven naar (erkende) geaccrediteerde instanties. Voor bijzondere, niet routinematige kalibraties blijft VSL het eerste aanspreekpunt.

Vele bedrijven (waaronder enkele zeer grote) geven ook voor routinematig kalibreren toch de voorkeur aan VSL. Redenen hiervoor zijn:

- zekerheid (voorkomen van problemen, veiligstellen via herleidbaarheid)
- langere kalibratie-intervallen door betere kwaliteit kalibratieapparatuur
- brede kennis (over het gehele vakgebied)
- onafhankelijkheid.

Overigens bestaat er een harmonieuze samenwerking tussen de geaccrediteerde instanties en VSL. In het algemeen is de kalibratiemarkt voor elektrische grootheden stabiel te noemen. Het is in het kader van deze rapportage ondoenlijk om voor elke elektrische grootheid afzonderlijk de ontwikkelingen t.a.v. gewenste waardenbereik en onzekerheid op te sommen. Dit wordt hierna slechts voor enkele specifieke gevallen gedaan.

Hoogfrequent meetapparatuur

Hoogfrequent meetapparatuur omvat onder andere generatoren, netwerkanalysatoren, probes en antennes. Hiermee worden grootheden gemeten als overdracht, reflectiecoëfficiënt, veldsterktes en meer. Deze apparatuur wordt o.m. ingezet voor EMC, ESD (*electrostatic discharge*) en EFT (*electric fast transients*), gebieden waarvoor strenge normen gelden in verband met ongewenste interferentie. Men onderscheidt ruwweg twee frequentiegebieden: DC tot 3 GHz en hoger dan 3 GHz (tot zeker 40 GHz).

De kleinere instrumenten (probes e.d.) worden bij andere NMI's gekalibreerd, zeker als het gaat om frequenties ver boven 3 GHz. Ook antennemetingen vinden elders plaats omdat VSL niet over de faciliteiten daarvoor beschikt. Omdat dit laatste een relatief klein aandeel van de totale kalibratiemarkt vormt is het niet nodig dat VSL hiervoor grote investeringen gaat plegen. De grotere apparatuur wordt bij voorkeur door VSL gekalibreerd, vanwege korte reistijden, minder vervoersrisico en goede resultaten. De algemene wens is dat de service van VSL voor die taken behouden blijft. Hiermee kan VSL de Nederlandse erkende kalibratielaboratoria blijven bedienen die beschikken over faciliteiten voor het meten van EMC.

Vermogensmetingen

In Nederland bevindt zich bij KEMA één van de grootste basisfaciliteiten voor het beproeven van midden- en hoogspanningsmaterialen en apparaten in de wereld. In deze laboratoria worden kortsluitstromen tot enkele honderdduizenden ampère en spanningen tot enkele miljoenen volt opgewekt ten behoeven van kortsluit- en hoogspanningsbeproevingen. Ook bevindt zich op dezelfde locatie een laboratorium voor Power Quality/vermogenselektronica, een gezamenlijk initiatief van EZ en

KEMA. Deze faciliteiten bedienen vrijwel alle (mondiale) fabrikanten van midden– en hoogspanningsmaterialen en apparatuur zoals transformatoren, (vermogens)schakelaars, isolatoren en andere componenten. Daarnaast heeft KEMA de beschikking over testfaciliteiten voor laagspanningscomponenten. Deze Power Quality, kortsluit- en hoogspanningslaboratoria hebben een behoefte aan het nauwkeurig kunnen kalibreren van de metingen van hoge wisselstromen en spanningen en complexe vermogens en energiemetingen. Daarnaast blijkt er behoefte te zijn aan specifieke metrologische kennis van een instituut als VSL voor het oplossen van complexe meetproblemen in energienetten, zoals die onder andere ontstaan door deregulering van de energiemarkt, door groei van duurzame energiebronnen (wind, zon) en de toenemende intelligentie van de netten (*smart grids*).

Naast de genoemde marktbehoeften ontstaat door de deregulering van de elektriciteitswereld een behoefte aan meer, maar ook nauwkeuriger vermogensmetingen. Afrekenpunten bevonden zich in het verleden slechts bij de eindgebruiker, maar door de splitsing van de elektriciteitsbedrijven in productie, transmissie- en distributiebedrijven zijn de comptabele metingen of afrekenpunten ook nodig geworden tussen deze bedrijven onderling. De betrouwbaarheid van deze vermogensmetingen wordt beïnvloed door het frequentiegedrag van meettransformatoren. Ook is er behoefte aan herleidbaarheid van nieuwe technologieën toegepast in meettransformatoren. Op beide aspecten is nog onderzoek nodig.

Met de aandacht voor duurzame energie en energiebesparingen is er ook meer aandacht voor verliesmetingen van onder andere transformatoren en transmissiesystemen.

Het meten van fasehoekverschillen tussen (onder)stations wordt in de VS en China steeds vaker toegepast om een instabiliteit in het netwerk te kunnen voorspellen. De verwachting is dat dit ook in Europa opgepakt gaat worden, mede door de grote toename van decentrale opwekkers. Het kalibreren van fasehoek-meetapparatuur (Phasor Measurement Units, PMU's) is op dit moment een knelpunt in de genoemde landen en wordt ook in Europa belangrijk.

Om in te kunnen spelen op de ontwikkelingen is een goed geoutilleerd en kwalitatief hoogstaand kalibratielaboratorium vereist om als nationaal referentie-instituut te kunnen fungeren en ondersteuning te kunnen leveren aan de testlaboratoria van KEMA, energiebedrijven, netwerkbeheerders en andere grote spelers op de energiemarkt.

6.3.3 Ontwikkelingen

De productie van elektrische en elektronische componenten en systemen neemt in Nederland zeker geen dominante positie meer in. In het vorige advies van 2009 is, gebaseerd op deze situatie, een toekomstvisie ontwikkeld. Met betrekking tot fabrikanten is weinig veranderd en kan de visie van 2009 worden gehandhaafd, waarin wordt gesteld dat ingrijpende fundamentele metrologische ontwikkelingen niet op afzienbare termijn zijn te verwachten.

De herleidbaarheid van elektrische meetinstrumenten naar de nationale meetstandaarden loopt praktisch uitsluitend via de RvA laboratoria. Sommigen laten een aantal kalibraties uitvoeren door VSL, slechts een beperkt aantal RvA

laboratoria vereist de hoogst beschikbare nauwkeurigheid. Deze infrastructuur van beschikbare RvA laboratoria voldoet voor elektrische kalibraties met als gevolg dat de omzetbijdrage voor VSL beperkt is.

Nog steeds geldt dat de frequentie van de signalen zal verschuiven naar hogere waarden, vooral bij digitale systemen. Dit veroorzaakt een verdere groei in de behoefte aan HF meetapparatuur en daarmee aan kalibratiefaciliteiten hiervoor.

Toename in draadloze signaaloverdracht veroorzaakt ook een toename van het belang van controle op storingen. EMC-eisen worden strenger en hierdoor ontstaat meer behoefte aan meetstandaarden met een lage onzekerheid op dit gebied.

Het is al genoemd, maar nogmaals de liberalisatie van de elektriciteitsproductie en -levering stelt eisen aan vermogensmetingen in de distributie- en transmissienetwerken.

Ondanks de redelijk stabiele kalibratiemarkt is verbetering van kalibratieapparatuur noodzakelijk (in termen van lagere onzekerheid, uitbreiding waardenbereik, zowel naar beneden als naar boven als wel in het frequentiebereik). Er wordt dan ook veel onderzoek gedaan door de NMI's en door universiteiten. In het EMRP-programma wordt al rekening gehouden met de behoefte aan meer onderzoek op het gebied van elektrische metrologie met name op energiegebied, getuige de onderwerpen in de Call 2013 en de projecten waarop VSL heeft ingeschreven.

Het energiebeleid in EU landen wordt sterk gedreven door de doelstelling om de broeikasgassen met 20% te verminderen in het jaar 2020. Volgens het nieuwe programma "Schoon en Zuinig" is dat zelfs 30% in 2020. Om dit te realiseren is een 10-punten actieplan geformuleerd waarin onder andere acties worden geïnitieerd m.b.t. de volgende onderwerpen:

- Verbeteren van de EU systematiek voor emissiehandel en gericht op een werkelijke reductie van broeikasgassen.
- Het verbeteren van de efficiëntie in de meest brede zin.
- Het stimuleren van duurzame energietoepassingen.
- Het stimuleren van technologische ontwikkelingen.

De inschatting is, dat tot het jaar 2030 meer dan 1000 miljard Euro zal worden geïnvesteerd in de opwekking, het transport en de distributie van elektrische energie om de beoogde doelstellingen te kunnen realiseren.

De concurrerende markt in combinatie met een doelstelling van 20% duurzame energie in 2020 maken een intelligent elektriciteitsnetwerk ("Smart Grid") in de EU noodzakelijk. Karakteristieken van dit toekomstige "Smart Grid" is dat de klanten een onderdeel van het netwerk zijn en dat zij zowel als consument als producent kunnen optreden. Dit vereist actuele prijsinformatie en als gevolg hiervan intelligente meters als onderdeel van dit netwerk. Voorts zal dit netwerk duizenden zo niet miljoenen geïntegreerde kleinschalige opwekkers hebben, die op een goede wijze moeten samenwerken met de grootschalige opwekkers.

Vraag en aanbod zullen op een zorgvuldige wijze gebalanceerd dienen te worden met een waarborging van de kwaliteit van de elektriciteitsvoorziening (Power Quality). Uiteraard zal het netwerk efficiënt en betrouwbaar bestuurd moeten

worden. Kortom deze korte toekomstschets biedt vele mogelijkheden voor de metrologie zoals benoemd in onderstaande nieuwe gebieden.

Op het gebied van Power Quality ontstaat in toenemende mate behoefte aan verdere definiëring en kalibratiemogelijkheden van de diverse Power Quality aspecten. In verband met propagatie van power quality fenomenen door het elektriciteitsnet zijn gelijktijdige, maar gedistribueerde metingen nodig.

Door de toename van onzekerheden, betreffende vermogensstromen, in de transport- en distributienetten zijn meer sensoren nodig in deze netten. Hiervoor kunnen op laagspanning ook de “smart meters” worden gebruikt als deze voldoende betrouwbare en herleidbare meetwaaarden geven. De verwachting is dat hiervoor ook andere dan de traditionele omzetters nodig zijn.

Aandachtspunt: Kalibratie van vermogensmetingen in het elektriciteitsdistributie en – transmissienetwerk. Hierbij moet ook onderzoek worden gedaan naar het frequentiebereik van de vermogensmetingen. Ook fasehoekmetingen zijn van essentieel belang i.v.m. controle op netstabiliteit.

Aandachtspunt: De definiëring en meting van de diverse aspecten van de kwaliteit van spanning en stroom (Power Quality aspecten), propagatie van PQ-aspecten door het net en mede hiervoor tijdsynchronisatie van een veelvoud van netmetingen.

Aandachtspunt: Meten van efficiency en elektrische kenmerken van stroom en spanning van nieuwe (en bestaande) technologieën.

VSL werkt al intensief samen met Nederlandse universiteiten, o.a. met de Power and Energy groepen van de TU/e en de TUD. In de naaste toekomst is fundamenteel onderzoek nodig om in de metrologische behoefte op nieuwe gebieden te kunnen voorzien. Naast uitvoering van de gehonoreerde EMRP-projecten (samen met andere NMI’s) is ook samenwerking met universitaire onderzoeksgroepen onontbeerlijk.

6.4 Tijd en frequentie

6.4.1 Huidige Situatie

Tijd en frequentie neemt een wezenlijke positie in binnen VSL omdat de overheid verantwoordelijk is voor de wettelijke tijd. De tijdstandaard is van belang voor de plaatsbepaling via satellieten, tijdfrequenties ten behoeve van communicatie, plaatsbepaling en operationele taken. De standaarden voor het meten van tijd en frequenties zijn van ook van wezenlijk belang voor andere standaarden, zoals die voor elektriciteit en lengte en daarmee voor de internationale positie van het gehele VSL.

De internationale positie op het gebied van tijd en frequentie kan als goed worden gekarakteriseerd, zonder in de breedte de technologische top te bereiken, zoals ook in vorige strategische visies werd verwoord. Die noodzaak bestaat ook niet, gezien de bestaande alternatieven in Europa. Echter in het veld wordt zeer veel belang gehecht aan de blijvende beschikbaarheid van de bestaande faciliteiten op hoog niveau, (o.a. tijdsbulletin, inkoop frequentie bij VSL en incidenteel klok-certificering, speciale kalibraties bv voor GPS en samenwerking in het kader van Europese programma’s).

6.4.2 Ontwikkelingen

De beheersinspanningen voor de meetstandaard voor de eenheid van tijd (Cs-133) zullen ook in de komende strategische periode vrijwel constant blijven. Er wordt niet aan de ontwikkeling van de optische klok gewerkt, maar afhankelijk van de ontwikkelingen bij andere laboratoria kan, indien het gebruik van de optische klok wellicht toch algemeen ingang vindt, alsnog enige kennis moeten worden ontwikkeld.

De ontwikkeling van grote storingsproblemen met het GPS signaal en naar verwachting ook met het in ontwikkeling zijnde Galileo-systeem maakt de werkzaamheden aan de mogelijke eenweg- en tweewegdistributie van tijd- en frequentiesignalen via glasfiber urgent. VSL werkt hierbij nauw samen met andere partijen (EMRP project) en in het bijzonder met de Vrije Universiteit Amsterdam (stabiel frequentievergelijk).

De vereiste continuïteit in competentie is sinds 2012 door een helder “worse case” scenarioplan met duidelijke lijnen ter vervanging van kennisdragers bij ziekte e.d. , geborgd. Het noodzakelijke onderhoud aan en verbeteringen van bestaande faciliteiten kan zo met vertrouwen worden voortgezet. Er is ook een goed investeringsplan om alle hardware op niveau te houden.

Terwijl de klanten over het algemeen zeer tevreden zijn over de kwaliteit van de diensten zal er wel gewerkt moeten worden aan een betere toegankelijkheid voor “de klanten”. Daarbij kan de directe toegang tot de technici voor certificering beter worden geregeld terwijl ook een bewustere profilering van VSL/Tijd naar buiten noodzakelijk is.

6.5 Ioniserende straling

6.5.1 Huidige situatie

De voornaamste toepassingen van ioniserende straling liggen op het gebied van de gezondheidszorg, zowel in de diagnostiek, als in de therapie. In Nederland worden door verschillende bedrijven apparatuur en producten geproduceerd voor het gebruik in gezondheidsinstellingen. Hoge eisen worden gesteld aan de kennis omtrent de dosis ioniserende straling, waaraan patiënt en professional worden blootgesteld. De stralingsdosis in de patiënt bij het gebruik van diagnostische röntgenapparatuur dient zo laag mogelijk te zijn voor het bereiken van een optimale beeldkwaliteit. Ook bij het gebruik van radionucliden in de nucleaire geneeskunde dient voor diagnostische doeleinden de hoeveelheid toegediend radioactief materiaal een zo laag mogelijke activiteit te bezitten om de gewenste aandoening op te sporen. Op het gebied van de kankerbehandeling met ioniserende straling, de radiotherapie, is het van belang dat een hoge nauwkeurigheid in de dosimetrie nagestreefd wordt om de kans op genezing en het voorkomen van ernstige bijwerkingen zo groot mogelijk te maken. Andere activiteiten gerelateerd aan het omgaan met ioniserende straling betreffen de opslag van radioactief afval, de controle van personen en goederen d.m.v. laag-energetische röntgenstraling, en van containers met hoog-energetische röntgenstraling. De stralingsbeschermingseisen die aan deze niet-medische toepassingen van ioniserende straling worden gesteld zijn vergelijkbaar met de stralingsbeschermingsnormen in de gezondheidszorg en maken gebruik van dezelfde meetmethoden en specifieke standaarden.

De drie verschillende vormen van gebruik van ioniserende straling in de gezondheidszorg vereisen elk een aparte metrologische aanpak met eigen standaarden. Voor de meting van de doorgaans lage dosis ioniserende straling afgegeven door diagnostische röntgenapparatuur worden relatief grote ionisatiekamers gebruikt die bij VSL gekalibreerd kunnen worden tegen de primaire standaarden voor deze straling. De radiofarmaca, gebruikt in de nucleaire geneeskunde, hebben meestal een ijkcertificaat verstrekt door de firma die het radioactieve product heeft geleverd. De activiteit wordt voor toediening aan de patiënt in de ziekenhuizen gecontroleerd met put-ionisatiekamers die een ijkfactor hebben die herleidbaar is naar VSL (soms PTB). De activiteit van radioactieve bronnen gebruikt in de radiotherapie met inwendige bronnen (brachytherapie) wordt op dezelfde manier gecontroleerd. De dosis ioniserende straling van uitwendige bestralingen voor de behandeling van kankerpatiënten wordt gemeten met kleine ionisatiekamers. Deze worden voor alle radiotherapiecentra in Nederland, en voor enkele instituten in België, gekalibreerd bij VSL middels de grootheid geabsorbeerde dosis in water die gerealiseerd wordt met een watercalorimeter.

De standaarden die bij VSL aanwezig zijn voor de conventionele toepassingen in de radiodiagnostiek geven geen aanleiding tot verbeteringen. Ook bij de meer geavanceerde vormen van radiodiagnostiek zoals interventieradiologie zijn de stralingsniveau's doorgaans laag en is de behoefte aan nieuwe standaarden en protocollen bij de beroepsgroep gering. Voor het gebruik in de nucleaire geneeskunde kan VSL op dit moment herleidbaarheid bieden op secundair niveau wat betreft gestandaardiseerde ijkbronnen. Omdat de marktvraag gering is, wordt er op dit moment niet gewerkt aan nieuwe standaard ijkbronnen. Er zijn echter in de nucleaire geneeskunde ontwikkelingen gaande, zoals de forse toename van het gebruik van PET-CT in de radiotherapie, die kunnen leiden tot een grotere behoefte aan kalibraties en mogelijkerwijs ook tot nieuwe methoden van kalibratie. In de radiotherapie met stralingsbundels met hoogenergetische röntgen- en elektronenstraling is de herleidbaarheid gegarandeerd wat betreft de kalibratie van meetinstrumenten, gebruikt onder referentie omstandigheden. Hiervoor wordt de geabsorbeerde dosis-in-water kalibratiefaciliteit van VSL gebruikt. De voor dit doel beschikbare watercalorimeter is verder ontwikkeld en is nu ook beschikbaar als primaire standaard voor het meten van geabsorbeerde dosis in bundels middenenergetische röntgenstraling. Gezien de grote behoefte aan nauwkeurige kennis van de 3D dosisverdeling bij geavanceerde bestralingstechnieken, is VSL zeer actief betrokken bij het ontwikkelen van standaarden en meetmethodes voor complexe 3D dosimetrie. Op dit moment wordt er bij VSL verder gewerkt aan de realisatie van een kalibratiefaciliteit voor put-ionisatiekamers t.b.v. radioactieve bronnen gebruikt bij inwendige bestralingen (brachytherapie), die waarschijnlijk in 2014 beschikbaar komt.

6.5.2 Ontwikkelingen

a. Radiologie

Het doel van een radiologisch onderzoek is het verkrijgen van optimale diagnostische informatie bij een zo laag mogelijke dosis ioniserende straling. Met andere woorden, het ALARA principe (As Low As Reasonable Achievable) is vooral

in de radiologie van groot belang. Dit onderwerp is de laatste jaren bijzonder actueel gezien de wereldwijde toenemende bewustwording van de gevaren van het gebruik van ioniserende straling voor diagnostische doeleinden. Speciaal vanwege het snel stijgend gebruik van CT (Computer Tomografie) opnamen bij kinderen, is in de VS de campagne "Image gently" gestart om zorgvuldig om te gaan met gebruik van CT, vooral bij pediatrische toepassingen. In Nederland bestaat een Besluit stralingsbescherming dat maatregelen bevat om werknemers en burgers te beschermen tegen de gevaren van ioniserende straling. Hoe dit moet gebeuren wordt overgelaten aan de beroepsverenigingen. In de meeste ziekenhuizen zijn nu klinisch fysici aanwezig om apparatuur en procedures op radiologie afdelingen te controleren. Wat dat betreft is de situatie de laatste 5 jaar aanmerkelijk verbeterd; in het algemeen wordt het ALARA principe nu netjes nageleefd. Het Platform voor "Stralingsbescherming in het ziekenhuis" van de Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie (NCS) zal, in samenwerking met het Ministerie van VWS, het RIVM en de betrokken beroepsverenigingen, de implementatie van diagnostische referentieniveaus in Nederland actief blijven volgen en begeleiden. Een complicatie is de recent gepubliceerde (aanzienlijke) verlaging van het referentieniveau voor cataract vorming. Voor het meten van de dosis ter plaatse van de ooglens bestaat echter geen handige apparatuur en zal iets nieuws moeten worden ontwikkeld en een kalibratieprocedure worden ontworpen.

De rol van VSL blijft wat betreft toepassingen in de radiologie waarschijnlijk ook de komende periode beperkt tot vragen van individuele ziekenhuizen die apparatuur ter kalibratie aanbieden.

b. Nucleaire geneeskunde

Een van de meest opvallende ontwikkelingen in de nucleaire geneeskunde is de enorme toename in het gebruik van Positron Emission Tomography (PET), vooral uitgevoerd met PET-CT scanners, terwijl ook het gebruik van de PET-MR (Magnetic Resonance) scanner in opkomst is. Dit betreft o.a. diagnostische onderzoeken in de cardiologie en de oncologie gebruikmakend van ^{18}F-FDG (Fluoro-deoxyglucose). Ook in de radiotherapie is een sterke groei in het gebruik van PET-CT gaande omdat met deze techniek de meest actieve delen in een tumor opgespoord kunnen worden waaraan dan een extra dosis straling kan worden toegediend. Er is daarom een groeiende behoefte aan het maken van gestandaardiseerde ijkbronnen voor PET scanners en voor dosis-kalibratoren (2 bronnen die t.o.v. elkaar geijkt zijn en qua geometrie in een dosis-kalibrator en PET-scanner passen). Dit mede in verband met het standaardiseren van PET studies en bijbehorende kwaliteitsborging in "multi-center trials". Het EARL programma van de EANM (European Association of Nuclear Medicine) waarborgt de standaardisatie van PET-CT camera-acquisitie en interpretatie van ^{18}F-FDG scans volgens de EORTC (European Organisation for Research and Treatment of Cancer) normen. VSL kan hierbij faciliteren, waartoe samen met experts in ziekenhuizen, o.a. VUmc, een concreet actieplan voor andere PET-tracers ontwikkeld moet worden.

Een groeiend aantal firma's in Nederland produceert radioactieve bronnen voor gebruik in de nucleaire geneeskunde. Deze radionucliden, die aan ziekenhuizen geleverd worden, krijgen nu een ijkcertificaat dat meestal gebaseerd is op een meting in een door de PTB gekalibreerde put-ionisatie kamer. Het lijkt weinig zinvol om op korte termijn deze procedure richting VSL om te buigen. Wellicht kan deze

procedure heroverwogen worden in het kader van mogelijke toekomstige ontwikkelingen op het gebied van gestandaardiseerde ijkbronnen voor PET(-CT) scanners en voor dosis-kalibratoren.

Op dit moment worden radionucliden voornamelijk gebruikt voor de diagnostiek en in mindere mate voor de behandeling van kanker en schildklierfunctieafwijkingen. Het aantal toepassingen van deze moleculaire radiotherapie neemt echter toe maar er bestaat geen herleidbaarheid naar primaire standaarden zoals bij radiotherapie met uitwendige bundels. Dosimetrie-geleide moleculaire radiotherapie is (nog) geen geaccepteerde klinische praktijk, mede door de grote onzekerheden in zowel de stralingsdosimetrie als in de dosis-effect relaties. In het EMRP project ”Molecular Radiotherapy” zal VSL verschillende meettechnieken met elkaar vergelijken, waaronder het gebruik van filmdosimetrie als secundaire standaard en een extrapolatiekamer als primaire standaard voor het meten van de geabsorbeerde dosis in een referentiegeometrie, die een vloeistof met een beta-emitter bevat. Ook zullen verschillende methoden van activiteitsmetingen en “quantitative imaging” onderzocht worden op hun bruikbaarheid voor patiënt dosimetrie bij moleculaire radiotherapie. Het project kent een groot aantal stakeholders (“collaborators” en “unfunded partners”) uit Europese ziekenhuizen en onderzoeksinstellingen op het gebied van medische fysica. Deze partners leveren een actieve bijdrage aan het project en sturen het onderzoek in de richting die klinisch het meest relevant is. Binnen Nederland zijn er contacten bij het Erasmus MC en VUmc om o.a. de inbreng van de gebruikers goed in de gaten te houden. Het doel van dit project is om te komen tot aanbevelingen voor de meest geschikte meetmethodes en herleidbaarheid naar standaarden.

c. Radiotherapie

3D-dosimetrie in complexe velden

VSL neemt deel aan het EMRP project “Metrology for radiotherapy using complex radiation fields” dat voortkomt uit het iMERA+ ontwikkelingsproject “3D-dosimetry: benchmarking van treatment planning systemen”. In dit project worden o.a. door VSL verschillende dosimetriesystemen met elkaar vergeleken voor dosisbepalingen bij complexe bestralingstechnieken in inhomogene antropomorfe fantomen. De eerste resultaten van een pilot-vergelijking, uitgevoerd in de PTB, lieten zien dat er substantiële verschillen bestonden tussen de dosiswaarden verkregen met de verschillende meetsystemen. Op dit moment wordt nader onderzoek verricht naar een aantal karakteristieken van deze dosimetriesystemen. Zo wordt onder meer de richtingsafhakelijkheid van filmdosimeters in verschillende fantoommaterialen bestudeerd, en worden m.b.v een Monte Carlo model correctiefactoren bepaald voor het gebruik van mini-ionisatiekamers in dergelijke inhomogene fantomen. Het uiteindelijke doel van dit EMRP-project is de onzekerheid in de totale dosimetrieketen bij complexe bestralingen te reduceren door het verbeteren van geabsorbeerde dosis standaarden, het karakteriseren van nieuwe en bestaande dosimetrie systemen, en het ontwikkelen van aanbevelingen voor het gebruik van deze meetsystemen onder klinische omstandigheden

Brachytherapie

De controles van de radioactieve bronnen die gebruikt worden bij inwendige bestralingen (brachytherapie) in de ziekenhuizen vindt meestal plaats door middel van put-ionisatiekamers die door de fabrikant zijn gekalibreerd. VSL ontwikkelt op dit moment standaarden voor de kalibratie van deze putkamers voor verschillende radionucliden o.a. voor iridium-192 *high dose-rate* (HDR) bronnen, en *low dose-rate* (LDR) jodium-125 zaadjes. Deze radionucliden worden op dit moment klinisch het meest gebruikt. De realisatie van de standaard voor Ir-192 HDR bronnen, zowel in de grootheid dosis-in-water als in kerma-in-lucht, is opgezet maar nog niet functioneel. Er moet o.a. nog onderzoek worden verricht naar de brontype-afhankelijkheid van de respons van put-ionisatiekamers, en de absolute dosis in water moet nog vastgesteld worden. De verwachting is dat in 2014 de standaard beschikbaar komt voor gebruikers. Voor wat betreft I-125 bronnen ontwikkelt VSL een kalibratiedienst die gebaseerd is op een secundaire standaard. Volgens een recent gepubliceerd NCS rapport hebben 10 van de 24 ziekenhuizen in Nederland en België die LDR behandelingen met I-125 uitvoeren een geijkt instrument, meestal een put-ionisatiekamer, om de activiteit van deze zaadjes te controleren, zodat hier een (beperkte) markt voor bestaat.

Hadrontherapie

Naast de traditionele vormen van bestraling is er de laatste jaren een sterk toegenomen belangstelling ontstaan voor het gebruik van hadronen, voornamelijk protonen, voor de bestraling van kankerpatiënten. De hiervoor gebruikte apparatuur is uiterst complex en kostbaar (in de orde van 100 miljoen Euro) en vereist nieuwe meetmethoden die nog volop in ontwikkeling zijn. Wereldwijd zijn er op dit moment enkele tientallen van dergelijke bestralingsfaciliteiten beschikbaar en zijn er ongeveer evenveel in aanbouw. In Nederland wordt tot nu toe op bescheiden schaal met deze vorm van kankerbehandeling geëxperimenteerd, o.a. bij het Kernfysisch Versneller Instituut in Groningen. Waarschijnlijk wordt begin 2014 besloten om één of meerdere van dergelijke protonentherapiefaciliteiten in Nederland te installeren.

VSL is op twee manieren betrokken bij het onderzoek naar kalibraties van dosimeters gebruikt in de hadrontherapie. Allereerst is VSL partner bij een STW-onderzoeksprogramma dat als doel heeft een primaire standaard voor protonendosimetrie te realiseren. Projectleider van dit programma is het Kernfysisch Versneller Instituut (KVI) in Groningen. In een work package van het EMRP project “Metrology for radiotherapy using complex radiation fields” wordt de dosis in een “scanning proton beam” gemeten met de VSL watercalorimeter en met ionisatiekamers. Dit work package sluit goed aan op het STW project. De watercalorimeter ontwikkeld door VSL is transportabel en zal na aanbrengen van de nodige aanpassingen gebruikt worden voor kalibraties ter plekke in protonenbundels, zowel in Nederland als elders in Europa.

Dosimetrie bij MRI-versnellers

VSL is partner in het EMRP project “Metrology for next-generation safety standards and equipment in Magnetic Resonance Imaging”. De bijdrage van VSL betreft de dosimetrie in bestralingsbundels geproduceerd met een nieuw type bestralingsapparatuur, waarbij Magnetic Resonance Imaging (MRI) gebruikt wordt

om de positie van de patiënt voor en tijdens de bestraling te controleren. In het UMCU in Utrecht is reeds een prototype van een dergelijke MRI-versneller aanwezig, ontwikkeld door Philips (MRI-deel) en Elekta (versneller-deel). In Utrecht, Amsterdam en in verschillende andere radiotherapiecentra worden de komende jaren MRI-versnellers geïnstalleerd. Het gebruik van ionisatiekamers voor dosismetingen in bundels van conventionele bestralingsapparatuur, introduceert een extra onzekerheid in de dosimetrie bij MRI-versnellers vanwege de invloed van het magnetisch veld op de elektronen distributie. Herleidbaarheid naar een geabsorbeerde dosisstandaard is daarom noodzakelijk, waarvoor een nieuwe watercalorimeter ontwikkeld wordt bij VSL. Er zijn een flink aantal praktische problemen te overwinnen, omdat het gebruik van een calorimeter in een sterk magnetisch veld een onbekend terrein is. Dit betekent dat o.a. een aantal ferro-magnetische materialen vervangen moet worden. Het uiteindelijke doel is om een primaire standaard beschikbaar te hebben voor de dosimetrie in een MRI-versneller en tegelijkertijd geschikt is als primaire standaard voor het gebruik in andere fotonenbundels.

6.6 Massa en gerelateerde standaarden

6.6.1 Huidige situatie internationaal

Massagerelateerde grootheden zijn kracht, moment, druk, dichtheid, viscositeit en massastroom. Ook versnelling en zwaartekrachtversnelling zijn gerelateerd via de wet van Newton: $F = m.a$. Denk hierbij niet alleen aan wegen (een massastuk van 1 kg weegt ongeveer 9,8 N) maar ook aan trillings- en schokmetingen.

De nieuwe definitie van “het kilogram” laat nog op zich wachten. Nog steeds strijden het Avogadro-project en de Wattbalans om deze eer en volgens de laatste stand halen beide internationale experimenten momenteel een relatieve meetonzekerheid beter dan 5.10^{-8} waar 2.10^{-8} vereist is. Nederland is niet actief bij dit onderzoek betrokken en een definitieve keuze zou nog wel tot 2020 kunnen duren. Tot dan geldt de huidige massastandaard: de standaard Pt-Ir kilogram in het BIPM te Parijs. Deze massastandaard is niet volledig stabiel vanwege interactie met de omgeving; de waargenomen drift bedraagt 50 µg over 100 jaar.

De nationale meetinstituten zoals VSL hebben elk hun eigen, in Parijs gekalibreerde, kopie. Voor VSL is dat de platina-iridium standaard PtIr nr 53 (zie ook Fig. 1).

Algemeen

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. Er is een groot aantal laboratoria in Nederland die kalibratie van massastukken en weegwerktuigen kan uitvoeren. Deze door de RvA geaccrediteerde laboratoria herleiden hun standaarden uiteraard naar (inter)nationale standaarden. De rol van VSL in deze is dus niet exclusief en de positie wordt vooral bepaald door de doelmatigheid.

De huidige kalibratie-infrastructuur is voldoende voor de behoefte aan massa en drukmetingen. Er is een lichte behoefte aan verbetering van de meetonzekerheid in druk en viscositeit.

De grootste behoefte aan drukmetingen is in de luchtvaart en procesindustrie en die sectoren hebben daarom ook vaak hun eigen kalibratielaboratoria ingericht. Viscositeit is vooral van belang voor de farma-, proces- en voedselindustrie. Het gebruik van referentie-oliën is daar van belang.

Huidige situatie VSL

Voor massabepaling is voor de komende 15 jaar geïnvesteerd door (na 18 jaar gebruik) de HK1000 massa-comparator voor 1 kg te vervangen door de AX1006; deze voldoet prima. De automatisering heeft continu aandacht en bedraagt 80%: een goede faciliteit voor de Nederlandse markt voor massabepaling tot op E1 niveau. De goede samenwerking/synergie met chemie is belangrijk en blijkt uit de ontwikkelde weegrobot voor referentiegasmengsels. Nederland presteert hier internationaal op hoog niveau.

Voor druk is een nieuwe 2-bar/kg piston aangeschaft en het bereik bedraagt 35 mbar tot 70 bar. Van de drukkalibraties voor gas is 70% volledig geautomatiseerd en dus voordelig bij grote opdrachten.

Viscositeit heeft nieuwe opslagruimte en is bijna volledig geautomatiseerd; alleen het vullen van de U-buizen gebeurt nog handmatig door een specialist. De kalibraties zijn nu sneller en met een meer dan 10x kleinere standaarddeviatie. VSL behoort internationaal tot de sub-top. Het hoge niveau voor viscositeitsmeting wordt mede bepaald door een specialist bij VSL die de U-vormige viscosimeters correct kan vullen. De Raad ziet dit als een aandachtspunt: hoe kritisch is deze situatie en in hoeverre is er een alternatief mogelijk.

Meting van Dichtheid is beperkt tot airostatische volumebepaling. VSL onderzoekt momenteel de mogelijke vervanging van de huidige dichtheidsmeter.

Kracht en Moment zijn Massa-gerelateerd en worden niet meer beheerd door VSL. De Nederlandse referentie voor Moment staat bij Caliz B.V. te Berlicum en voor Kracht bij NMi Certin B.V. te Dordrecht. Zie o.a. de brief van VSL tav EZ: Br10015/AD van 8 april 2010, onderwerp: Overdracht faciliteiten Kracht en Brandstofstandaarden aan NMi Nederland. Deze overdracht was incl. beheer en bedrijven kunnen voor deze kalibraties niet meer terecht bij VSL. Daarom adviseert de Raad zorg te dragen voor duidelijkheid qua verantwoordelijkheden omtrent de nationale kalibratiefaciliteiten voor Kracht en Moment. VSL is tenminste aanspreekpunt voor deze massagerelateerde grootheden en kan doorverwijzen naar PTB, NPL of anderen.

Massastroom en volumestroom zijn nauw verbonden. Stromingsmeters voor gas en vloeistof (denk aan LNG) zijn voor Nederland erg belangrijk en vallen onder Volumetrie.

6.6.2 Ontwikkelingen Internationaal

Voor Massa is internationaal de belangrijkste ontwikkeling de nieuwe definitie van het kilogram. VSL houdt deze ontwikkeling 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 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 micro-wattbalans.

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. Er is behoefte aan nieuwe materialen die niet uitgassen; maar ook aan referentiematerialen voor uitgassen.

Dichtheid en Viscositeit is niet alleen relevant voor bio- en farma-industrie maar zeker ook voor energie (gas en olie) gekoppeld aan stroming/flow. Procesbeheersing wordt belangrijker o.a. door temperatuurbeheersing. De nanotechnologie vraagt om dichtheid- en viscositeitmeting aan extreem kleine monsters.

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-CCM (coördinaten meetmachines), MEMS, AFM's en micromanipulatie gaan richting 10^{-9} N tot 10^{-12} N. In de farma- en bioindustrie 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.

6.6.3 Ontwikkelingen binnen VSL

Het vakgebied van de metingen van massa en afgeleide grootheden is volwassen geworden en vereist relatief weinig ontwikkeling. De afgelopen periode is door VSL vooral geïnvesteerd in de nieuwe massa-comparator voor 1 kg en verdergaande automatisering bij massa (incl. de weegrobot voor gasmengsels bij chemie), druk en viscositeit. Dit lijkt voldoende voor de marktbehoefte; het is nu vooral belangrijk om die markt commercieel te benaderen.

VSL heeft de invloed van trillingen door de komst van de trambaan in Delft onderzocht en dit lijkt vooralsnog mee te vallen.

Ook voor massa en gerelateerde grootheden vormen dynamische metingen een nieuw onderzoekgebied: dynamische weegbruggen voor vrachtauto's, dynamische drukmeting voor de auto-industrie en de halfgeleider industrie. Ook de Metrologiewet vraagt om dynamische metingen zoals weegbruggen voor vrachtauto's op de snelweg en trajectcontroles. De ontwikkeling voor dynamische weegbrugmetingen lijkt achter te lopen op de vraag en de Raad vraagt zich af of dit een taak/markt is voor VSL.

VSL voldoet aan de wensen voor massa, druk, dichtheid en viscositeit. Voor viscositeit behoort VSL zelfs tot de internationale sub-top. Voorlopig is er weinig behoefte aan nieuw fundamenteel onderzoek. De ontwikkelingen dienen wel gevolgd te worden en als het daarvoor nodig is om deelonderzoeken te doen, dan dient dat wel te gebeuren om niet de verbinding kwijt te raken en achterop te raken.

De trend binnen VSL om MDV (Massa, Druk en Viscositeit) zo veel mogelijk selfsupporting te maken en ontwikkeling te beperken mag niet teveel doorschieten, want om kennis en vakmanschap te garanderen behoort ontwikkeling op niveau te blijven. De continuïteit is deels gewaarborgd door goede samenwerking met Chemie: o.a. door de ontwikkeling van een weegrobot voor samples. Probeer ook Volumetrie nauwer in deze samenwerking te betrekken of in ieder geval samenwerking tussen Massa en Volumetrie. Samenwerking binnen VSL wordt meer en meer cruciaal.

MDV is binnen VSL de enige groep zonder EMRP- of KP7-projecten. Geadviseerd wordt de mogelijke uitbreiding voor R&D samenwerking tussen Massa, Flow en Chemie te onderzoeken. MDV is een relatief kleine groep en het huidige niveau, niet alleen van beheer maar ook van ondersteuning binnen VSL, dreigt weg te zakken als er geen budget meer is voor R&D.

De huidige sterke positie op viscositeit moet breder benut worden binnen Europa. De Nederlandse kalibratiemarkt is te beperkt en VSL moet gaan scoren op concurrentiekracht. Dit geldt in zekere mate ook voor de andere kalibraties. Nu de grenzen open zijn, kan men gaan naar wie men wil en die keus wordt bepaald door kwaliteit en door snelheid. VSL is recent door Shell benaderd om samen een EMRP-voorstel voor viscositeitmeting van “niet newtoniaanse” vloeistoffen in te dienen.

De automatisering van de metingen is op een goed niveau en moet worden gecontinueerd.

Om het hoge niveau bij viscositeit te handhaven zal de beoogde financiering vanuit de (internationale) markt veiliggesteld worden middels de CAM taskforces binnen VSL (er is geen specifieke CAM taskforce voor massa). Vooralsnog lijkt Promochem de enige klant/afnemer te zijn.

6.7 Lengte en gerelateerde standaarden

6.7.1 Huidige situatie

Geometrische meettechniek en toepassingsgebieden
De geometrische standaarden zijn bepalend voor het meten van de grootheid Lengte, en in combinatie met de standaard Tijd voor de meting van snelheid en versnelling. Tot deze groep behoren ook de gerelateerde standaarden voor eindmaten, rasters (lijn standaarden), hoek, diameter, rondheid, vlakheid, rechtheid, oppervlaktevorm en oppervlaktekwaliteit (ruwheid). Moment (kracht × arm) is een lengte- en massagerelateerde grootheid.

Alle geometrische metingen zijn herleidbaar naar “de meter” die sedert 1983 is gedefinieerd, op basis van de lichtsnelheid in vacuum, als het 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 Raad onderscheidt meerdere belangrijke toepassingsgebieden met ieder hun eigen specifieke eigenschappen:

a) Hoognauwkeurige productiemachines in de halfgeleiderindustrie waarbij de nauwkeurigheid vooral relatief is ten opzichte van een interne referentie (de silicium wafer; het basismateriaal voor chips) en de toegestane relatieve onzekerheid kleiner dan 10^{-9} oftewel sub-nanometer onzekerheid voor de toekomstige generatie lithografische machines voor wafers van 45 cm doorsnede. Voor deze categorie positioneren met extreme nauwkeurigheid en extreme versnellingen (tot 400 m/s^2) speelt feed-forward control een grote rol; er is behoefte aan nauwkeurig voorspelbare versnellingsprofielen (en dus nauwkeurige actuatoren/krachten) met een relatieve onzekerheid kleiner dan van 10^{-5}; de resterende positiefout wordt inline gemeten en alsnog weggeregeld.

b) 3D CMM's (Coordinate Measuring Machines) voor complexe vormen waarbij de toegestane absolute (herleidbare) meetonzekerheden slechts enkele nanometers bedragen; de kwaliteit van de taster is in belangrijke mate bepalend geworden voor deze te behalen onzekerheid.
Naast de ontwikkelingen van complexe 3D MEMS-producten ontstaan ook complexe vormen door de nieuwe generaties 3D-printers. Met name het meten van de binnenafmetingen en oppervlaktegesteldheid van holle ruimtes vormt een uitdaging.

c) 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 onzekerheden liggen hier aanmerkelijk hoger: ordegrootte 0.1% tot soms zelfs 10% hoger. Belangrijk zijn de snelle ontwikkeling in de nano-biotechnologie. De Euramet Technische Commissie voor Lengte stelt in hun roadmap "micro&nano" als doel het ontwikkelen van een metrologische infrastructuur voor biologische systemen omdat er momenteel geen basismetrologie bestaat voor de groeiende markt van de nanobiotech (met name de biomarkers en de biologische coatings) en om het fundamentele begrip van complexe structuren en fenomenen in biologische systemen beter te begrijpen.

d) Het meten van grote afstanden variërend van vele honderden meters met een nauwkeurigheid tot op micrometer niveau (ordegrootte 10^{-9}) voor geodetische metingen en in de ruimtevaart en astronomie waar een extreem hoge stabiliteit op nanometer niveau vereist is.

In zowel het handelsverkeer als in het dagelijks leven zijn eenduidige meetwaardes van lengte, oppervlak, snelheid en dergelijke bepalend voor het nakomen van afspraken, 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. Van belang is ook dat diverse instanties zich terdege realiseren dat bij elke meting een onzekerheidsmarge hoort en dat daar adequaat mee moet worden omgegaan. Een goed voorbeeld is de officiële marge die bij snelheidscontroles in het verkeer wordt toegepast. Dit is minstens zo belangrijk bij zaken waar veiligheid een rol speelt. Meestal zijn de marges daarbij aanmerkelijk groter dan men zich realiseert. Voorbeeld is de reikwijdte van bouwkranen en transportsystemen in havens.

Het onderzoek aan de benodigde technologie voor het vakgebied van de geometrische meettechniek is sterk geconcentreerd in bedrijven (ASML, Mitutoyo, Agilent, Heidenhain etc.), bij TNO, VSL en in veel mindere mate aan de Nederlandse Universiteiten. Na het afstoten van deze activiteit in Eindhoven is in Delft een vooralsnog door fondsen beperkt onderzoek gestart om het gebied levend te houden. Deze onderwaardering leidt op termijn tot de noodzaak kennis uit het buitenland te betrekken.

Interessant is te constateren dat het wetenschappelijk onderzoek in dit veld zich richt op zowel zeer grote afstanden als de extreem kleine afstanden op atomaire schaal. Bij de eerste is het motief bijvoorbeeld om instrumenten te ontwikkelen die met meerdere satellieten steeds dieper in de ruimte kunnen waarnemen waarbij de onderlinge plaatsbepaling van deze satellieten dominant is in de onzekerheid van het onderzoeksresultaat. Economisch belangrijker nog is het bepalen van ondergrondbewegingen op aarde voor het nauwkeurig bepalen van energiereservoirs en afvalopslag. Afwijkingen op micrometer niveau kunnen hierbij vanwege de enorme oppervlaktes en volumina tot grote gevolgen leiden.

In de micro- en nanotechnologie wordt in toenemende mate van fundamenteel verschillende meetprincipes gebruik gemaakt zoals (scanning-) elektronenmicroscopen, “scanning tunneling” microscopie en “atomic force” microscopie. Op deze schaal is elke weergave letterlijk een beeld dat niet eenduidig te vergelijken is met een beeld van dezelfde structuur met een ander instrument gemeten. In toenemende mate worden op basis van deze apparatuur conclusies getrokken, die verder gaan dan de pure wetenschap ten behoeve van vergroting van kennis. Zo wordt bijvoorbeeld nagedacht over de mogelijkheid om middels “micro assembly” op atomair niveau daadwerkelijk produkten te gaan maken.

Ook zijn zo de productiemachines uit de halfgeleiderindustrie voor het bepalen van hun prestaties geheel afhankelijk geworden van deze apparatuur. Vooralsnog is hier nog geen gestandaardiseerde kalibratiemethode beschikbaar die in het economische verkeer gebruikt kan worden.

6.7.2 Ontwikkelingen

Invulling adviezen uit het Strategierapport 2009-2012 door VSL

In het Strategierapport 2009-2012 stond: *Breidt het gebied van lengtemetingen uit richting:*

- *micro- en nanotechnologie*
- *zeer grote afstanden met micrometer-nauwkeurigheid onder andere voor de monitoring van ondergrondbewegingen (energieopslag, afvalopslag).*

De Raad had aangegeven dat de kalibratie en kwalificatie van verschillende soorten meettasters (mechanisch/AFM, optisch/licht/SEM) in het micro- en nanometerbereik een zeer belangrijk aandachtsgebied is en dat mede gezien de aard van de problematiek, het fundamentele karakter van het onderzoek en de mogelijke kosten, samenwerking tussen verschillende internationale instituten noodzakelijk is. Ook werd geadviseerd prioriteit te geven aan het meten van complexere vormen en structuren boven het meten van eendimensionale waarden met toenemende nauwkeurigheid.

Nano- en microtechnologie vormen momenteel één van de vijf speerpunten van VSL en de adviezen van de Raad zijn goed opgepakt, gezien onderstaande lijst van internationale KP7- en EMRP-projecten verdeeld in vier categorien:

Nanometrologie:

Drie AFM (atomic force microscope) projecten: Long-range AFM; 3D-AFM; AFM met extreem scherpe tasterpunt.
Een biomedisch project voor de metrologische karakterisatie van microvesicles: Microvesicles zijn door cellen uitgestoten deeltjes waarvan de vorm en aantallen in bloed en urine gebruikt worden voor diagnose bij ziekten zoals bijvoorbeeld kanker.

Micrometrologie / 3D micro-CMM (micro coordinate measuring machine Zeiss F25):

Meten van micro-onderdelen en vrije vormen zoals asferische lenzen: mechanisch met de Zeiss F25 en optisch met de Nanomefos.
Meten kleine structuren met scatterometrie.
Herleidbaarheid voor rekenintensieve metrologie: validatie en herleidbaarheid software voor diverse tasters en toepassing op CCM's.

Interferometrie:

Bepaling van dimensionele drift van sensoren, materialen en structuren.
Sub-nm verplaatsing.
"Metrology for long distance surveying": met de frequentiekam van de femtosecondelaser zijn goede metingen tot 50 m gerealiseerd en dit krijgt een vervolg binnen EMRP. Het advies "zeer grote afstanden met micrometer nauwkeurigheid onder andere voor de monitoring van ondergrondbewegingen (energieopslag, afvalopslag)." is niet opgepakt.
Aandachtspunt:
Ten aanzien van uitbreiding van het meetgebied naar grote afstanden blijft het interessant voor EZ en VSL aandacht te besteden aan het meten van geodetische grootheden gezien de grote economische belangen die hier spelen: het monitoren van ondergrondbewegingen ten gevolge van energieopslag, afval/CO_2 opslag, winning aardgas of zelfs schaliegas.

Proces- en fabricagemetrologie.

Ellipsometrie voor het meten van dunne films.
Micro-forming / additive manufacturing en inline AFM.
"Single nanometer manufacturing beyond CMOS devices": alternatieve technieken en ontwikkelingen zoals nano imprint.
"Automated in-line metrology for nanoscale production": inspectie-robot met AFM probe (en interferometer) voor oppervlaktemeting tijdens productie.

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 High-tech bedrijfsleven.

Qua (taster-)kogelmeting behoort VSL momenteel tot de internationale top. Ook de accreditatie voor streepmaten is afgelopen jaar ruim verbeterd.

Verdere ontwikkelingen

Het onderzoek aan geometrische lengtemetingen is zeker niet beperkt tot herleidbaarheidsmetingen. De belangrijkste ontwikkelingen liggen nog steeds in de uitbreiding van het meetgebied naar de uiterste grenzen en het meten van complexe

vormen en structuren. Meting tijdens productie lijkt een hogere prioriteit te hebben dan het meten van eendimensionale waarden met toenemende nauwkeurigheid, en hierbij is er in toenemende mate behoefte aan software om metingen, uitgevoerd met verschillende meetsystemen, te kunnen herleiden tot een eenduidig meetresultaat. Naast herleidbaarheid is validatie van software ook belangrijk.

Zoals aangegeven is VSL actief betrokken bij de nieuwe ontwikkelingen in de micro- en nano-metrologie met name in de markt van de High-Tech Systems.

De bio-nanotechnologie is door VSL opgepakt o.a. met het AFM-microvesicles project. De verwachting is dat de biotechnologie nog een enorme groeispurt te wachten staat en dat er veel vraag naar nieuwe meettechnieken zal zijn. Het is echter moeilijk te overzien welke nano-bioactiviteiten en ontwikkelingen plaatsvinden bij de Nederlandse bedrijven en universiteiten. Wat zijn hun toekomstplannen en hoe kan VSL hier op inspelen, waar heeft VSL mogelijk toegevoegde waarde.

De uitdaging voor de nabije toekomst in de hightech- en halfgeleider-industrie is het steeds sneller en nauwkeuriger (her)positioneren en/of het aanbrengen van lagen en structuren op IC's e.d. met nauwkeurigheden tot wel 0,1 nm. Hierbij is stabiliteit en reproduceerbaarheid belangrijker dan herleidbaarheid.

Er is toenemende vraag naar nieuwe stabiele materialen en nieuwe methoden voor het meten van stabiliteit en temperatuursinvloeden. Het dynamische meten en modeleren van thermo-mechanische vervormingen door ongewenste temperatuureffecten wordt steeds belangrijker, evenals het uitgassen van materialen en vervuiling door loslatende deeltjes.

Aandachtspunt :
Samenwerking binnen VSL om de kennis van bovengenoemde effecten te bundelen; de invloed bij bestaande opstellingen te inventariseren en daar waar nodig en mogelijk te verbeteren en te valoriseren.

Vooral dynamische metingen zijn op micrometerschaal zeer moeilijk te realiseren. Daarom is er nationaal en internationaal nog steeds behoefte aan verbetering van:

- Standaarden voor het meten van dunne lagen
- Standaarden voor het meten van afmetingen op micrometerniveau (MEMS)
- Standaarden voor het meten van dynamische verschijnselen op micrometerniveau (trillingen, krachten, versnellingen)

Nieuwe internationale ontwikkelingen zijn:

- Standaarden voor herleidbaar meten tijdens productie; niet alleen 1D maar ook 3D. Mobiele standaarden en referentiematerialen voor dynamische on-site kalibratie.
- Nieuwe generaties sensoren: snelle mini CT scanners, goedkope robuuste laserinterferometers eventueel met correctie voor brekingsindex, micro-GPS, radar sensoren, etc.
- Snelle geavanceerde regeltechniek voor advanced systems met multivariabel meten en actueren. Hiervoor zijn snelle geavanceerde computers en software nodig voor het verwerken van de toenemende datastromen.

6.8 Thermometrie en vochtigheid

6.8.1 Inleiding

Temperatuur heeft invloed op vrijwel alles en is daarom één van de meest gemeten grootheden. Het meetbereik voor toepassingen op aarde loopt van 0 K (–273,15 °C) tot ca 3000 °C. Voor dit gehele gebied bestaan meetsensoren of meetmethoden. De internationaal erkende temperatuurschaal (ITS-90) dekt dit gehele temperatuurgebied. Voor normaal industrieel gebruik loopt het gebied van ongeveer –200 tot 1300 °C. Sensoren die het meest worden toegepast voor dit bereik zijn thermokoppels en weerstandsthermometers. De eerstgenoemde sensoren gelden als robuust en veelzijdig, weerstandsthermometers (voornamelijk op basis van Pt) hebben een hoge nauwkeurigheid en stabiliteit (daarom veelal als secundaire standaard gebruikt). Voor het (contactloos) meten van hoge tot zeer hoge temperaturen maakt men gebruik van stralingsthermometers (bijv. een pyrometer).

De vereiste meetonzekerheid is sterk afhankelijk van de toepassing. Nauwkeurigheidseisen lopen van ca +/- 0,02 °C (bijzondere toepassingen, beperkt temperatuurbereik) via +/- 0,05 °C (standdaardtoepassingen rond omgevingstemperatuur) tot enkele °C bij veel lagere of veel hogere temperaturen. Voor temperatuursensoren bestaan reeds lang nationale en internationale normeringen.

Vochtigheid wordt in velerlei eenheden uitgedrukt; de meest gangbare zijn relatieve vochtigheid (RV) en dauwpuntstemperatuur, kortweg dauwpunt (dp). Het dp (van lucht) is de temperatuur waarbij de daarin aanwezige waterdamp begint te condenseren (die temperatuur is dus steeds lager dan de luchttemperatuur zelf).

Voor het meten van (lucht)vochtigheid bestaan uiteenlopende principes en sensoren. De meest nauwkeurige methode is gebaseerd op de bepaling van de dauwpuntstemperatuur. Omdat die methode in wezen een temperatuurmeting is, is vochtkalibratie uit praktische overwegingen ondergebracht bij het gebied Temperatuur.

6.8.2 Huidige situatie.

Voor kalibratie en certificering van temperatuursensoren kan men bij de meeste daartoe geaccrediteerde instanties terecht: de *Mutual Recognition Agreement* maakt het mogelijk wereldwijd te certificeren, tegen een lage kostprijs (er is concurrentie). Veel bedrijven beschikken over eigen secundaire standaarden, welke vanzelfsprekend herleidbaar zijn tot de internationale standaarden; Nederlandse bedrijven geven daarbij de voorkeur aan VSL. Voor de meer gangbare temperatuursensoren heeft VSL automatische meetapparatuur ontwikkeld waarmee grotere aantallen sensoren gelijktijdig en snel, dus efficient en tegen lagere kostprijs, kunnen worden gekalibreerd. Over het geheel genomen is de kalibratiemarkt voor temperatuur redelijk stabiel.

Als het om het certificeren van bijzondere temperatuurmeters gaat dan tonen bedrijven een duidelijke voorkeur voor VSL, voornamelijk vanwege de naamsbekendheid (interessant voor klanten) en de goede ervaringen (VSL blijkt een goede en betrouwbare gesprekspartner te zijn).

Voor standaardsensoren wijken veel bedrijven uit kostenoverwegingen uit naar andere certificatielaboratoria. Om tegenwicht te geven aan die concurrentie biedt de groep Temperatuur klanten een snelle (alhoewel duurdere) kalibratieprocedure aan (2 weken, anders 4). Verhoging van de efficientie van kalibraties door verdere automatisering is echter nauwelijks meer mogelijk.

VSL heeft temperatuurstandaarden die gezamelijk het gehele temperatuurgebied omvatten: van 0 K tot 3000 °C. De onzekerheid van de standaarden is (nog) voldoende om aan de herleidbaarheidseisen te voldoen. VSL produceert en verkoopt water-triplepoint cellen als temperatuurstandaard voor +0,01 °C. Dit vormt een welkome aanvulling op de inkomsten van VSL.

Vochtigheidssensoren die responderen op RV worden met dauwpuntsmeters gekalibreerd. Bedrijven met eigen dauwpuntsmeters laten deze bij voorkeur bij VSL certificeren.

6.8.3 Ontwikkelingen

Wat ***temperatuur*** betreft zijn er over de laatste jaren geen noemenswaardige ontwikkelingen in de genoemde twee standaardtypen sensoren te melden. De ontwikkelingen op het gebied van temperatuurmetingen die er wel zijn richten zich enerzijds op betere sensormaterialen (grotere stabiliteit) en de signaalverwerking (sneller en automatisch meten).

Er bestaat een langzame doch duidelijk waarneembare tendens naar lagere onzekerheden. Dit betreft vooral specifieke toepassingsgebieden (onderzoek, halfgeleiderindustrie, aardgas).

Omdat de huidige temperatuurstandaarden in de naaste toekomst niet meer de vereiste onzekerheid kunnen bieden wordt wereldwijd gezocht naar betere standaarden en meetprincipes. VSL draagt daaraan bij door middel van gezamelijk onderzoek met andere NMI's en universiteiten. Enkele voorbeelden zijn het STW-project met de Universiteit Groningen (onderzoek naar isotopensamenstelling voor de hiervoor genoemde watertriple-pointstandaard) en het IMERA+-project (met als doel een temperatuurstandaard voor 24,5561 K te ontwikkelen op basis van Ne).

De behoefte aan gecertificeerde apparatuur voor ***vochtigheidsmetingen*** groeit, voor een verscheidenheid aan toepassingen. Een belangrijk toepassingsgebied betreft luchtbehandelingsinstallaties, voor o.m. airco's, kassen, productopslag e.d. De vereiste onzekerheden zijn goed haalbaar en er is vooralsnog geen duidelijke behoefte aan lagere onzekerheden. Ook de halfgeleiderindustrie raakt steeds meer geïnteresseerd in vochtigheidsmetingen, over een klein temperatuurgebied, maar met hoge reproduceerbaarheid.

Een bijzondere toepassing is de meting van vocht (waterdamp) in aardgas. De opgave is de meting uit te voeren bij hoge druk (65 bar), met een onzekerheid kleiner dan 1 °C. VSL werkt hierbij samen met de Nederlandse Gasunie.

6.8.4 Conclusies.

VSL beschikt over temperatuurstandaarden die gezamelijk het gehele temperatuurgebied omvatten: van 0 K tot 3000 °C. De onzekerheid van de standaarden is tot op heden voldoende om aan de herleidbaarheidseisen te voldoen. Het routinematige kalibreren ondervindt geduchte concurrentie van andere

gecertificeerde laboratoria. VSL slaagt slechts ten dele hieraan het hoofd te bieden met een efficiente en nauwkeurige kalibratie-inrichting; de automatiseringsgraad heeft een maximum bereikt.

De kalibratiefaciliteit voor vochtigheidsmetingen bij VSL is uniek in Nederland.

Het nauwkeuriger meten van vocht in aardgas (onder druk) heeft een groot economisch nut. VSL draagt substantieel bij aan onderzoek hiernaar.

De groep Temperatuur en vochtigheid heeft een hoge wetenschappelijke status. De groep produceert jaarlijks een aanzienlijk aantal conferentiebijdragen en tijdschriftartikelen.

6.9 Optische standaarden

6.9.1 Huidige situatie

Standaardenbeheer

Binnen het vakgebied optica worden in Nederland twee van de zeven fundamentele standaarden voor basis SI-eenheden gerealiseerd, de fotometrische candela (cd) in lumen per sterradiaal en de kelvin (K) voor het hoge temperatuurgebied (1000 ^{o}C < T < 3000 ^{o}C). Beide standaarden worden gemeten met behulp van optische methoden. In Nederland heeft sectie Optica van VSL de verantwoordelijkheid gekregen voor de realisatie van deze standaarden. Daarnaast wordt de eenheid van lengte optisch bepaald via de golflengte van stabiele lasers en worden de eenheden van lengte en tijd aan elkaar gerelateerd via de frequentiekamlaser. De eenheden van lengte en tijd behoren echter tot het domein van “Lengte” respectievelijk “Tijd”.

Vanuit de twee basiseenheden candela en kelvin worden veel stralingsmetingen gerealiseerd en detectoren geleverd voor gebruik op het gebied van objectieve radiometrie, karakterisatie van lichtbronnen en kleurmeting, en ook voor subjectieve kleurwaarneming en herkenbaarheidmetingen. De fotometrische metingen hebben betrekking op visuele waarneming waarbij de straling qua visuele impressie gefilterd wordt voor de ooggevoeligheidcurve. Van de candela afgeleide grootheden zijn de verlichtingssterkte of irradiantie (eenheid lumen.m^{-2} of lux), de lichtstroom in lumen en de luminantie in lumen.m^{-2}.ster^{-1}. Objectieve radiantiemetingen zonder correctie voor de gevoeligheidscurve van het menselijke oog vinden plaats bij een zeer specifieke frequentie van de straling of over een breder stralingsgebied. Hierbij worden vergelijkbare grootheden gemeten als in de fotometrie, nu echter in termen van watt in plaats van lumen. Vanuit de radiometrie leidt het werk aan de kelvinstandaard automatisch tot de mogelijkheid van thermometrie in het hoge temperatuurgebied (typisch 1000 ^{o}C < T < 3000 ^{o}C).

Korte beschrijving van beschikbare technologieën en kalibratiemogelijkheden.

Op dit moment is er een primaire detectorschaal opgebouwd over het spectrale golflengtegebied van 150 nm tot 20 µm. De kortgolvige UV-zijde (193nm) heeft speciale aandacht vanwege optische lithografie. Er zijn relevante key comparisons uitgevoerd waarbij VSL een goede score heeft behaald. In het thermische infrarood (-50 ^{o}C < T < 800 ^{o}C) is herleidbaarheid tot industrieel niveau beschikbaar gekomen. Naast de pure detectie is er ook aan de bronzijde een volledige schaal opgebouwd inclusief onderbouwing via key comparisons waarbij VSL internationaal ook heel

goed scoort. De nieuw gebouwde faciliteit voor radiometrie in drie dimensies (3D-RAD) is zeer nuttig voor het aan elkaar schakelen van de bron- en detectorschalen. Hierdoor is het mogelijk geworden de industrie breder tegemoet te treden met thematische oplossingen voor kalibratieproblemen. Met behulp van de gereed gekomen opstelling voor radiantiemetingen in drie dimensies kan de totale uitgezonden flux in lumen of watt gemeten worden van bronnen en lichtgevende objecten van zeer algemene vorm en stralingseigenschappen. Daarnaast is een spectrale analyse mogelijk als functie van de tweedimensionale uitstraalhoek.

Markt

Om historische redenen blijken enige grote marktspelers veel kalibraties en secundaire standaarden te betrekken van buitenlandse instituten waarbij het Engelse instituut NPL (National Physics Laboratory) een sterke positie inneemt, naast het Duitse PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt). In Nederland is de vraag naar standaarden en herleidbaarheid op optisch gebied relatief gering. Er is meer behoefte aan professionele ondersteuning bij optische toepassingen en VSL doet er verstandig aan hiervoor voldoende capaciteit vrij te maken zonder de basisactiviteit in gevaar te brengen. Naast de industriële behoeften is ook de overheid een belangrijke speler. Bij hoogwaardige documenten voor identificatie, bij de aanmaak en controle van waardepapieren en bij forensisch onderzoek spelen optische systemen en standaarden een belangrijke rol.

VSL staat bekend als een deskundige en betrouwbare partner.

6.9.2 Ontwikkelingen

Op diverse gebieden zijn er baanbrekende ontwikkelingen gaande. Een voorbeeld is de geleidelijke maar onstuitbare overgang naar halfgeleiderverlichting in de maatschappij. De komst van efficiënte licht-emitterende diodes (LED) en halfgeleider lasers met een hoog rendement en ongekend lange levensduur sluit aan bij de maatschappelijke wens naar duurzaamheid qua energie- en materiaalverbruik. Daarnaast worden er tegenwoordig bronnen en detectoren ontwikkeld in tot voor kort nauwelijks bestudeerde spectrale gebieden zoals het extreme UV- en het terahertz-gebied (THz). Bij het zeer kortgolvige extreem UV gebied is de chipfabricage voor computerprocessoren en geheugens de aanjager. Door de vooraanstaande positie van ASML is deze activiteit van groot nationaal belang. Langgolvige THz-straling is belangrijk bij medische instrumentatie, bij de karakterisatie van farmaceutische materialen en voedsel en voor het veiligheids- en screeningonderzoek.

Geavanceerd optisch onderzoek vindt in Nederland plaats in het kader van fysisch, chemisch en biologisch georiënteerde onderzoeksprogramma's van de nationale overheid (Nanoned, NWO) en in medisch geïnspireerde onderzoeksprogramma's. De onderwerpen komen ook aan bod in het Europese metrologieprogramma. Een voorbeeld is de karakterisatie van anisotrope multilagen via optische technieken zoals ellipsometrie. Het gewenste doel is de ontwikkeling van nieuwe standaarden en de vereenvoudiging van de herleidbaarheidsketen. Het participeren van VSL in deze nationale en internationale onderzoeksprogramma's is gewenst voor het behoud van een vooraanstaande plaats van Nederland op het gebied van het beheer en de toepassing van optische standaarden.

We noemen nu onderwerpen waarbij onderzoeksactiviteiten van VSL nuttig zullen zijn voor het standaardenbeheer en het bieden van herleidbaarheid in Nederland:

a) LED-bronnen zijn een relatief nieuwe uitdaging waarop VSL heel goed heeft ingespeeld. Het is van groot belang dat VSL een stevige relatie onderhoudt met Philips Lighting die een wereldspeler is op dit gebied.

b) Tijdsgemoduleerde smalbandige bronnen, speciaal LED's en lasers. Voor deze niet constante bronnen zijn nauwelijks standaarden en herleidbaarheid beschikbaar. Het tijdsgebied strekt zich uit van een milliseconde tot een femtoseconde.

c) OLEDs zijn nieuwe lichtbronnen op buigzaam substraten die nieuwe verlichtingstoepassingen mogelijke maken. Het Holst Centre doet veel onderzoek naar OLEDs en het zou goed zijn als er samenwerking tussen Holst Centre en VSL zou komen.

d) Beeldmetrologie. Er worden testobjecten ontwikkeld voor bijvoorbeeld infrarood thermografie en voor de kalibratie van tweedimensionale detectoren zoals CMOS en CCD's (zichtbaar en UV-gebied). Verlichting en omgevingsinvloeden worden meegenomen bij de kalibratie van het verschijnsel 'zichtbaarheid' (een aspect van 'soft metrology') van boeien, verkeersborden enz. Hierbij moeten nieuwe normen en criteria opgesteld worden. Er is ook Europese regelgeving op dit gebied waar adequaat op gereageerd moet kunnen worden in Nederland, in eerste instantie door de verantwoordelijke ministeries, in de praktijk vervolgens door een gespecialiseerd meetinstituut als VSL.

e) Herleidbaarheid bij aardobservatie. Verre infraroodobservatie van de aarde is belangrijk, uitbreiding naar het terahertzgebied vindt ook plaats. De CCPR heeft besloten de UV-werkgroep te stoppen maar een nieuwe ver-infrarood en THz-werkgroep in het leven te roepen. Dit geeft het belang van het vakgebied aan. ESA start een eigen testcentrum op dit gebied. Daarnaast ontstaan er industriële toepassingen in het THz-gebied via "security"-toepassingen (luchthavens).

f) Bepaling van fouten (aberraties) van optische systemen (bijvoorbeeld lenzen) uit intensiteitsmetingen in de buurt van het beste focus. Deze nieuwe methode is belangrijk voor de industrie omdat ze in situ uitgevoerd kan worden en bovendien veel minder gevoelig is voor externe verstoringen als de gebruikelijke op interferometrie gebaseerde methodes.

g) In het onderzoek naar optische sensoren worden structuren ontworpen die hoge electromagnetische veldintensiteiten en daarmee hoge gevoeligheden genereren. Zo worden plasmonische structuren gebruikt om er zeer nauwkeurig brekingsindices mee te bepalen.

h) In scatterometrie wordt uit gemeten verstrooide lichtintensiteiten de vorm van het verstrooiende object bepaald met een precisie beter dan de golflengte van het licht. Aangezien de inversie instabiel is moeten regularisatiemethodes worden toegepast. Scatterometrie is belangrijk in de fabricage van ICs (ASML).

i) Kleurmeting (objectief) is in principe mogelijk met de 3D-radiantie-meetopstelling die door VSL in Nederland gebouwd is. Op dit moment vindt

geen speciaal verkennend werk plaats op het gebied van kleuranalyse en kleurperceptie. Maar er is een duidelijke behoefte vanuit de verfindustrie (AKZO-Nobel) voor geavanceerde analyse en kalibratie van hoekafhankelijke fotospectrometers die gebruikt worden in bijvoorbeeld de autolakkenindustrie en de autoreparatie branche. De huidige standaarden voor kleurmeting bij een bedrijf zoals AKZO-Nobel zijn keramische tegels, gerelateerd aan standaarden van NPL. Deze standaarden vertonen veel drift en zijn niet in staat afwijkingen van het gebruikte instrument eenduidig vast te stellen.

Andere ontwikkelingen op lange termijn kunnen ook afgeleid worden uit de marsroutes van de nationale meetinstituten en uit de observaties van deskundigen (bijv. via de peer review van het NMi).

6.10 Volumetrie

6.10.1 Huidige situatie

Het werkgebied Volumetrie is in de achterliggende jaren volop in beweging geweest. Nederland heeft zich t.a.v. dit werkgebied zeer sterk ontwikkeld. Naast het instandhouden van de herleidbaarheid van de reeds bestaande installaties voor lucht, water, kleine diameters minerale oliën, etc. hebben er de laatste jaren tal van nieuwe ontwikkelingen plaatsgevonden. Hierbij een korte samenvatting van de belangrijkste ontwikkelingen in de achterliggende periode:

Hogedruk aardgas

Er is in Nederland veel veranderd ten aanzien van de hogedruk aardgaskalibraties. Jarenlang golden de faciliteiten in Westerbork en Bergum als het centrum voor hogedruk aardgas kalibraties in Nederland.

Euroloop – GasCal heeft inmiddels de kalibratiefaciliteiten van Westerbork en Bergum volledig vervangen. Formeel wordt het beheer van Westerbork pas beëindigd, zodra is aangetoond dat de referentiewaarde tussen de oude opwerkroute niet significant verschilt met de referentiewaarde gerealiseerd op Euroloop. De verwachting is dat dit binnenkort het geval is.

Inmiddels voorziet GasCal duidelijk in een behoefte en wordt er internationaal een duidelijke positie te verworven. Hiermee positioneert Nederland zich nog nadrukkelijker op de Metrologische wereldkaart.

Internationaal vinden ook aanzienlijke investeringen plaats. Zo werkt Force (Denemarken) aan verdere uitbreiding van hun hoge druk gas kalibratie faciliteit. De mogelijke ontwikkeling op het gebied van schaliegaswinning zal de behoefte aan gaskalibratiecapaciteit nog verder doen toenemen.

Minerale oliën

Veel is er de afgelopen jaren geïnvesteerd in bestaande en nieuwe kalibratiefaciliteiten voor minerale oliën. Zo zijn er twee nieuwe faciliteiten in de VS gebouwd en wordt er momenteel de laatste hand gelegd aan de grootste en nauwkeurigste kalibratiefaciliteit ter wereld: Euroloop – HyCal. Met name deze laatste faciliteit is volledig nieuw voor Nederland en zorgt voor een enorme uitbreiding van herleidbare debietkalibraties op het gebied van één van de

belangrijkste energiedragers ter wereld. Naast bovengenoemde nieuwbouw bestaan er plannen voor investeringen in de reeds bestaande faciliteiten in Frankrijk (SPSE en Trapil).

LNG (Liquefied Natural Gas)

De belangstelling voor LNG is afgelopen jaren zeer sterk toegenomen. De reden hiervoor is dat LNG een aantal specifieke voordelen heeft zoals de eenvoudige en goedkope productiemethode (vergeleken met die van bv. diesel en benzine), de grote beschikbare hoeveelheden aardgas, de relatief eenvoudige wijze van transport en de relatief lage productie van CO_2, fijnstof, NO_x en SO_x bij verbranding.

Afgelopen jaren heeft Nederland zich ook op dit werkgebied internationaal onderscheiden door als eerste een primaire debietstandaard voor LNG te realiseren. Nederland zet hier duidelijk de trend.

'Micro- en Nanoflow'

Een ander gebied waar belangrijke ontwikkelingen hebben plaatsgevonden is op het terrein van 'micro- en nanoflow'. Een belangrijke toepassing vinden we in de dosering van medicijnen. Een lage meetonzekerheid bij deze extreem lage debieten kan letterlijk van levensbelang zijn. Ten gevolgen van de ontwikkeling van nieuwe, sterkere medicijnen zijn de benodigde doseringen sterk afgenomen. Met de bestaande meetmethoden zijn daardoor meetfouten van meer dan 10% geen uitzondering. In de achterliggende periode is er bij VSL in het kader van een EMRP-project ('Metrology for Drug Delivery') gewerkt aan de basis van een standaard in de debietsrange van 150 µl/min tot 10 nl/min met een onzekerheid van minder dan 0,5%.

Multifase stroming

Ook de belangstelling voor het meten van multifasestroming is de achterliggende jaren sterk gegroeid. In de industrie komt multifase stroming veel voor. Het meten van deze stroming is echter zeer ingewikkeld en daarom nog steeds relatief onnauwkeurig. Een verdere verbetering van de meetnauwkeurigheid is zeer gewenst. Momenteel wordt er op grote schaal geïnvesteerd in de ontwikkeling van nieuwe en verbeterde multifase debietmeters waarbij een hogere nauwkeurigheid en een breder toepassingsgebied volop de aandacht krijgen.

Hetzelfde geldt voor multifase kalibratie- en testfaciliteiten. Bij het South West Research Institute (San Antonio, TX) wordt momenteel een volledig nieuwe faciliteit gebouwd. Zeer recent is bij DNV-KEMA (Groningen) een volledig nieuwe multifase kalibratie- en testfaciliteit gereed gekomen. Beide faciliteiten voorzien in een sterke behoefte aan meer kalibratie- en testcapaciteit naast de reeds beschikbare installaties (o.a. in Nederland, Groot Brittannië, Noorwegen, Frankrijk, Rusland, Brazilië en China).

6.10.2 Ontwikkelingen

LNG

Vanwege de eerder genoemde voordelen, zal het gebruik van LNG de komende jaren sterktoenemen. Plannen om LNG als brandstof in te zetten voor wegvervoer en binnenvaart worden inmiddels gerealiseerd. Er zijn nu reeds diverse LNG tankstations in Nederland beschikbaar en er rijden meer dan 85 vrachtwagens op

deze brandstof. Binnen een paar jaar zijn er enkele tientallen stations nodig om in de behoefte te kunnen voorzien en verdere expansie de ruimte te geven. Deze ontwikkeling in het LNG-gebruik beperkt zich niet alleen tot Nederland. Vergelijkbare ontwikkelingen zijn er gaande in tal van andere Europese landen. Een zelfde trend is waar te nemen in de VS.

Dit alles zal leiden tot een sterk toenemende behoefte aan de unieke LNG debietstandaard van VSL. Het belang van deze standaard zal groeien en VSL kan op dit gebied een belangrijke internationale rol spelen.

Naast een verdere reductie van de onzekerheid van deze kleine primaire standaard, zal er behoefte ontstaan naar het opwerken van deze standaard naar hoge debieten. Aan het laatste wordt inmiddels gewerkt.

Vooralsnog lijkt er geen behoefte te ontstaan aan het herleidbaar kunnen meten van het cryogene'boil-off' gas.

Multifasestroming

De belangstelling voor het meten van multifasestroming zal komende jaren naar verwachting sterk toenemen. Er zal tevens aanzienlijke vooruitgang worden bereikt in het nauwkeuriger kunnen meten van het debiet van de onderscheiden fasen. De aandacht voor standaardisering en herleidbaarheid zal eveneens sterk toenemen. Op dit gebied is voor multifasestroming tot nu toe weinig beschikbaar.

Aandachtspunt:

Blijf intensief betrokken bij de ontwikkelingen op het gebied van het meten van multifasestroming. Op dit gebied staat de komende jaren veel te gebeuren. Standaardisatie en herleidbaarheid zullen hierin een duidelijke plaats gaan krijgen.

Meten van gasemissie

De afgelopen jaren is de druk op het meten van afvalgasstromen via de zg. 'stacks' en 'flares' (veelal gebruikt bij petrochemische en chemische installaties)aanzienlijk toegenomen. Deze druk zal de komende tijd verder toenemen. Tot nu toe ontbreekt betrouwbare en nauwkeurige industriële meetinstrumententatie voor deze toepassing. De metingen worden bemoeilijkt doordat de snelheden vier tot vijf ordes in grootte variëren (van een paar cm/s bij normaal bedrijf tot 100 m/s bij een affakkelsituatie). Verder is er sprake van een pulserende, niet homogene, condenserende gasstroom. Dit alles stelt zeer hoge eisen aan het meetinstrument. In de industrie wordt gewerkt aan mogelijke oplossingen. Zodra er geschikte meetinstrumentatie op de markt komt is herleidbaarheid nodig.

7 Nieuwe gebieden

7.1 Algemeen

Het vakgebied metrologie kan traditioneel worden opgedeeld conform de zeven SI-eenheden (Lengte, Massa, Tijd, Elektrische stroom, Hoeveelheid stof, Temperatuur en Lichtsterkte). Historisch gezien is dit logisch. Om praktische redenen hanteert de Raad echter al enige tijd de volgende indeling, zoals ook in deze rapportage is gevolgd:

1. Chemie
2. Elektriciteit en magnetisme
3. Tijd
4. Ioniserende straling
5. Massa en gerelateerde standaarden
6. Lengte en gerelateerde standaarden
7. Thermometrie en vochtigheid
8. Optische standaarden
9. Volumetrie

Deze indeling is een mengvorm tussen primaire standaarden en het gebied van toepassing.

Nieuwe meetmethoden worden steeds meer multidisciplinair; de traditionele standaarden blijken soms ontoereikend of onpraktisch. Er bestaat een groeiende behoefte aan nieuwe standaarden, zoals voor kleur of chemische samenstelling. Die standaarden zijn vaak herleidbaar tot een combinatie van meerdere primaire standaarden. Zo is de standaard voor volumestroom afhankelijk van die van lengte en tijd; een standaard voor kleur zal terug te voeren zijn naar die voor lengte, tijd en lichtsterkte. Voor het belang van Nederland, waar het Ministerie van Economische Zaken voor staat, gaat het vooral om het nut en de toepassing van de standaarden. Vandaar dat de raad in de vorige rapportage de metrologie beschouwde vanuit maatschappelijke thema's.

In de volgende tabellen is te zien in welke mate VSL de onderwerpen van voornoemde indeling in het onderzoek bestrijkt en hoe e.e.a. past in de nieuwe HORIZON 2020 thematiek.

Tevens is te zien hoe de thema's van HORIZON 2020 zich verhouden tot de huidige indeling in 9 groepen. Duidelijk is dat het bij de nieuwe ontwikkelingen vooral gaat om multidisciplinaire activiteiten (meerdere kruisjes op de horizontale rijen).

Europa Horizon 2020	Europa Horizon 2020 details	"Nieuw" gebied VSL	Chemie	Elektr./ Magn.	Tijd/ Freq.	Ion. straling	Massa	Geom. lengte	Thermometrie vochtigheid	Optische stand.	Volu-metrie	Opmer-kingen
Better Society	Health, demogr. change and wellbeing	ontbreekt	x		x	x						ontbreekt
Better Society	Food security sustainable agriculture, marine and maritime research, bio-economy	3.2	x					x	x			niet opgepakt
Better society	Secure clean and efficient energy	3.3	x	x	x		x				x	opgepakt
Better Society	Smart green integrated transport	ontbreekt	x	x	x					x	x	ontbreekt
Better Society	Inclusive innovative and secure societies	3.4	x	x	x	x						niet opgepakt
Better Society	Climate Action, resource efficiency and raw materials	3.1	x	x	x		x	x	x	x	x	opgepakt

Tabel 1. Nieuwe gebieden (met nummering) zoals in de Strategische visie 2009-2012 is aanbevolen binnen het thema "Better Society"

Europa Horizon 2020	Europa Horizon 2020 details	Nieuw gebied VSL	Chemie	Electr./ Magn.	Tijd/ Freq.	Ion. straling	Massa	Geom. lengte	Thermometrie vochtigh.	Optische stand.	Volu-metrie	Opmer-kingen
Competitive industries	Micro- and nano-electronics; photonics	**3.5**		x	x			x		x		opgepakt
Competitive industries	Nano-technologies	**3.5**	x		x			x		x		opgepakt
Competitive industries	Advanced materials	**3.5**	x	x			x	x	x	x		opgepakt
Competitive industries	Biotechnology	**3.2**										niet opgepakt
Competitive industries	Advanced manufacturing and processing	**3.5**	x		x			x		x		opgepakt
Competitive industries	multidisciplinary approach											

Tabel 2. Nieuwe gebieden (met nummering) zoals in de Strategische visie 2009-2012 is aanbevolen binnen het thema "Competitive industries". Kleurmetingen en soft metrology zijn onder 3.5 niet opgepakt.

7.2 Ontwikkelingen in de afgelopen periode

In het volgende wordt kort ingegaan op de ontwikkeling van deze nieuwe gebieden binnen VSL, zoals voorgesteld in de vorige rapportage.

7.2.1 Milieu en Chemie

Er is nog steeds geen duidelijke technologie beschikbaar om de uitstoot van schadelijke gassen en stoffen direct te meten: *de kwantificering van de uitstoot vindt veelal plaats op basis van indirecte methoden*. Ervan uitgaande dat bekend is welke stoffen worden verbrand, kan aan de hand van modellen worden bepaald wat de uitstoot van een bepaald gas of stof moet zijn. Het direct meten van de uitstoot zelf is vaak niet mogelijk. Daardoor is de herleidbaarheid van deze methodiek vaak niet duidelijk. Een standaard ontbreekt. Gezien het groeiende belang van dit soort metingen bestaat er een toenemende vraag naar methodieken om de ingezette metingen en modellen te kunnen valideren en te herleiden. Met name de emissie van stoffen die in de emissiehandel verhandelbaar zijn zal nauwkeurig gemeten dienen te worden. Daarom heeft de Raad in de vorige rapportage een nieuw gebied geadviseerd: *Standaarden voor het meten van broeikasgassen*.

VSL heeft dit opgepakt. Het project GHG (Greenhouse Gases) wordt een voorstel in de EMRP-ronde van 2013.

Een internationaal belangrijk onderwerp is herleidbaarheid bij aardobservatie, een gebied waar Nederland een sterke positie inneemt. Verre infrarood observatie van de aarde is belangrijk, uitbreiding naar het langgolvige terahertzgebied vindt plaats. De Nederlandse metrologie-activiteit heeft op dit gebied een goede uitgangspositie die verder uitgebouwd kan worden. De Raad heeft daarom in de vorige rapportage aanbevolen te werken aan *standaarden voor verre infrarood ten behoeve van aardobservatie.*

Ook dit onderwerp is door VSL opgepakt, en wordt eveneens een voorstel in de EMRP-ronde van 2013.

7.2.2 Voeding en Gezondheid

In de rapportage 2009-2012 heeft de Raad het belang van dit thema uitvoerig beschreven. VSL is gevraagd een rol te spelen in de inventarisatiefase, vanwege hun zeer goede internationale netwerk in de metrologie. In deze fase moet verder worden uitgezocht wat de huidige activiteiten en plannen voor voedingsanalyses op internationaal niveau zijn, en hoe Nederland hier een bijdrage aan zou kunnen leveren. Vandaar de aanbeveling: *Referentiematerialen voor voedingsmiddelen.*

EZ heeft echter geconcludeerd: “VSL heeft hierin geen expertise, hiervoor zijn ook andere experts zoals biologen, biofysici voor nodig. Vooralsnog niet zelf oppakken.”

7.2.3 Energie

De ontwikkelingen en stand van zaken m.b.t. dit gebied zijn reeds uitvoerig beschreven in H. 6.2. In de vorige rapportage heeft de Raad een aantal nieuwe gebieden aanbevolen. Hieronder wordt aangegeven in hoeverre VSL deze suggesties heeft opgepikt.

- *Kalibratie van vermogensmetingen in het elektriciteitsdistributie en - transmissienetwerk*

VSL werkt aan een HV-faciliteit (o.a. herleidbare stroom- en spanningstransformatoren) voor vermogensmetingen in het elektriciteits- en transmissienetwerk.

- *Meten van (biologische) vloeibare brandstofmengsels*

VSL werkt aan de ontwikkeling van referentiematerialen voor biofuels.

- *Meten van (biologische) gasvormige brandstofmengsels*

VSL werkt aan de ontwikkeling van referentiematerialen voor de chemische samenstelling van gasvormige brandstofmengsels.

- *Meten van verbrandingswaarde van gasvormige brandstofmengsels*

Zie het vorige punt: VSL werkt aan de ontwikkeling van referentiematerialen voor de chemische samenstelling van gasvormige brandstofmengsels. Hieruit kan de verbrandingswaarde afgeleid worden. Het accent ligt niet op het direct meten van de verbrandingswaarde zelf.

- *Meten van volumestromen onder cryogene condities*

VSL werkt aan de ontwikkeling van een primaire standaard voor LNG (binnen het werkgebied Volumetrie).

7.2.4 Veiligheid (Safety en Security)

Dit gebied is niet door EZ aangemerkt als aandachtspunt. De Raad heeft onderzoek laten doen naar de relevantie van dit gebied voor VSL. Alhoewel er specifieke vragen zijn met betrekking tot aan veiligheidgerelateerde onderwerpen blijkt het niet zinvol hiervoor een afzonderlijk onderzoeksthema op te tuigen. De Raad beveelt aan dit nieuwe gebied voorlopig geen vervolg te geven.

7.2.5 Advanced (High-tech) Systems

Zeer relevante nieuwe ontwikkelingen zijn vooral gelegen in het beheersen van zeer kleine afmetingen bij de steeds vaker toegepaste MEMS-systemen zoals bij Inkjet printing en optische modulatoren. Ook coatings spelen een zeer grote rol waarbij de beheersing van de dikte en samenstelling bepalend is voor de eigenschappen. Vooral dynamische metingen zijn op micrometerschaal zeer moeilijk te realiseren. In dit kader heeft de Raad in de vorige rapportage nieuwe gebieden aanbevolen.

- *Standaarden voor het meten van dunne lagen*

Hier is VSL aan begonnen in het kader van het EMRP-project ‘Metrology for the Manufacturing of Thin Films’, een project uit het werkgebied Lengte.

- *Standaarden voor het meten van afmetingen op micrometerniveau (MEMS)*

Hier is VSL aan begonnen in het kader van het EMRP-project ‘Metrology for Small Structures for the Manufacturing of Electronic and Optical Devices’, eveneens een project uit het werkgebied Lengte. Bovendien participeert VSL sinds 2013 in het FP7-project SNM: “single nanometer manufacturing for beyond CMOS devices”.

- *Standaarden voor het meten van dynamische verschijnselen op micrometerniveau (trillingen, krachten, versnellingen)*

VSL werkt aan diverse nieuwe ontwikkelingen op het gebied van nano- en microtechnologie, zoals bijvoorbeeld een picodriftmeter en een Scanning Probe Microscope (SPM) . Trillingen en (kleine) krachten en versnellingen spelen hierbij in een aantal gevallen een rol, maar vormen geen aparte onderzoekslijn.

- *Ultrakort gepulst licht en optische standaarden voor tijdsafhankelijke signalen uit moderne lichtbronnen*

VSL werkt aan de ontwikkeling van een meetfaciliteit voor gepulste LED-verlichting.

- *Kleurmetingen*

EZ heeft geconcludeerd: “er is nog steeds weinig vraag vanuit de markt en daarom zal dit op dit moment niet direct worden opgepakt.”

- *Soft Metrology*

EZ heeft geconcludeerd: “dit staat nog aan het begin van de ontwikkeling”. Gezien de andere punten die de Raad heeft aangedragen zullen ook op dit onderwerp geen acties worden ondernomen.”

8 Metrologische Infrastructuur

Bij de rapportages van VSL wordt ook ingegaan op het thema Infrastructuur. Hiermee wordt bedoeld de relatie van VSL met de andere Europese metrologie-instituten en de deelname van VSL aan (internationale) symposia. In dit hoofdstuk Metrologische Infrastructuur wordt echter met name gekeken hoe de taken zoals door EZ geformuleerd door VSL worden uitgevoerd.

Eén van de taken van de Raad is ook te adviseren bij welk instituut, of bij welke instituten, de uitvoering van het beheer van de standaarden en de ontwikkeling van de standaarden worden uitgevoerd. Sinds de privatisering doet VSL deze activiteiten. Globaal wordt hier ingegaan op zowel de inhoud als op de daarmee samenhangende kostenstructuur.

8.1 Inhoud

Op basis van bezoeken van de Raad en haar individuele leden aan VSL en op basis van rapportages door VSL en de bespreking daarvan, komt de Raad tot de conclusie dat de inhoudelijke aspecten van de metrologie professioneel door VSL worden uitgevoerd. Dit wordt tevens bevestigd door een self-assesment gevolgd door een peer review die in 2006 hebben plaats gevonden. Er is geen reden voor de Raad om EZ te adviseren verandering in de situatie aan te brengen. Wel is de Raad van mening dat VSL zich nog meer dan nu het geval is zou kunnen richten op samenwerking met universiteiten, hogescholen en ander kennisinstituten.

Tweederde van de activiteiten die VSL uitvoert wordt door EZ gefinancierd, éénderde komt van extern. De vraag wat een goede verhouding is, is lastig te beantwoorden. Enerzijds is contact met de markt nuttig en is het door extra omzet mogelijk een kritische massa te behouden. Anderzijds heeft veel en minder hoogwaardig werk geen toegevoegde waarde terwijl er wel management aandacht voor nodig is. Vooralsnog is de Raad van mening dat de huidige balans in orde is. Hoogwaardig consultancy werk heeft volgens de Raad een duidelijke toegevoegde waarde. Hierin kan VSL nog groeien.

8.2 Kostenontwikkeling

De figuren 5 en 6 geven de budgetontwikkeling van VSL weer vanaf het jaar 2005, in termen van respectievelijk geld en SBO-uren. Verder is in deze figuren een prognose voor de jaren 2013-2015 opgenomen.

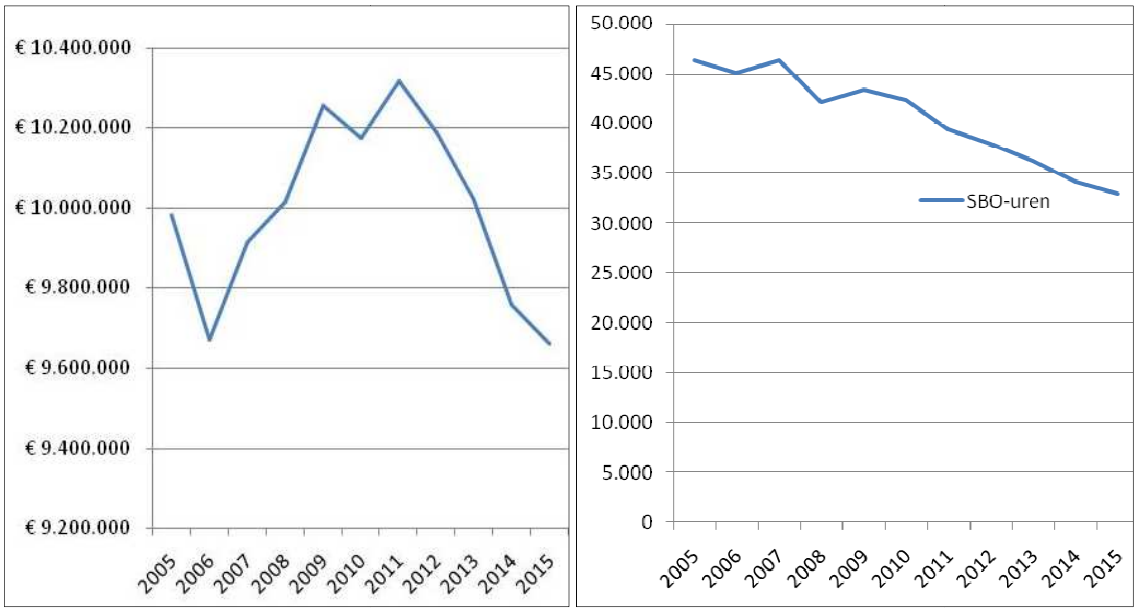


Fig. 5. Budgetontwikkeling VSL; links budget SBO + Research; rechts SBO uren. Bron: VSL 2013.

Het is duidelijk dat bij ongewijzigd beleid VSL in de problemen raakt in die zin dat substantiële onderdelen niet meer op het gewenste niveau kunnen worden uitgevoerd, dan wel geheel moeten worden afgestoten. De Raad ziet met grote zorg deze ontwikkeling tegemoet en adviseert met kracht, onderbouwd door de argumenten en adviezen in deze rapportage, om te bevorderen dat deze trend wordt omgebogen.

9 Speerpunten en prioritering

In dit visie document wordt een aantal adviezen uitgebracht (hoofdstuk 2). De vraag lijkt gerechtvaardigd of hierin een volgorde qua prioriteit aan gegeven kan worden. Bij de prioriteitsstelling kunnen de volgende factoren betrokken worden:

- uitgangspositie technologie (dus positie VSL)
- positie Nederland versus rest Europa (als daar reeds ontwikkelingen zijn opgepakt, hoeft Nederland dat mogelijk niet te meer te doen)
- ontwikkelingen in de toekomst
- relatie met de industrie in Nederland
- belang in de toekomst
- benodigde hoeveelheid geld
- benodigde hoeveelheid menskracht

De Raad is van mening dat geen tijd verloren kan worden met de introductie van gastdocenten (vanuit VSL) bij universiteiten (zie advies 1). VSL zal hierbij het voortouw nemen. In eerste instantie zal daarvoor geen extra budget beschikbaar zijn. Echter, naar de mening van de Raad, kan VSL met kleine verschuivingen dit doel op beperkte schaal toch bereiken. Extra personeel is niet noodzakelijk: binnen VSL zijn zeer gekwalificeerde medewerkers die hiertoe een eerste aanzet kunnen geven. De verwachting is dat, bij een succesvolle start, door samenwerking en andere subsidiebronnen extra subsidies hiervoor beschikbaar komen.

Voorts blijft aansluiting bij Europese speerpunten hoog op de agenda staan, omdat dit een steeds belangrijkere bron van inkomsten kan opleveren.

Afkortingen

Afkorting	Betekenis
AFM	Atomic Force Microscope
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
BNP	Bruto Nationaal Product
CAM	Computer Aided Manufacturing
CCD	Charge-Coupled Device
CCPR	Consultative Committee for Photometry and Radiometry
CMM	Coördinaten Meetmachine
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
CRDS	Cavity Ring Down Spectroscopy
CT	Computer Tomografie
DC	Direct Current (gelijkspanning, -stroom)
EANM	European Association of Nuclear Medicine
EFT	Electric Fast Transient
EMC	Electro Magnetic Compatibility
EMPIR	European Metrology Programme for Innovation and Research
EMRP	European Metrology Research Programme
EORTC	European Organisation for Research and Treatment of Cancer
ERA	European Research Area
ESA	European Space Agency
ESD	Electrostatic Discharge
EU	Europese Unie
EURAMET	European Association of National Metrology Institutes (vanaf januari 2007 opvolger van EUROMET)
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards (samenwerkingsverband tot 2007)
EVA	Europese Vrijhandelsassociatie
EZ	Economische Zaken (Ministerie)
FOM	Fundamenteel Onderzoek der Materie (Organisatie)
FP7	Framework Program 7 (EU Kaderprogramma voor Onderzoek en Technologische Ontwikkeling)
GHG	Greenhouse Gases
GPS	Global Positioning System
HBO	Hoger Beroepsonderwijs
HDR	High dose-rate
HF	Hoogfrequent
HV	High Voltage
IC	Integrated Circuit
iMERA	implementing Metrology in the European Research Area Pilot onderzoeksproject (voorloper EMRP)
IOP	Innovatiegerichte Onderzoeksprogramma's
ITS	International Temperature Scale
JRC	(European) Joint Research Centre
KP7	(Europees) Kaderprogramma 7
KVI	Kernfysisch Versneller Instituut
LDR	low dose-rate
LED	Licht-emitterende diode (Light Emitting Diode)
LNG	Liquefied Natural Gas
MC	Medisch Centrum
MDV	Massa, Druk, Viscositeit
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
MERA	Metrological European Research Area (begrip)
MR	Magnetic Resonance
MRI	Magnetic Resonance Imaging

NCS	Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie
NIST	National Institute of Standards and Technology (USA)
NKI-AVL	Nederlands Kanker Instituut / Antoni van Leeuwenhoek
NMI	National Metrology Institute
NMi	Nederlands Meetinstituut
NPL	National Physical Laboratories (UK)
NWO	Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek
OLED	Optical Light Emitting Diode
PET	Positron Emission Tomography
PMU	Phasor Measurement Unit
PQ	Power Quality
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
R&D	Research and Development (begrip)
REG	Researcher Excellent Grant
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RMO	Regionale Metrologie Organisatie
RV	Relatieve vochtigheid
RvA	Raad voor Accreditatie
SBO	Standaard Beheer Overeenkomst
SEM	Scannin Electron Microscope
SI	Système Internationale des Unités
SNM	Single Nanometer Manufacturing
SPM	Scanning Probe Microscope
STW	Technologiestichting STW (vh Stichting voor Toegepaste Wetenschappen)
TC	Technical Committee
TNO	Technisch Natuurkundig Onderzoek (instituut)
TOM	Twents Onderwijsmodel
TU/e	Technische Universiteit Eindhoven
TUD	Technische Universiteit Delft
UD	Universitair Docent
UHD	Universitair HoofdDocent
UMCU	Universitair Medisch Centrum Utrecht
UT	Universiteit Twente
UV	Ultraviolet
VS	Verenigde Staten (van Amerika)
VSL	Van Swinden Laboratorium
VUmc	Medisch Centrum (Academisch Ziekenhuis Vrije Universiteit Amsterdam)
VWS	Volksgezondheid, Welzijn en Sport (Ministerie)
WTP	Water Tripel Point

Geraadpleegde bedrijven

(Chemie): T.b.v. de update werden twee bedrijfsbezoeken Bij Shell (Amsterdam) en DSM (Delft/Geleen)

(Tijd en frequentie) T.b.v. de update werd een bedrijfsbezoek afgelegd aan het NLR

(Elektriciteit) T.b.v. de update werden diverse netbeheerders in Nederland geconsulteerd alsmede de Technische Universiteit Eindhoven

(Lengte, Massa en Advanced (High Tech) Systems) T.b.v. de update zijn diverse bronnen geraadpleegd en gebruikt: TU/e, TUD, RvA, VSL, NPL, Euramet (TC-lengte en TC-massa), ASML en toeleveranciers High Tech systems.

Deze lijst is niet uitputtend: een aantal bronnen willen niet met name genoemd worden.