

RAAD VAN DESKUNDIGEN VOOR DE NATIONALE MEETSTANDAARDEN

INGESTELD BIJ DE METROLOGIEWET, ARTIKEL 4 (STB. 2 FEB, 2006)

STRATEGIE VISIE STANDAARDENBEHEER

Uitgangspunten voor een strategisch vierjarenplan
voor de periode 2009 – 2012

Joseph Braat
Peter Bus
Jankees Hogendoorn
Henk Leegwater
Rob Munnig Schmidt
Ben Mijnheer
Elly Plooij
Paul Regtien
Yvonne Veldhuizen

Advies aan de Minister van Economische Zaken
Juni 2008

Colofon

Dit advies is opgesteld door:
De Raad van deskundigen voor de nationale standaarden.

Bestaande uit:

| | |
|--------------------------------|------------|
| dr. P.C. Plooiy - van Gorsel | voorzitter |
| prof. dr. J. Braat | TUD |
| ir. P.G.A. Bus | Kema |
| dr. ir. C.J. Hogendoorn | Krohne |
| prof. ir. H. Leegwater | TU/e |
| prof. ir. R. H. Munnig Schmidt | TUD |
| dr. B. Mijnheer | NKI |
| prof. dr. ir. P.P.L. Regtien | UT |
| dr. Y.S.J. Veldhuizen | Unilever |

Het secretariaat van de Raad is gevestigd bij:
SenterNovem
t.a.v. dr. C. J. Wentink (secretaris)
Postbus 93144
2509 AC Den Haag
Tel. 070 373 5344
Fax 070 373 5100

1 Inhoud

| | | |
|------|---|----|
| 1 | Inhoud | 3 |
| 2 | Samenvatting en aanbevelingen..... | 5 |
| 2.0 | TOPPRIORITEIT | 6 |
| 2.1 | Chemie | 6 |
| 2.2 | Elektriciteit en magnetisme | 7 |
| 2.3 | Tijd en frequentie | 7 |
| 2.4 | Ioniserende straling..... | 8 |
| 2.5 | Massa en gerelateerde standaarden..... | 8 |
| 2.6 | Geometrie en dynamische lengtemeting (versnelling)..... | 9 |
| 2.7 | Thermometrie en vochtigheid..... | 10 |
| 2.8 | Optische standaarden | 10 |
| 2.9 | Volumetrie..... | 11 |
| 2.10 | Samenwerking | 11 |
| 2.11 | Kosten en Infrastructuur..... | 12 |
| 3 | Voorwoord | 15 |
| 4 | Basisbegrippen metrologie | 17 |
| 4.1 | Terminologie en begrippen | 17 |
| 4.2 | Doel standaarden..... | 20 |
| 5 | Omgevingsanalyse | 21 |
| 5.1 | Internationale ontwikkelingen | 22 |
| 5.2 | Europese ontwikkelingen | 23 |
| 5.3 | Nederland | 26 |
| 5.4 | Samenwerking NMI-VSL met universiteiten en hogescholen..... | 29 |
| 5.5 | Metrologie onderwijs in Nederland | 33 |
| 6 | Huidige situatie en ontwikkelingen van standaarden..... | 35 |
| 6.1 | Chemie | 37 |
| 6.2 | Elektriciteit en magnetisme | 39 |
| 6.3 | Tijd en frequentie | 43 |
| 6.4 | Ioniserende straling..... | 44 |
| 6.5 | Massa en gerelateerde standaarden..... | 49 |
| 6.6 | Geometrie en dynamische lengtemeting | 51 |
| 6.7 | Thermometrie en vochtigheid..... | 54 |
| 6.8 | Optische standaarden | 57 |
| 6.9 | Volumetrie..... | 60 |
| 7 | Nieuwe gebieden..... | 63 |
| 7.1 | Milieu en Chemie | 64 |
| 7.2 | Voeding en Gezondheid..... | 65 |
| 7.3 | Energie | 67 |
| 7.4 | Veiligheid (Safety en Security) | 68 |
| 7.5 | Advanced Systems | 70 |
| 8 | Metrologische Infrastructuur | 73 |
| 8.1 | Inhoud..... | 73 |
| 8.2 | Kostenstructuur..... | 74 |
| 8.3 | Conclusie | 75 |
| 9 | Speerpunten en prioritering | 77 |
| 10 | Afkorting | 79 |

2 Samenvatting en aanbevelingen

Het vakgebied metrologie kan opgedeeld worden conform de zeven SI-eenheden voor lengte, massa, tijd, elektrische stroom, hoeveelheid stof, temperatuur en lichtsterkte. Vanuit de historie bezien is deze opdeling logisch. Technische, economische en maatschappelijke activiteiten hebben echter meer en meer een multidisciplinair karakter gekregen; de onderliggende basisgebieden raken sterk verweven, zij omvatten steeds vaker combinaties van basisgrootheden, en daarmee van metrologische standaarden.

Voor het belang van Nederland, waar het Ministerie van Economische Zaken voor staat, gaat het vooral om het nut en de toepassing van standaarden.

Vandaar dat de raad het zinvol vindt om de metrologie te gaan bekijken vanuit maatschappelijke thema's. Op basis van de omgevingsanalyse en op basis van de thema's uit het 7e kaderprogramma van de EU komt de Raad tot de volgende indeling:

- Milieu en chemie
- Voeding en gezondheid
- Energie
- Safety en security
- Advanced systems

In Hoofdstuk 7 Nieuwe Gebieden wordt deze indeling aangehouden. Dit hoofdstuk betreft vooral ontwikkelingen over de tijdshorizon van vier jaar. Hieruit volgen nog geen concrete aanbevelingen. Deze Raad beveelt wel aan om deze ontwikkelingen door de nieuwe Raad verder te laten uitwerken en concretiseren.

Voor de rest van het rapport wordt van de oude indeling uitgegaan:

1. Chemie
2. Elektriciteit en magnetisme
3. Tijd
4. Ioniserende straling
5. Massa en gerelateerde standaarden
6. Geometrie en dynamische lengtemeting (versnelling)
7. Thermometrie en vochtigheid
8. Optische standaarden
9. Volumetrie

Daarnaast worden aanbevelingen gedaan ten aanzien van nationale en internationale samenwerking, alsmede op het gebied van infrastructuur en kosten.

2.0 TOPPRIORITEIT

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 fors teruggelopen. Zo heeft de TU/e helemaal geen hoogleraar meer die zich nog met het vakgebied metrologie bezighoudt. Ook maatschappelijk gezien gaat het de verkeerde kant uit. In communicatie, zoals in kranten, maar ook in brochures worden verkeerde of zelfs foute eenheden gebruikt. Gezien de industriële en maatschappelijke ontwikkelingen neemt het belang van de metrologie juist toe. Vandaar dat de Raad als eerste prioriteit aanbeveelt het instellen van een full time leerstoel Algemene Metrologie om het vakgebied weer op de kaart te krijgen. De betreffende hoogleraar is het geweten voor de Metrologie in Nederland. Vanuit deze leerstoel worden de noodzakelijke ontwikkelingen op het gebied van onderwijs en onderzoek gestimuleerd en deels ook uitgevoerd.

Advies 1

Richt een leerstoel in, inclusief een full time hoogleraar, op het gebied van de Algemene Metrologie aan één van de technische universiteiten.

Om de metrologie maatschappelijk nog meer verankerd te krijgen wordt voorgesteld een Nederlands "Platform Metrologie" op te richten naar voorbeeld van andere, gelijkwaardige platforms zoals het platform Sensortechnologie.

Advies 2

Richt een Nederlands "Platform Metrologie" op.

2.1 Chemie

De chemische standaarden vormen een zeer breed werkgebied. NMI-VSL heeft internationaal gezien een toppositie op het gebied van gasanalyses.

Advies 3

Blijf investeren op het gebied van gasanalyses om zo de toppositie te kunnen blijven behouden.

Naast de technologische ontwikkelingen met betrekking tot lagere detectiegrenzen en hogere nauwkeurigheden, zal ook geïnvesteerd moeten worden in nieuwe toepassingen van gas analyses.

Advies 4

Investeer in nieuwe toepassingen van gasanalyses

Deze toepassingen zijn vaak milieu gerelateerd, denk bijvoorbeeld aan uitstoot van gassen en fijnstof en de toepassing van nieuwe grondstoffen voor de opwekking voor energie, zoals biodiesel en biomassa.

Buiten de gasanalyses, staan de chemische standaarden nog in de kinderschoenen, zeker in Nederland. Een belangrijke oorzaak hiervan zijn ongetwijfeld de matrix

effecten die in chemische analyses een grote rol spelen. Hierdoor is het moeilijk om herleidbaarheid te leveren.

Desalniettemin verdient het aanbeveling om op een selectief aantal gebieden te gaan investeren in de ontwikkeling van chemische standaarden. Deze gebieden moeten geselecteerd worden op basis van hun algemeen belang voor de samenleving, en bovendien hun grensoverschrijdend karakter. Dit laatste omdat door de complexiteit van de chemische standaarden de verwachting is, dat hier alleen vooruitgang kan worden geboekt als er op internationaal niveau wordt samengewerkt.

Advies 5

Start met een verkennende studie voor voedselveiligheid naar de haalbaarheid en toepassing van gecertificeerde referentiematerialen, rekening houdend met de complexiteit van matrixeffecten.

2.2 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 marktvrage te kunnen blijven voldoen.

Advies 6

Breng de faciliteiten op peil voor:

- *het meten van de kwaliteit van het vermogensnet, met name fasemetingen (mogelijk in samenwerking met NRC-Canada).*
- *EMC metingen bij hogere frequenties tot 6 GHz.*

Advies 7

Ontwikkel de volgende speerpunten van wetenschappelijk onderzoek:

- *Quantumgebaseerde standaarden (spanning, stroom, DC en AC)*
- *geavanceerde meetmethoden voor wisselspanning en –stroom.*

2.3 Tijd en frequentie

Met betrekking tot de tijdstandaard dient NMI-VSL door te gaan met onderhoud en verbeteringen zoals ingezet in het verleden, waarbij de koppeling met andere standaarden (lengte, “frequency comb”) moet worden voortgezet.

Advies 8

Doe geen zelfstandig onderzoek aan nieuwe standaarden, zoals gekoelde atomen.

Advies 9

Heroverweeg de huidige situatie indien er een discontinuïteit optreedt in de vereiste installatie, de competentie, of kennis bij NMI-VSL.

2.4 Ioniserende straling

De nieuwe vormen van **radiodiagnostiek**, digitale radiografie en interventie radiologie, maken regelmatige kwaliteitscontroles noodzakelijk. Hiervoor dienen nieuwe standaarden en meetmethoden ontwikkeld te worden.

Advies 10

Voor de besluitvorming over de introductie van nieuwe standaarden en meetmethoden in de radiologie is een multidisciplinaire aanpak noodzakelijk waarbij de rol van NMI-VSL afgebakend moet worden.

In de **nucleaire geneeskunde** zijn gestandaardiseerde ijkbronnen nodig voor PET camera's, PET-CT scanners en dosis-kalibratoren.

Advies 11

Ontwikkel een concreet voorstel waarin NMI-VSL samen met de fabrikanten, gebruikers en beroepsverenigingen tot een plan van aanpak komt voor de realisatie van deze gestandaardiseerde ijkbronnen.

In de **radiotherapie** bestaat er behoefte aan meer kwaliteitscontrole "op de werkvloer", zowel wat betreft de verificatie van geavanceerde bestralingstechnieken als in de brachytherapie.

Advies 12

Besluit op basis van de resultaten van een tweetal onderzoeksprojecten op welke wijze NMI-VSL een bijdrage kan leveren aan de standaardisatie van 3D dosimetrie en het gebruik van I-125 bronnen in de radiotherapie instituten.

Advies 13

Onderzoek het gebruik van de watercalorimeter van NMI-VSL voor de kalibratie van protonenbundels.

2.5 Massa en gerelateerde standaarden

Het zwaartepunt van het onderzoek aan massa ligt buiten Nederland. Alleen op het gebied van de afgeleide grootheid viscositeit worden in Nederland nog belangrijke stappen gezet. De huidige activiteiten op massa zijn vooral van service aard en dienen gezien de marktbehoefte en tevredenheid te worden voortgezet.

Advies 14

Continueer het onderzoek op het gebied van viscositeit gezien de belangrijke industrieën (pharma, proces en voeding) die daar mee werken.

Advies 15

Heroverweeg de huidige situatie indien er een discontinuïteit optreedt in de vereiste installatie, de competentie, of kennis bij NMI-VSL

2.6 Geometrie en dynamische lengtemeting (versnelling)

Het verkleinen van de meetonzekerheid van lengte in algemene zin behoeft niet de hoogste prioriteit. Concentratie op specifieke gebieden is nodig.

Advies 16

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).*

Een zeer belangrijk voorbeeld van het eerste gebied is de kalibratie en kwalificatie van meettasters in het micro- en nanometerbereik. De afrondingsstraal en regelmaat van de vorm van een taster bepaalt in sterke mate de nauwkeurigheid van de meting. Met name als te meten objecten van kleinere afmetingen niet meer uit rechte vlakken bestaan, is een eenduidige meting van de vorm steeds complexer.

2.7 Thermometrie en vochtigheid

Om aan de marktvraag te kunnen blijven voldoen dienen de huidige faciliteiten voor herleidbaarheidskalibraties te blijven 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 17

Reviseer de standaard voor de vaste temperatuurpunten, inclusief tripelpunt van water en Ne-standaard.

Advies 18

Ontwikkel methoden voor het meten van vocht in aardgas bij hoge druk.

Advies 19

Sluit het onderzoek aan ruisthermometrie af met wetenschappelijke publicaties.

2.8 Optische standaarden

In de afgelopen jaren heeft op Europees niveau een uitgebreide activiteit plaatsgevonden voor het creëren en vergelijken van afgeleide nationale optische standaarden. Een sterke positie is 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 20

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

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

Advies 21

Ontwikkel metrologische en spectroscopische kennis en kunde op het gebied van solid-state verlichting met behulp van LED's en lasers.

2.9 Volumetrie

Er wordt op Europees en internationaal niveau op steeds grotere schaal geïnvesteerd in standaarden voor volumetrie voor zowel gas als vloeistof. In Nederland wordt Euroloop gebouwd, ter vervanging van de kalibratiefaciliteiten 'Westerbork' en 'Bergum'. Naast hoge druk aardgas zal er ook de mogelijkheid ontstaan voor het kalibreren op minerale oliën met hoge debieten. Op deze wijze kan Nederland haar sterke internationale positie op dit terrein nog verder verstevigen.

Parallel wordt er een toenemende ontwikkeling waargenomen richting het indirect meten (via debiet) van energiestromen van wijd uiteenlopende aard zoals:

- Vermogensproductie van energie/kerncentrales
- Stoom als energiedrager in (petro)chemische kraakprocessen
- Biobrandstoffen, biogassen en waterstof
- Vloeibaar gemaakte gassen bv. Liquefied Natural Gas (LNG)(-163°C)

Steeds meer zal er behoefte ontstaan om energiestromen op herleidbare wijze te meten.

Advies 22

Voer een (markt)studie uit om te bepalen of de ontwikkeling van standaarden op het gebied van stoom als energiedrager, Compressed Natural Gas (CNG), biobrandstoffen, waterstof en biogassen voor Nederland van belang is.

In de industrie vindt een uitbreiding van debietmetingen plaats naar zeer lage debieten (orde pm^3/s). Het is aan te bevelen de bestaande gasinstallatie herleidbaar te maken naar de internationale standaarden. Tevens is het raadzaam om de marktbehoefte naar zeer lage debieten voor vloeistoffen te blijven peilen.

Advies 23

Maak de huidige gasinstallatie voor zeer lage debieten ($10 \text{ pm}^3/\text{s} - 10 \text{ nm}^3/\text{s}$) herleidbaar naar internationale standaarden. Blijf de marktbehoefte naar een standaard voor nog lagere debieten ($0.1-1 \text{ pm}^3/\text{s}$) voor vloeistof peilen.

2.10 Samenwerking

Europa levert collectief de grootste bijdrage en is tevens de grootste deelnemer in het wereld metrologie programma. Deze investering is van significante invloed op de economie en de levenskwaliteit in Europa. Econometristen schatten dat iedere Euro geïnvesteerd in meetactiviteit drie Euro als direct geschatte baten genereert. EURAMET, opgericht op 11 januari 2007 in Berlijn, coördineert de samenwerking van Nationale Metrologie Instituten (NMI) van Europa op terreinen als onderzoek, herleidbaarheid van metingen tot SI eenheden, internationale erkenning van nationale meetstandaarden alsmede de kalibratie- en meetcapaciteiten van zijn leden. EURAMET is ook verantwoordelijk voor de uitwerking en uitvoering van het European Metrology Research Programme (EMRP), de opvolger van iMERA. Het EMRP heeft als hoofddoel de ontwikkeling van de metrologie als een multidisciplinaire wetenschappelijke discipline significant te versnellen en te

verbreden. Verbinding met de geschikte thema's binnen FP7 (EU Kaderprogramma voor Onderzoek en Technologie) zijn voorzien. Binnen het onderdeel Capacity Building voorziet het EMRP in zowel verspreiding als opbouwen van capaciteit binnen deze landen en maakt tegelijkertijd gebruik van de aanwezige expertise. Op termijn zal deze samenwerking leiden tot een efficiënte verdeling van werkzaamheden op basis van expertise en capaciteit.

Advies 24

Continueer de deelname aan iMERA projecten vanuit NMI-VSL

Binnen Nederland is NMI-VSL het centrum dat de Nederlandse standaarden in opdracht van EZ beheert en ontwikkelt. Ten aanzien van deze ontwikkeling is het dringend gewenst om meer aansluiting te vinden bij de hogescholen en universiteiten. Probleem is echter dat op de drie Technische Universiteiten de aandacht voor dit vakgebied fors is teruggelopen. Binnen Europa profileert Nederland zich op twee gebieden en speelt daarin een toonaangevende rol: chemische standaarden en volumetrische standaarden. Deze profilering komt overeen met het belang hiervan voor de Nederlandse industrie. Op basis van de hierboven beschreven situatie wordt geadviseerd om vanuit de technische universiteiten het vakgebied metrologie verder gestalte te geven middels het instellen van drie deeltijdleerstoelen naast de eerder genoemde voltijdsleerstoel (Advies 1).

Advies 25

Stel een parttime hoogleraar aan op het gebied van de chemische standaarden

Advies 26

Stel een deeltijdhoogleraar aan op het gebied van de volumetrische standaarden

2.11 Kosten en Infrastructuur

Ten opzichte van andere sterk geïndustrialiseerde landen in Europa, zit Nederland aan de onderkant als het gaat om overheidsfinanciering voor de ontwikkeling en het beheer van standaarden.

Advies 27

Verhoog het metrologiebudget in Nederland naar het niveau van Frankrijk, Finland en Italië).

EZ laat mede op advies van de Raad van deskundigen voor de nationale standaarden het beheer en ontwikkeling van standaarden uitvoeren door NMI-VSL. In 2006 (rapportage in 2007) heeft een externe audit plaatsgevonden waaruit blijkt dat NMI-VSL het wat kwaliteit betreft goed doet.

Wat kosten betreft heeft de Raad zelf een vergelijk getrokken met een technische universiteit, een instituut en met ingenieursbureaus. Wat uurkosten betreft is NMI-VSL vergelijkbaar met raadgevende ingenieursbureaus. Ook het directe urenpercentage komt daarmee overeen. Echt afwijkend zijn de relatief hoge huisvestingskosten, die te maken hebben met de nieuwe huisvesting die in 2005 is

betrokken. Vandaar ook dat de Raad met een gerust hart het volgende advies uitbrengt.

Advies 28

Continueer de uitvoering van het beheer en ontwikkeling van standaarden van de huidige portfolio bij NMI-VSL.

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 2009-2012.

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.

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 NMi-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 NMi-VSL een marktpartij. Toch is het gekunsteld steeds deze scheiding aan te brengen. De Raad acht het bovendien onlogisch aan de mogelijkheden van NMi-VSL voorbij te gaan, mede gezien haar conclusie (zie hoofdstuk 8), dat het beheer en ontwikkeling van de standaarden bij NMi-VSL in goede handen is. 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: meten, grootheden, eenheden, standaarden, referenties, meetonzekerheid, kalibratie en herleidbaarheid. Bovendien wordt het relatief nieuwe metrologisch begrip *soft metrology* gedefinieerd. De betekenis van dit begrip is (nog) niet volledig uitgekristalliseerd. Het is echter een gebied dat in de toekomst een belangrijke rol gaat spelen en ook consequenties zal hebben voor de te maken keuzes. In hoofdstuk 7 “Nieuwe gebieden” wordt *soft metrology* nader uitgewerkt. Verder wordt ingegaan op het belang van de standaarden.

4.1 Terminologie en begrippen

Meten is het op objectieve en experimentele wijze toekennen van getallen of symbolen aan eigenschappen van objecten en gebeurtenissen met het doel deze te beschrijven¹.

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;
- 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.

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.

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 grootte.
- *Primaire standaard*, aangewezen of alom erkend als standaard met de hoogste metrologische kwaliteit en waarvan de waarde aanvaard wordt zonder verwijzing naar andere standaarden van dezelfde grootte.
- *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.

Elke meting gaat gepaard met *onzekerheid*, de exacte waarde van een grootte 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 meetgrootte kunnen worden toegekend, karakteriseert, bijvoorbeeld de *standaardafwijking* (of een bepaald veelvoud daarvan), of de helft van een interval dat een bepaald *betrouwbaarheidsniveau* bezit.

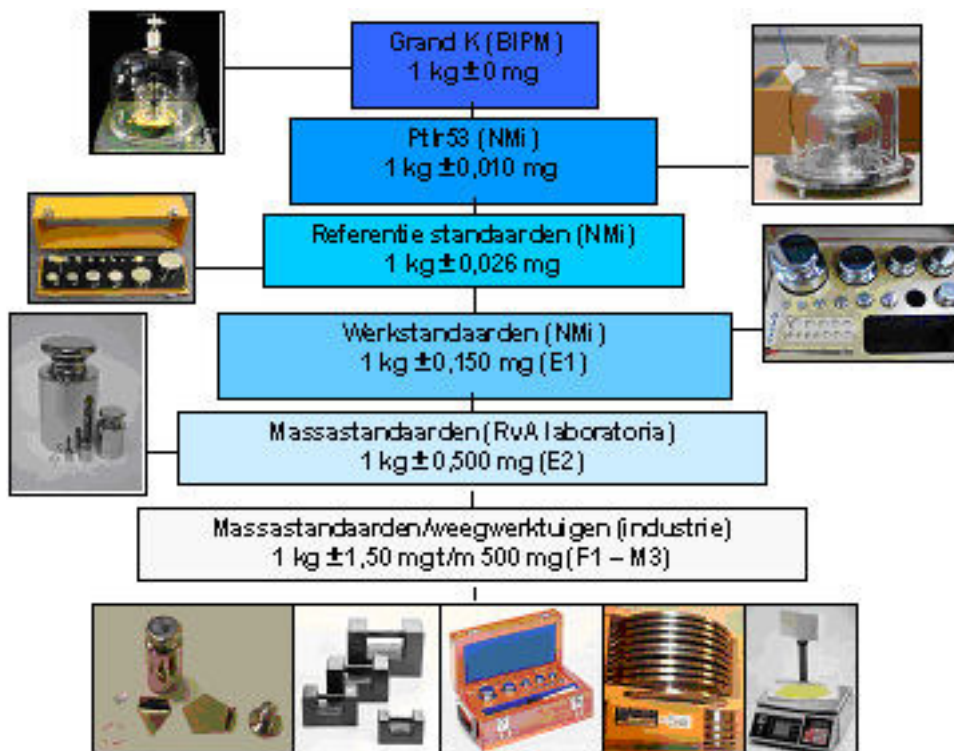
Kalibratie²: het geheel van handelingen dat onder gegeven omstandigheden het verband vastlegt tussen de door een meetinstrument of meetsysteem aangewezen waarden van grootheden - of de door een stoffelijke maat of een referentiemateriaal

² Er is verschil tussen kalibreren en ijken. Volgens de VIM (en vertaald naar de Nederlandse praktijkrichtlijn NPR 2814 van 1999) is kalibratie het geheel van handelingen die onder gegeven omstandigheden het verband vastleggen tussen de door een meetinstrument of meetsysteem aangewezen waarden van grootheden, of de door een stoffelijke maat of referentiemateriaal vertegenwoordigde waarden, en de overeenkomstige door standaarden vertegenwoordigde waarden. Ijken wordt in de VIM niet expliciet beschreven; het is een verouderde term, waarmee bedoeld wordt (NEN 2649:1981) het vaststellen of het meetmiddel of referentiemateriaal geheel voldoet aan de bij de aard van het onderzoek behorende en op het tijdstip van de vaststelling geldende voorschriften. In geen van beide gevallen wordt ingegrepen in het instrument of object; een dergelijke handeling heet justeren: handeling bedoeld om het meetinstrument gebruiksklaar te maken.

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 grootte 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.



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 meetgrootte 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.

Soft metrology kan worden gedefinieerd als objectieve metingen toegepast op grootheden die doorgaans worden waargenomen via menselijke zintuigen.

Bij gebruiksproducten kan het bijvoorbeeld gaan om kleur, glans en zachtheid. Bij voedsel kan reuk, smaak, mondgevoel en/of kleur een belangrijke rol spelen. Zie verder in hoofdstuk 7 "Nieuwe gebieden".

4.2 Doel 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.

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 meetgebieden (Measurement ranges) 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 metrologie ontwikkeling, 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 NMI-VSL met universiteiten en hogescholen
- het metrologie onderwijs in Nederland

5.1 Internationale ontwikkelingen

In 1958 is een internationale organisatie, IMEKO (International Measurement Confederation), opgericht met het doel om op wereldschaal de kennisoverdracht te bevorderen van wetenschappelijke en technische informatie op het gebied van Meettechniek en Instrumentatie en het stimuleren van internationale samenwerking tussen wetenschappers en ingenieurs bij industrie en instellingen. Sinds januari 2006 vertegenwoordigt NMI-VSL het Nederlandse lidmaatschap van IMEKO. Begin 2007 waren er 36 landen lid. Het lidmaatschap bestaat uit een vertegenwoordiging door één nationale organisatie per land (de MO – *member organization*). De gezamenlijke MO's vormen de GC (*General Council*), het hoogste bestuursorgaan van IMEKO. Er zijn thans 24 technische comités (TC's) die elk een specifiek terrein van de metrologie bestrijken. De TC's organiseren symposia, workshops en andere activiteiten die bijdragen aan de doelstellingen van IMEKO. Eens in de drie jaar organiseert IMEKO een "World Congress". Het meest recente (XVIII-de) congres vond plaats van 17-22 september 2006 in Rio de Janeiro. Naast het geven van presentaties (mondeling en posters) en het uitgeven van Proceedings worden tijdens de congressen "Round Tables" georganiseerd waarin over actuele metrologische onderwerpen wordt gediscussieerd.

Omdat in de TC's zowel medewerkers van nationale standaardlaboratoria als universitaire onderzoekers uit de diverse lidstaten zitting hebben, vormt IMEKO een uitstekende katalysator voor het wetenschappelijk onderzoek in de metrologie en is een platform voor kennisuitwisseling tussen metrologische instituten en organisaties voor wetenschappelijk onderzoek.

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 huidige toenemende eisen voor nauwkeurige metingen in zowel nieuwe vakgebieden als in traditionele gebieden het vermogen van de NMI's en het BIPM overstijgen. Duidelijk is dat geen enkel NMI in staat is de hele range van noodzakelijke meetstandaarden en diensten te leveren en dat netwerken en nauwe samenwerking van NMI's over de hele wereld onontkoombaar is. En ofschoon samenwerking bij wetenschappelijke vergelijkingen of meetstandaarden heel gebruikelijk is, waren er tot nog toe geen pogingen ondernomen tot strategische onderzoeksplanning. Dit tezamen met de oproep van BIPM (eind 2005) aan de internationale metrologie gemeenschap tot herdefiniëring van de fundamentele eenheden als de Kilogram, de Ampère en de Kelvin met een ambitieus tijdpad, creëerde de urgentie tot lancering van het European Metrology Research Programme (EMRP) waarop verderop in dit rapport wordt ingegaan.

Een voorbeeld van de rol die NMI-VSL vervult in het internationale netwerk van wetenschappelijk onderzoek in de metrologie is de betrokkenheid bij de organisatie van het "13th International Metrology Congress", 18-21 juni 2007 te Lille. NMI-VSL speelt ook een belangrijke rol in het proces van versterking van Europese samenwerking op het gebied van Metrologisch onderzoek. Tijdens het 2006 NCSLI Workshop & Symposium "Metrology's Impact on Society" (Nashville, TN August 6-10, 2006) verzorgde NMI-VSL een presentatie over "The impact of metrology research and development on society", binnen het symposium-thema "EUROMET and iMERA".

5.2 Europese ontwikkelingen

Om onderlinge afstemming van metrologische activiteiten en diensten in Europa te bevorderen en om meer efficiëntie te behalen werd op 1 januari 1988 Euromet (European Collaboration in Measurement Standards) opgericht. EUROMET was een vrijwillig samenwerkingsverband tussen de nationale instituten voor Metrologie (NMIs) in de EU en de EVA, met inbegrip van de Europese Commissie. Uiteindelijk participeerde bijna elke Europese staat in EUROMET. Nieuwe uitdagingen voor Europese metrologie, zoals het bereiken van een hoger niveau van integratie en coördinatie van metrologisch onderzoek, maakten het oprichten van een rechtspersoon voor de coördinatie van Europese metrologie noodzakelijk. Op 1 juli 2007 is EUROMET overgegaan in EURAMET e.V. (European Association of National Metrology Institutes).

EURAMET heeft als doel de bevordering van wetenschap en onderzoek en Europese samenwerking op het gebied van metrologie en coördineert de samenwerking van Nationale Metrologie Instituten (NMI's) van Europa op terreinen als onderzoek, herleidbaarheid van metingen tot SI eenheden, internationale erkenning van nationale meetstandaarden alsmede de kalibratie- en meetcapaciteiten van zijn leden. Zoals eerder vermeld wordt vanuit EURAMET het European Metrology Research Programme (EMRP) gecoördineerd.

Samengevat houdt EURAMET zich bezig met:

- 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.

5.2.1 De Europese positie

Europa levert collectief de grootste bijdrage en is tevens de grootste deelnemer in het wereld metrologie programma. Deze investering is van significante invloed op 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, antifraude projecten en dagelijkse activiteiten bij, dan stijgt dit bedrag aanmerkelijk. Goed besteed geld als we kijken naar de opbrengsten. Econometristen schatten het economische effect dat deze meetactiviteit bijna € 230 miljard aan baten oplevert middels toepassing en de invloed van metrologische kennis op technologische groei. 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.

De Europese Commissie realiseerde zich de enorme kansen voor Europa en organiseerde in 2002 in Warschau een topconferentie met als titel: "An Integrated Infrastructure for Measurement". Commissaris Philippe Busquin benadrukte het belang fragmentatie van onderzoek te voorkomen en riep de metrologiegemeenschap op zich aan te sluiten bij de Europese Research Area (ERA).

In zijn woorden:

"Meten, testen en de definitie van gemeenschappelijke standaarden zijn essentiële bouwstenen voor de totstandkoming van de kenniseconomie die de Europese Unie nastreeft te bouwen. In dit verband is een krachtige Europese metrologische infrastructuur 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 beaamde 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. Dus werd er gezocht naar mechanismen om de Europese metrologie onderzoeksgemeenschap in staat te stellen cruciale activiteiten, die nog niet werden ondersteund als gevolg van budgettaire beperkingen op nationaal niveau, gezamenlijk aan te pakken.

De metrologiegemeenschap reageerde formeel in 2003, toen de Europese Commissie haar steun gaf aan een haalbaarheidsonderzoek (MERA), dat de mogelijkheden voor metrologie in de context van ERA onder de loep nam. Het onderzoek bevestigde dat gezamenlijk R&D essentieel was voor de verscheidene door de overheid gefinancierde nationale meetsystemen om in de toekomst aan de gestelde eisen te kunnen voldoen.

In 2005 lanceerde de Europese Commissie ERA-NET (iMERA) om deze samenwerking mogelijk te maken met als vast doel het realiseren van een Gemeenschappelijk Europees Metrologie Research Programma binnen het 7^e Kaderprogramma voor onderzoek en technologische ontwikkeling (FP7). Het resultaat is dat er overeenstemming is bereikt over de te ontwikkelen structuren, procedures en processen noodzakelijk voor de totstandkoming van het EMRP.

5.2.2 Het European Metrology Research Programme (EMRP)

Het EMRP heeft als hoofddoel de ontwikkeling van de metrologie als een multidisciplinaire wetenschappelijke discipline significant te versnellen en te verbreden.

Deze metrologische discipline is

- instrumenteel voor het innovatieproces binnen de context van zowel de brede onderzoeksgemeenschap, als de voortschrijdende industriële ontwikkeling en
- ondersteunt het EU beleid door te zorgen voor de technische basis van conformiteit metingen en wettelijke vereisten.

Het EMRP focust op drie uitgangspunten:

- Een nieuwe aanpak voor metrologisch onderzoek waarbij “grote uitdagingen” worden benaderd door vanuit de verschillende takken van metrologie onderwerpen van Europees of internationaal belang voor te laten dragen. De sleutelgebieden zijn vastgesteld en 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 directe vragen die gerelateerd zijn aan de fundamentele metrologie aan te pakken, zoals de fundamentele constanten en herdefiniëring van SI eenheden.
- Gerichte R&D binnen een enkele discipline met als doel de nauwkeurigheid van de realisatie en verspreiding van de primaire en secundaire eenheden te verbeteren.

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 opbouwen van capaciteit binnen deze landen en maakt tegelijkertijd gebruik van de aanwezige expertise.

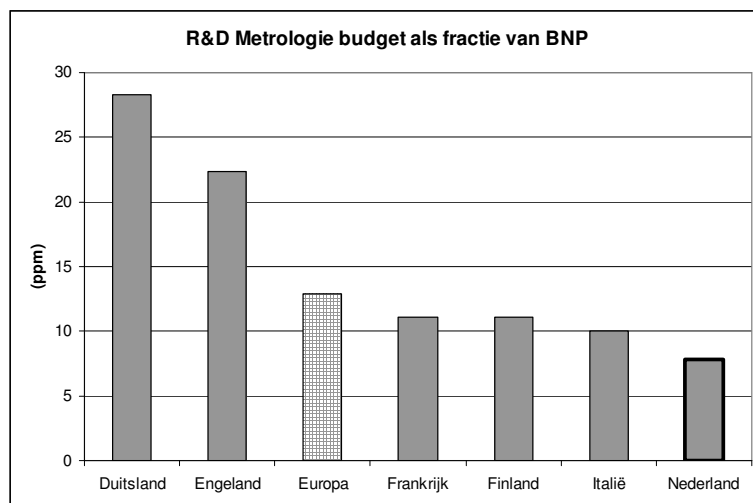
5.3 Nederland

Zoals in hoofdstuk 4 is aangegeven speelt metrologie een belangrijke rol in de industrie, internationale handel en in 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. Zij ervaart echter weinig affiniteit voor de metrologie vanuit de overheid. Deze Raad onderschrijft dan ook de aanbeveling/conclusie van de vorige Raad, zoals verwoord in hun rapport "Strategie Visie Standaardenbeheer - Uitgangspunten voor een strategisch vierjarenplan voor de periode 2004-2007", Hoofdstuk 2 aanbeveling 3: *"Ondanks vele pogingen van de RvD om de aandacht van de overheid te vestigen op het maatschappelijk belang van meetstandaarden is de interesse bij de departementen miniem. Naar de mening van de RvD zou de Raad van State bij de beoordeling van wetten/regelgevingen waarin metingen aan de orde zijn een advies van het VSL verplicht moeten 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 NMI-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 NMI-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 deze grafiek. Nederland besteedt minder geld aan R&D metrologie, uitgedrukt als fractie van het BNP dan Europa gemiddeld en beduidend minder dan Duitsland en Engeland. *Dit botst met de ambitie van Nederland om een Kennisland zijn.*



Bron: iMERA

5.3.1 Relatie NMI-VSL – Nederlands bedrijfsleven

Om uiteenlopende redenen kiezen Nederlandse bedrijven voor NMI-VSL waar het gaat om het (herleidbaar) kalibreren en certificeren van zelfontwikkelde of ingekochte meetapparatuur. Dat gebeurt zelfs in de wetenschap dat NMI-VSL duidelijk hogere tarieven voor de dienstverlening hanteert dan veel andere door de Raad van Accreditatie (RvA) geaccrediteerde bedrijven:

- Deze bedrijven en hun klanten tonen een duidelijke appreciatie en hebben een uitgesproken vertrouwen wanneer hun producten zijn gekalibreerd met apparatuur die door NMI-VSL is gecertificeerd.
- De bedrijven waarderen de zeer klantvriendelijke benadering van NMI-VSL. Dit speelt vooral een rol als het gaat om specifieke, niet-routinematige kalibraties, in gevallen waarbij het bedrijf minder kennis van zaken heeft of wanneer zich bijzondere problemen voordoen. Gebleken is dat NMI-VSL over veel kennis beschikt en zich vooral de laatste jaren open opstelt jegens zijn klanten om die kennis over te dragen. Deze open houding stimuleert wederzijdse kennisuitwisseling (kruisbestuiving).
- Het kalibreren van (secundaire) standaarden gebezigd door Nederlandse bedrijven wordt bij voorkeur uitgevoerd bij het NMI-VSL, omdat vervoer van deze standaarden een delicate aangelegenheid is. Het vervoer gebeurt door eigen mensen, over een zo kort mogelijke afstand en reistijd.

Als het gaat om routinematige kalibraties is er 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 het NMI. Echter, in toenemende mate vindt men in NMI-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 NMI-VSL vanwege de voortdurende bezuinigingen. Men vreest voor het wegvloeien van deze specifieke voor de Nederlandse industrie uiterst relevante kennis. NMI-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.

Metrologie is van groot belang in het gehele innovatietraject (van ideevorming tot marketing), zoals treffend wordt beschreven in het volgende citaat:

“ The Role of Measurement in Innovation: the underpinning or infrastructural role of advanced measurement capabilities is multifaceted. Every phase of research and development (basic and applied research and exploratory development) and the subsequent manufacturing and commercialization stages of innovation require measurement tools and related standards.

During the discovery stage, accepted measurement methods are necessary for interpreting, communicating, replicating, and extending the results of research. At the commercialization end of the spectrum, the role is just as significant.

Market acceptance of new high-technology products may be contingent upon the availability and acceptance of test and measurement methods necessary to verify product performance claims.”

Source: An Assessment of the United States Measurement System: Addressing Measurement Barriers to Accelerate Innovation
NIST Special Publication 1048 (February 2007)

5.3.2 Maatschappelijk gebruik van de standaarden

Om voor de consument duidelijkheid te krijgen, is het van belang dat de juiste eenheden worden gebruikt. Dus niet de eenheid inch om de diameter van beeldschermen in uit te drukken, maar de centimeter, geen pk voor het vermogen van automotoren, maar kW en, zoals recent steeds meer wordt aangetroffen, geen BTU/h (of nog erger: BTU), maar kW voor het vermogen van airconditioning installaties. Overigens geldt dit belang niet alleen voor de consument. Ook in de professionele wereld zijn grote vergissingen gemaakt door het niet correct toepassen van standaarden, bijvoorbeeld het neerstorten van een satelliet op Mars. Ook vanuit de medische professie zijn reeds “narrow escapes” gemeld. De Raad verwijst hierbij ook naar recente reacties van de heren R. Muijlwijk en N. Wortèl (documenten RvD 2289 en RvD2288) over het culturele facet van de meterconventie, waaruit ook een grote zorg blijkt over de prioriteit die de overheid aan de metrologie toekent. Gelet op het bovenstaande en om verder afglijden te voorkomen acht de Raad het aanstellen van een voltijdshoogleraar van groot belang (zie hoofdstuk 6).

5.4 Samenwerking NMI-VSL met universiteiten en hogescholen

5.4.1 Uitgangspunten

Op het gebied van de industriële en wetenschappelijke metrologie profileert NMI-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 te kunnen (blijven) beoefenen is het noodzakelijk de hiervoor benodigde (wetenschappelijke) kennis op peil te houden. Dat is alleen mogelijk door actief bij te dragen aan de wetenschappelijke ontwikkelingen van de metrologie.

Wetenschappelijk onderzoek wordt steeds kostbaarder; daarom moet worden gezocht naar wegen om met de beperkte financiële middelen het wetenschappelijk onderzoek van NMI-VSL te kunnen blijven uitvoeren. Afstemming en samenwerking met andere Europese metrologische instituten vinden reeds plaats. Er bestaan afspraken tussen metrologische instituten over taakverdeling en concentratie van wetenschappelijk onderzoek op een aantal specifieke gebieden van de metrologie. Ook participeert NMI-VSL binnen EMRP. Een andere strategie om NMI-VSL onderzoek een steun in de rug te geven is het intensiveren van de samenwerking met (Nederlandse) universiteiten en andere instellingen van wetenschappelijk onderzoek³. Universiteiten kunnen door het indienen van onderzoeksvorstellen budgetten verwerven voor het doen van wetenschappelijk onderzoek. Via samenwerking met universiteiten kunnen dan ook andere instituten, zoals NMI-VSL, meeprofiteren van deze financiële steun.

Voorts kan zo meer dan tot nu toe een serieuze bijdrage aan het universitaire onderwijs in de metrologie worden geleverd. Tenslotte moet er gezien het nationale belang van de metrologie eerder worden gestreefd naar een ruimer budget vanuit de overheid dan naar een vermindering hiervan. Zoals eerder aangegeven loopt Nederland op het gebied van R&D in de metrologie achter op het gemiddelde in Europa.

5.4.2 Noodzaak tot samenwerking

De nationale overheden en de Europese Unie stellen budgetten beschikbaar voor het verrichten van wetenschappelijk onderzoek. Zowel bedrijven als onderzoeksinstituten kunnen een beroep doen op deze financiële middelen, door het indienen van projectvoorstellen. Voor Universiteiten is dit een belangrijke bron van financiering van het wetenschappelijk onderzoek.

Een bijzondere ontwikkeling ten aanzien van deze financieringsvorm is de voortschrijdende thematisering ervan: alleen voor specifieke programma's kunnen voorstellen worden ingediend. Wil NMI-VSL profiteren van deze financieringsmogelijkheden dan zullen er programma's moeten zijn op het gebied dat door NMI-VSL wordt bestreken, dus de metrologie zelf dan wel thema's die te maken hebben met de kerntaken van NMI-VSL. De huidige programma's bieden helaas weinig mogelijkheden om het lopende en voorgenomen onderzoek van NMI-VSL in onder te brengen. In Hoofdstuk 7 stelt de Raad voor de metrologie te bezien vanuit

³ Waar in dit hoofdstuk sprake is van "Universiteiten" wordt "Universiteiten en Hogescholen" bedoeld.

specifieke maatschappelijke thema's. NMI-VSL kan als niet-universitaire onderzoeksinstituten niet altijd een beroep doen op de nationale fondsen voor wetenschappelijk onderzoek, anders dan in samenwerking met groepen die dat wel kunnen: de onderzoekers aan universiteiten. Daar NMI-VSL als TNO-instituut wordt aangemerkt als kennisinstituut, kan het wel onderzoeksvoorstellen indienen bij o.a. IOP programma's samen met bijvoorbeeld universitaire groepen. Ook kan NMI-VSL projectvoorstellen indienen bij Europese programma's, zij het in samenwerking met instituten uit andere EU-landen. Overigens is in alle gevallen de kans van slagen gering, alleen ijzersterke voorstellen maken een gereede kans om te worden gehonoreerd. Het opstellen van zulke voorstellen kost de aanvrager of coördinator relatief veel tijd, die niet altijd in voldoende mate beschikbaar is.

5.4.3 Voordelen van samenwerking

Door intensivering van de samenwerking met universiteiten kan NMI-VSL beter profiteren van de door overheden beschikbaar gestelde middelen voor onderzoek. Bovendien hebben universitair onderzoekers een ruime ervaring met deze wijze van financiering. Tevens blijken onderzoeksgroepen met een gevestigde reputatie vaak een zekere voorsprong te hebben op "nieuwkomers" in het gekozen programma. Jonge onderzoekers maken daarom vaak gebruik van die voorsprong door in zulke groepen te participeren en van daaruit voorstellen te schrijven.

Op dezelfde manier kunnen de minder bekende partners in een consortium profijt hebben van de samenwerking met partners die reeds een ruime ervaring en reputatie hebben verworven. Uiteraard profiteert deze laatste categorie evenzeer van de inbreng van de andere partners.

Het voordeel van een grotere slaagkans is voor NMI-VSL niet de voornaamste reden voor meer samenwerking met universiteiten. Een goede samenwerking biedt meer voordelen:

- efficiëntere onderlinge en wederzijdse kennisoverdracht (waarmee tevens het metrologie-onderwijs op universiteiten is gediend);
- benutting van onderzoekscapaciteit van de universiteit;
- participatie van studenten voor specifieke opdrachten;
- gebruik van kostbare apparatuur delen;
- gezamenlijke publicaties;
- uitwisseling van opleidingsprogramma's, cursusmateriaal.

Al deze voordelen gelden uiteraard wederzijds.

Voor de universiteiten is overigens ook een belangrijk voordeel weggelegd. Bij alle drie de Technische Universiteiten zijn inmiddels de vakgroepen (leerstoelen) in de Meettechniek of aan Metrologie gelieerde aspecten opgeheven. In Delft gebeurde dat reeds rond 1968, met het vertrek van de toenmalige hoogleraar Meettechniek en Hoogspanningstechniek (Heijn); daar wordt het onderwijs in de Meettechniek tot op de dag van vandaag verzorgd door de leerstoel Elektronische Instrumentatie. Het onderzoek van deze groep concentreert zich evenwel op technologie van sensoren.

Voorts bestond er lange tijd bij de Faculteit Werktuigbouwkunde van de TUDelft een leerstoel Precisietechnologie (van Beek), die ook onderwijs op het gebied van de Mechanische Metrologie verzorgde. Deze leerstoel is bij reorganisaties opgeheven, waarmee wederom een stuk onderwijs in de metrologie in Nederland verdween. Inmiddels is wel op deze plaats een nieuwe hoogleraar benoemd in de precisie mechatronica die ook het vakgebied van de mechanische metrologie heeft opgenomen maar vanwege zeer beperkte middelen zal dit naar verwachting nooit een zwaartepunt worden.

In Eindhoven is bij het emeritaat van de hoogleraar Precision Engineering (Schellekens) in 2004 het onderzoek aan de toegepaste Mechanische Metrologie inclusief de ontwikkeling van precisie meetapparatuur grotendeels gestopt. Op dit moment lopen er nog twee promotieprojecten (in de eindfase) waarin ook NMI-VSL deelneemt. In hetzelfde jaar (2004) is in Twente de leerstoel Meettechniek en Instrumentatie formeel opgeheven.

Met al deze recente ontwikkelingen is de bodem onder het onderwijs in de metrologie aan de Nederlandse universiteiten weggeslagen, waardoor dit onderwijs langzamerhand aan kwaliteit en kwantiteit zal inboeten. Een noodzakelijke voorwaarde om het tij te keren is het instellen van een leerstoel Algemene Metrologie aan één van de Nederlandse universiteiten plus een aantal deeltijdleerstoelen. Door een structurele samenwerking met NMI-VSL wordt voorkomen dat de opgebouwde kennis niet onmiddellijk vervliegt en de Metrologie hopelijk in de Bachelorstudies die aandacht krijgt die ze verdient.

5.4.4 Vormen van samenwerking

Er zijn velerlei vormen denkbaar waarin de samenwerking tussen NMI-VSL en de universiteiten kan worden gegoten. Deze variëren van zeer informeel (bijv. een stageopdracht bij NMI-VSL) tot zeer structureel, zoals benoeming van een deeltijdhoogleraar.

Hieronder worden enkele vormen nader uitgewerkt en gekarakteriseerd.

Stageplaatsen

NMI-VSL creëert stageplaatsen voor studenten van universiteiten. Het voornaamste doel van een stage is de kennismaking met bedrijfsmatig werken. Het begeleiden van stagiaires kost evenwel de nodige tijd en het niveau van het werk is relatief laag. Om die redenen zijn stages minder aantrekkelijk voor NMI-VSL, maar aan de andere kant zijn de kosten laag: hooguit wordt een stagevergoeding betaald.

Afstudeerprojecten (bachelor of master niveau)

Het betreft hier projecten van globaal 6 tot 9 maanden, uitgevoerd door studenten in de laatste fase van hun studie. Het niveau kan hoog zijn (afhankelijk van de kwaliteit van de student), en de kosten zijn laag (in de regel is er geen sprake van een aanstelling van de student). De begeleiding geschiedt zowel door NMI-VSL, als door de universiteit. Een afstudeerproject kan op zichzelf staan (een kortdurend onderzoek op een specifiek probleem uit de metrologie), of is onderdeel van een langduriger project (bijvoorbeeld een promotieproject).

Tweejarige ontwerperopleiding

Aan enkele universiteiten bestaan nog de tweejarige ontwerperopleidingen (TWAIO); studenten (afgestudeerden) volgen één jaar specialistisch onderwijs, gevolgd door een ontwerpopdracht die bij het bedrijf (bijv. NMI-VSL) in een jaar moet worden uitgevoerd. Met de opleiding DTI (= Design and Technology of Instrumentation) van het Stan Ackermans Instituut bij de TU/e zou mogelijk samengewerkt kunnen worden.

Promotieonderzoek

Een promotieonderzoek betreft fundamenteel of toegepast onderzoek gedurende nominaal 4 jaar. Salariskosten ca. 200.000 Euro, bij NWO/STW geheel gesubsidieerd, naast benodigde apparatuur, investeringen en verbruiksgoederen. Bij Europese projecten is een 50% *matching budget* van de totale projectkosten vereist. De promovendus wordt geacht zelfstandig onderzoek te verrichten, onder supervisie van de promotor (altijd van een universiteit). Indien de promovendus is gestationeerd bij een bedrijf (NMI-VSL) dan is de begeleiding een gezamenlijke aangelegenheid van bedrijf en universiteit.

Postdoc

Een gepromoveerde onderzoeker verricht onderzoek of maakt eerder verkregen onderzoeksresultaten praktisch bruikbaar, gedurende een beperkte periode (enkele maanden tot enkele jaren). Subsidiemogelijkheden zijn overeenkomstig als bij een promotieonderzoek. Meestal wordt een postdoc aangesteld bij een universiteit, maar hij/zij kan elders worden gestationeerd.

Deeltijd leerstoel

Een zeer effectieve manier van samenwerking tussen bedrijf en universiteit is het instellen van een deeltijdleerstoel. De meest voorkomende constructie is die waarbij de universiteit een gekwalificeerde medewerker van een bedrijf of kennisinstelling (anders dan een universiteit) benoemt als hoogleraar voor een periode van 3 jaar gedurende 1 of 2 dagen per week. De leerstoel wordt bekostigd door het bedrijf of uit speciale fondsen, ter beschikking gesteld door de universiteit of de betreffende bedrijfsbranche. De hoogleraar begeleidt studenten en promovendi, maar heeft verder een beperkte universitaire taak. Bij bewezen geschiktheid en voldoende budget is herbenoeming mogelijk voor nog één periode. Vanwege de continuïteit en het gebrek aan geschikte kandidaten zijn langere verbintenissen echter zinvol.

Meest aantrekkelijke opties

De mogelijkheid van een deeltijdhoogleraarplaats heeft grote voordelen, maar is voor NMI-VSL, indien al haalbaar, wellicht lastiger te financieren. Voor NMI-VSL zijn vooral Promotieonderzoek en Postdocs aantrekkelijk, gezien de subsidiemogelijkheden en het hoge niveau van het onderzoek.

5.5 Metrologie onderwijs in Nederland

Uit het voorgaande is al gebleken dat de metrologie in het algemeen en het metrologie onderwijs in het bijzonder geen hoge prioriteit heeft in Nederland. Aan universiteiten wordt soms nog wel de basis van het Meten gedoceerd, maar meestal als – relatief klein - onderdeel van andere leervakken, practica of projecten. De opleidingen Elektrotechniek in Delft en Twente hebben nu nog een afzonderlijk basisvak “meettechniek”, in Eindhoven ontbreekt een dergelijk vak. De opleidingen Technische Natuurkunde van deze universiteiten besteden in de Bachelorfase wel aandacht aan meten, maar dan ingekaderd in experimentele vakken. De opleiding werktuigbouwkunde in Delft kent in de masterfase nog een vak “Measurement in Engineering” dat helaas maar door een beperkt aantal studenten gevolgd wordt.

Het belang van (zorgvuldig) meten manifesteert zich pas weer bij afstudeerprojecten en (promotie)onderzoek, waar het doen van metingen essentieel is. Helaas moet worden geconstateerd dat de studenten en onderzoekers zich in dat stadium vaak niet meer bewust zijn wat meten in feite inhoudt. Zij realiseren zich niet dat meten meer is dan het met snoeren aansluiten van meetapparatuur op een proces. De beschikbare krachtige signaalbewerkingstechnieken en de fraaie wijze waarop meetresultaten in elke gewenste vorm kunnen worden gepresenteerd werken kritiekloosheid bij het interpreteren van de meetresultaten nog verder in de hand.

Veel traditionele vakken in de Bachelorfase, waaronder de metrologie, staan onder druk door de introductie van o.a. projectonderwijs en bijspiijkervakken in de wis- en natuurkunde in een toch al overvol studieprogramma. Het is niet ondenkbaar dat de thans nog bestaande metrologie vakken binnen niet al te lange tijd het veld zullen moeten ruimen.

De negatieve ontwikkelingen met betrekking tot het wetenschappelijk onderwijs in de metrologie en de huidige koers van het gesubsidieerde onderzoek aan de universiteiten in Nederland vragen om een aantal maatregelen, waarbij ook NMI-VSL een sleutelrol kan vervullen.

Nu verzorgt NMI-VSL zelf reeds cursussen op een zevental specifieke onderwerpen uit de metrologie. Dit programma staat open voor iedereen, en kan desgewenst gegeven worden als bedrijfscursus. Maar er bestaat op dit punt geen brede samenwerking met de reguliere onderwijsinstellingen. Het is zeker niet de bedoeling dat NMI-VSL het metrologie onderwijs gaat overnemen, maar NMI-VSL is wel bij uitstek de organisatie van waaruit duidelijke signalen moeten komen over de aantoonbare negatieve trend m.b.t. het wetenschappelijk onderwijs in de metrologie. Wat dat betreft zou NMI-VSL meer van zich kunnen laten spreken.

5.5.1 Instellen van een voltijdsleerstoel Metrologie

Om de positie van de metrologie in het wetenschappelijk onderwijs veilig te stellen moeten er op korte termijn maatregelen worden genomen. Na vele mogelijkheden bekeken te hebben en na lang beraad is de Raad tot de conclusie gekomen dat het buitengewoon noodzakelijk is om de metrologie weer stevig te verankeren in het academisch onderwijs en onderzoek door een full time leerstoel Algemene Metrologie in te stellen met een full time hoogleraar aan één van de technische universiteiten. Deze hoogleraar dient als probleemeigenaar/geweten beschouwd te

worden van de zorgelijke positie van het vakgebied metrologie in Nederland. Als eerste zou deze hoogleraar een vergelijking kunnen maken met de onderwijssituatie in andere landen. Tegelijk dient de situatie ten aanzien van onderzoek in kaart te worden gebracht. In tegenstelling tot metrologie-onderwijs, waarvan in elk land een solide basis aanwezig moet zijn, moet bij onderzoek vooral gekeken worden naar sterke punten per land en een daarop gebaseerde afstemming van onderzoeksactiviteiten in Nederland, gerelateerd aan de het industriële belang van Nederland.

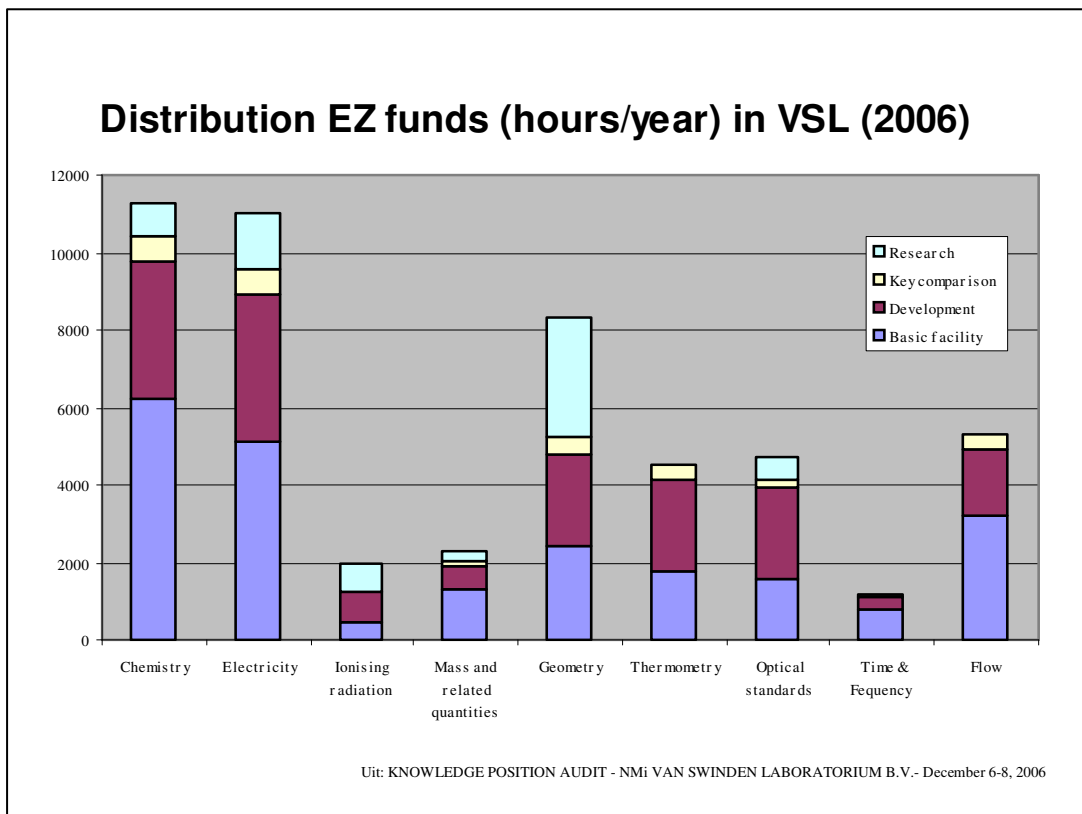
5.5.2 Oprichting van een Nederlands “Platform Metrologie”

Om de metrologie maatschappelijk weer verankerd te krijgen stelt de Raad voor een Nederlands “Platform Metrologie” op te richten, naar voorbeeld van andere, gelijkwaardige platforms zoals het platform Sensortechnologie. Vanuit dit platform, waarin bij voorkeur ook STW moet participeren, kan een subsidieprogramma worden ontwikkeld op het gebied van de metrologie. Het platform moet ook de mogelijkheden onderzoeken dan wel geven voor het aanstellen van één of meer deeltijdhoogleraren in de metrologie.

6 Huidige situatie en ontwikkelingen van standaarden

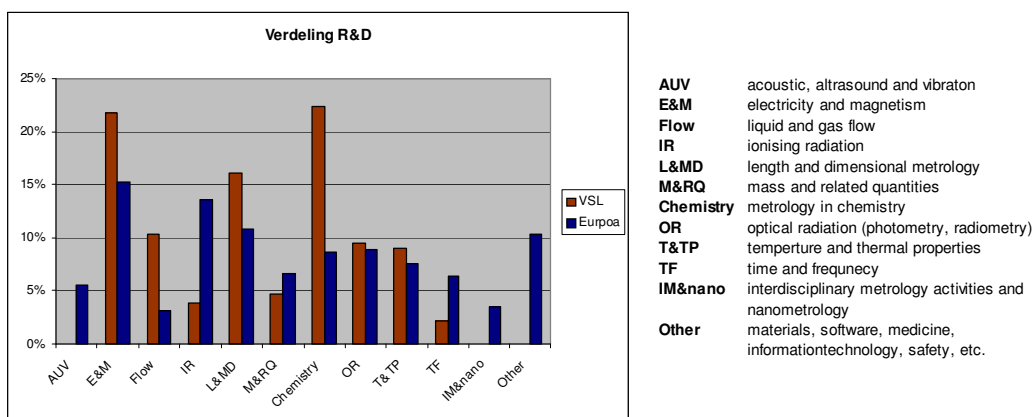
Op basis van de omgevingsanalyse en middels vele gesprekken van de leden van de Raad met marktpartijen, collega deskundigen tijdens formele en informele bijeenkomsten en bij symposia en congressen, is de Raad na interne discussie tot inzichten gekomen ten aanzien van de huidige situatie en de noodzakelijke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

Ten aanzien van de door EZ gefinancierde activiteiten is er sprake van een profilering. Relatief veel aandacht krijgen *Chemistry* en *Electricity*. De meeste research vindt plaats binnen het aandachtsgebied *Geometry*. Dit is wellicht te verklaren uit de industriële activiteiten in Nederland op het gebied van fabricage van halfgeleiders.



Vergelijking op basis procentuele verdeling

zoals afgelezen uit de grafieken van iMERA en NMI-VSL



in Nederland doen wij meer dan gemiddeld aan

- flow
- chemie

in Nederland doen wij minder dan gemiddeld aan

- acoustic
- ioniserende straling
- tijd, frequentie

Berekend uit:
 KNOWLEDGE POSITION AUDIT - NMI VAN SWINDEN LABORATORIUM B.V
 December 6-8, 2006

Wat R&D betreft is er ten opzichte van Europa ook sprake van een profilering. Daar profileert Nederland zich op het gebied van *Flow* en *Chemistry*. Opvallend is dat Nederland relatief weinig doet op het gebied van *Ioniserende Straling*. Ioniserende straling speelt een belangrijke rol in de gezondheidszorg bij beeldvorming, diagnostiek en therapie. Deze relatief geringe aandacht is opvallend, omdat Nederland zowel op het gebied van oncologie, als ook bij de productie van medische apparatuur die gebaseerd is op ioniserende straling een belangrijke rol speelt.

6.1 *Chemie*

Chemische standaarden vormen een zeer breed werkgebied. De basis grootheid voor een chemische standaard is de "hoeveelheid stof", uitgedrukt in de eenheid "mol". De mol is een dimensieloos getal en niet direct te meten met een fysische meting. De mol wordt berekend op basis van meetresultaten zoals massa per volume eenheid, en kennis van het molecuulgewicht.

6.1.1 **Huidige Situatie**

Bij de uitvoering van een chemische meting spelen de omgevingsfactoren van de te bepalen stof een belangrijke rol. Er wordt zelden een meting uitgevoerd aan een volledig binair systeem. De aanwezigheid van andere componenten, kan het meetresultaat op twee manieren sterk beïnvloeden. In de eerste plaats kunnen andere aanwezige componenten vergelijkbare signalen geven tijdens de meting als de te bepalen component. Hierdoor lijkt het alsof er een grotere hoeveelheid van de te bepalen component aanwezig is dan in werkelijkheid het geval is. Om desondanks een betrouwbaar resultaat te verkrijgen, kan gebruik gemaakt worden van verschillende meetmethoden en het vergelijken van de resultaten. Ten tweede is de matrix waarin de te bepalen component aanwezig is, van groot belang voor de monstervoorbewerking en het daarmee uiteindelijke resultaat. Denk hierbij als voorbeeld aan de bepaling van dioxine in kip in vergelijking met dioxine in melk. De uiteindelijke meting van het monster zal in beide gevallen hetzelfde resultaat geven. De monstervoorbereiding zal echter verschillen, maar is wel cruciaal om tot het juiste antwoord te komen. Dit is niet eenvoudig te ondervangen, en betekent in feite dat voor elk type matrix in combinatie met elke gewenste component, een aparte meetmethode en een aparte standaard ontwikkeld moet worden om herleidbaarheid te kunnen garanderen. Aangezien dit praktisch vrijwel onuitvoerbaar is, is dit ook de belangrijkste reden, waarom de ontwikkeling van chemische standaarden in veel gebieden nog in de kinderschoenen staat.

Een 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 gemaakt worden. Deze kunnen gebruikt worden in de industrie voor een zeer groot aantal toepassingen. NMI-VSL heeft op het gebied van gasanalyses een vooraanstaande positie in de wereld. Deze positie is in 2007 door gedurende een externe audit nogmaals bevestigd.

Op het gebied van gasanalyses in Nederland heeft NMI-VSL internationaal gezien een topositie. Sinds 1994 heeft de afdeling chemie van NMI-VSL bovendien een "declaration of equivalence" met het NIST in de Verenigde Staten. Hierdoor kunnen Europese klanten een specifieke range van primaire referentiematerialen van NMI-VSL gebruiken als bron voor herleidbaarheid bij de toepassing van bijvoorbeeld EPA protocollen. De Nederlandse gebruikers van de standaarden van NMI-VSL zijn over het algemeen zeer tevreden over de huidige situatie.

Binnen de verschillende Europese landen zien we dat steeds meer NMI's hun eigen faciliteiten voor gasanalyses gaan opzetten. NMI-VSL speelt hierin een belangrijke rol, door te helpen bij het opbouwen van de kennis en kunde ter plaatse. Daarnaast speelt NMI-VSL een belangrijke rol bij het opbouwen van kennis en kunde in de industrie.

Wat betreft andere chemische standaarden dan gasstandaarden, heeft Nederland in feite geen positie. De markt van potentiële gebruikers laat hier een verdeeld beeld zien. Enerzijds wordt het belang van referentiestandaarden die volledige herleidbaarheid kunnen leveren wel herkend. Anderzijds heeft de industrie in veel gevallen een acceptabele manier van werken gevonden zonder referentiestandaarden. De belangrijkste oorzaak hiervan is ongetwijfeld de complexiteit rond het maken van referentiestandaarden.

6.1.2 Ontwikkelingen

Wanneer Nederland met NMI-VSL in de toekomst een vooraanstaande positie wil blijven behouden op het gebied van gasanalyses, zal het moeten blijven investeren in de toepassing van de nieuwste technologieën met de laagste detectiegrenzen en de hoogste nauwkeurigheid. Bovendien zal ook aandacht moeten worden besteed aan de ontwikkeling van nieuwe gasmengsels passend bij de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van gasanalyses. Belangrijke ontwikkelingen op dit gebied zijn veelal milieu-gerelateerd en worden ingegeven door bijvoorbeeld nieuwe wetgeving op het gebied van uitstoot van gassen en fijnstof. Ook de toepassing van nieuwe grondstoffen voor de opwekking van energie zal leiden tot de vraag naar nieuwe standaarden. Met betrekking tot andere chemische analyses dan gasanalyses zullen duidelijke keuzes gemaakt moeten worden over de rol die Nederland hierin kan spelen. Gezien de complexiteit hiervan zal dit zeker in internationaal verband moeten worden opgepakt.

6.2 Elektriciteit en magnetisme

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). Tevens is er een noodzaak ontstaan tot certificering van gevoelige apparatuur hiervoor.

Het arsenaal aan elektrische en magnetische grootheden is groot: spanning, stroom, weerstand, capaciteit, zelfinductie, frequentie, vermogen, elektrische veldsterkte, magnetische veldsterkte, allen met een enorm waardenbereik en met lage tot zeer lage onzekerheidseisen. Er bestaan alleen elektrische standaarden voor spanning, weerstand en capaciteit. 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.

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

6.2.1 Huidige situatie

NMi-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 NMi-VSL het eerste aanspreekpunt.

Vele bedrijven (waaronder enkele zeer grote) geven ook voor routinematig kalibreren toch de voorkeur aan het NMi. 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 NMi-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 (zoals de ISO- 9001 en ISO-17025 normen). 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 NMI-VSL niet over de faciliteiten daarvoor beschikt. Omdat dit laatste een relatief klein aandeel van de totale kalibratiemarkt vormt is het niet nodig dat NMI-VSL hiervoor grote investeringen gaat plegen. De grotere apparatuur wordt bij voorkeur door NMI-VSL gekalibreerd, vanwege korte reistijden, minder vervoersrisico en goede resultaten. De algemene wens is dat de service van NMI-VSL voor die taken behouden blijft.

Een paar Nederlandse erkende kalibratie laboratoria beschikken over faciliteiten voor het meten van EMC. Frequenties tot 3 GHz zijn standaard, maar er is een toenemende behoefte aan hogere frequenties. De door NMI-VSL gehanteerde 3 GHz limiet geldt weliswaar alleen voor velden, maar met geringe aanpassingen lijkt uitbreiding van de dienstverlening mogelijk.

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. Sinds kort bevindt zich op dezelfde locatie een laboratorium voor vermogenselektronica, een gezamenlijk initiatief van EZ en KEMA. Deze faciliteiten bedienen vrijwel alle (mondiale) fabrikanten van midden - en hoogspanning materialen en apparatuur zoals transformatoren, (vermogen)schakelaars, isolatoren en andere componenten. Daarnaast heeft KEMA de beschikking over testfaciliteiten voor laagspanningscomponenten. Deze kortsluit - en hoogspanningslaboratoria hebben een behoefte aan het nauwkeurig kunnen kalibreren van de metingen van hoge wisselstromen en -spanningen.

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.

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

De essentie van vermogensmetingen is een nauwkeurige bepaling van de fasehoek tussen spanning en stroom. De toekomstige (zoniet huidige) eisen voor een kalibratie systeem zijn in de ordegrootte van 10 ppm. Op dit moment is slechts één instituut in de wereld (NRC Canada) in staat daaraan te voldoen.

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. Het kalibreren van deze meting is op dit moment een knelpunt in de genoemde landen.

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.

Stroom- en spanningsmetingen

Veel routinematige kalibraties worden elders in Nederland uitgevoerd, maar herleidbaarheidskalibraties bijvoorkeur door NMI-VSL. Er is een tendens naar lagere onzekerheden in metingen voor AC-spanning en AC-stroom, in het bijzonder bij lage frequenties (enkele Hz). In dit frequentiegebied zijn thermische converters ongeschikt en moet naar speciale meetmethodes worden uitgeweken.

R-, L- en C- metingen

Kalibraties van meters voor deze grootheden worden vanwege de herleidbaarheidseisen door NMI-VSL uitgevoerd. Enkele speciale gevallen voor weerstand staan vermeld bij het gebied Temperatuur.

6.2.2 Ontwikkelingen

De productie van elektrische en elektronische componenten en systemen neemt in Nederland zeker geen dominante positie meer in. In het vorige advies van 2003 is, gebaseerd op deze situatie, een toekomstvisie ontwikkeld. Met betrekking tot fabrikanten is weinig veranderd en kan de visie van 2003 worden gehandhaafd, waarin wordt gesteld dat ingrijpende fundamentele metrologische ontwikkelingen niet op afzienbare termijn zijn te verwachten. Er zijn echter wel belangrijke ontwikkelingen op het gebied van de meting voor lagere waarden van elektrische grootheden. Deze ontwikkeling wordt gedreven door een verdergaande technologische ontwikkeling c.q. miniaturisatie in het ontwerp van "integrated circuits" (IC's) en elektronica. De nadruk blijft liggen op het verlagen van de totale meetonzekerheid in de herleidbaarheidsketen bij de huidige meetgebieden. Dit geldt eveneens voor de afgeleide grootheden.

De herleidbaarheid van elektrische meetinstrumenten naar de nationale meetstandaarden loopt praktisch uitsluitend via de RvA laboratoria. Sommigen laten een aantal kalibraties uitvoeren door NMI-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 NMI-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 kalibratie faciliteiten 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 reeds genoemd, maar nogmaals de liberalisatie van de elektriciteitsproductie en -levering stelt eisen aan vermogensmetingen in de distributie- en transmissienetwerken.

Ondanks de redelijk stabiele kalibratiemarkt bestaat er een toenemende wens naar verdere verbetering van kalibratieapparatuur (in termen van lagere onzekerheid, uitbreiding waardenbereik, zowel naar beneden als naar boven). Er wordt dan ook veel onderzoek gedaan door de NMI's en door universiteiten. In het Europese 7de kaderprogramma wordt al (enigszins) rekening gehouden met de behoefte aan meer onderzoek op het gebied van elektrische metrologie, getuige het inrichten van het iMERA-Plus programma. NMI-VSL heeft in dit programma uitstekend gescoord (4 gehonoreerde *specials*). De opzet van dit programma is kennisbundeling van Europese NMI's in Europa.

NMI-VSL werkt al intensief samen met Nederlandse universiteiten, o.a. met de groep lage temperaturen van de Universiteit Twente (onderzoek aan AC-Josephson juncties). In de naaste toekomst is nog meer onderzoek nodig om in de metrologische behoefte op nieuwe gebieden als nanotechnologie te kunnen voorzien. Naast uitvoering van de gehonoreerde Europese projecten (samen met andere NMI's) is ook samenwerking met universitaire onderzoeksgroepen onontbeerlijk.

6.3 Tijd en frequentie

6.3.1 Huidige situatie

Het NMI-VSL heeft een goede internationale positie, maar behoort technologisch niet tot de top. Zoals in het vorige strategische plan reeds is aangegeven vergt de weg naar de top op dit gebied enorme investeringen (orde van grootte 1 miljoen euro). De Raad adviseert gezien de alternatieven in Europa deze weg niet te gaan. Standaarden voor het meten van tijd (de wettelijke tijd), frequenties en fases zijn van belang voor de andere standaarden, zoals die voor elektriciteit en lengte. De koppeling met lengte zal steeds belangrijker worden.

De overheid is verantwoordelijk voor de wettelijke tijd. De tijdstandaard is ook van wezenlijk belang voor de plaatsbepaling via satellieten, tijdfrequenties ten behoeve van communicatie, plaatsbepaling en operationele taken.

In het strategisch plan 2003 is een aantal toepassingen genoemd, die ook nu nog actueel zijn. Voorbeelden zijn binnen de radioastronomie met de toepassing van gedistribueerde antennes en met sensoren voor atomaire stralingsfrequenties, die een perfecte synchronisatie vereisen.

6.3.2 Ontwikkelingen

Voor de eenheid van tijd wordt de meetstandaard afgeleid van een bepaalde stralingsfrequentie van het cesium-133 atoom. De verwezenlijking hiervan door NMI-VSL zelf is essentieel vanwege de interne toepassingen. Er zal voor deze meetstandaard behoefte zijn aan een vrij constante beheersinspanning in de komende jaren.

Het werken aan “cesium fountains”, “stopped ions” en “trapped molecules” voor nog nauwkeuriger tijdsbepaling kan worden overgelaten aan andere NMI's in de wereld.

NMI-VSL dient wel door te gaan met onderhoud en verbeteringen zoals ingezet in het verleden, waarbij de koppeling met andere standaarden (lengte; “frequency comb”) moet worden voortgezet, maar het moet niet zelf starten met onderzoek aan gekoelde atomen en dergelijke.

De huidige situatie dient te worden herbezien indien er een discontinuïteit optreedt in de vereiste competentie c.q. kennis.

6.4 Ioniserende straling

6.4.1 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 en ook geïnstalleerd in gezondheidsinstellingen. Hoge eisen worden gesteld aan de kennis omtrent de dosis ioniserende straling die aan patiënt en personeel wordt toegediend. De stralingsdosis in de patiënt bij het gebruik van diagnostische röntgenapparatuur dient zo laag mogelijk te zijn voor het bereiken van een bepaalde 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.

Deze verschillende vormen van gebruik van ioniserende straling vereisen elk een aparte metrologische aanpak met eigen standaarden. Voor de meting van de dosis ioniserende straling afgegeven door diagnostische röntgenapparatuur worden doorgaans (relatief grote) ionisatiekamers gebruikt die in NMI-VSL gekalibreerd kunnen worden tegen de primaire standaarden voor deze straling. De activiteit van toegediende radiofarmaca wordt voor toediening in ziekenhuizen meestal gecontroleerd met put-ionisatiekamers. Deze hebben een ijkcertificaat dat verstrekt is door de firma. De dosis ioniserende straling van uitwendige bestralingen voor de behandeling van kankerpatiënten wordt gemeten met kleine ionisatiekamers. Deze kunnen worden gekalibreerd bij NMI-VSL middels de *grootheid geabsorbeerde dosis in water* die gerealiseerd wordt met een watercalorimeter. Bij de behandeling van kanker met inwendige bestralingen, brachytherapie, wordt gebruik gemaakt van radioactieve bronnen waarvan de activiteit ook met put-ionisatiekamers gecontroleerd wordt.

De standaarden die bij NMI-VSL aanwezig zijn voor de conventionele toepassingen in de radiodiagnostiek en nucleaire geneeskunde geven geen aanleiding tot aanzienlijke verbeteringen. Ook in de radiotherapie is de situatie op het gebied van herleidbaarheid gegarandeerd. De klinische implementatie van de geabsorbeerde dosis-in-water kalibratie voor uitwendige bestralingsbundels zal binnenkort van start gaan zodra het protocol hiervoor, dat samen met de Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie is ontwikkeld, beschikbaar is. NMI-VSL zal de daarvoor benodigde kalibraties uitvoeren voor alle Nederlandse radiotherapiecentra. Enigszins teleurstellend is dat de ontwikkeling van een standaard voor beta-dosimetrie bij NMI-VSL niet heeft geleid tot veel aanvragen voor kalibraties omdat de medische resultaten van het gebruik van deze beta-emitters, ter voorkoming van stenose in aders, tegenvielen en de firma's gestopt zijn met de fabricage van deze producten.

6.4.2 Ontwikkelingen

Kalibratie middenenergetische röntgenstraling

De voor dit doel ontwikkelde watercalorimeter is getest en komt binnenkort beschikbaar als primaire standaard voor het meten van geabsorbeerde dosis in bundels middenenergetische röntgenstraling. Analyse van de kalibratie factoren van een aantal verschillende typen ionisatiekamers van de gebruikers biedt de mogelijkheid om systematische verschillen tussen de nieuwe en oude methode van kalibratie te detecteren. Een internationale vergelijking (key comparison) is nodig; deze zal waarschijnlijk pas na 2009 plaats vinden.

3D-dosimetrie in complexe velden

In 2008 wordt de haalbaarheidstudie naar de mogelijke meetmethoden voor dosimetrie in complexe velden afgerond. Afhankelijk van de resultaten van deze studie zal geformuleerd moeten worden wat de rol van NMI-VSL zal zijn bij de toepassing van deze meetmethoden. Gedacht kan worden aan het verzorgen van dienstverlening aan radiotherapie-instituten waarbij dosimeters onder goed gedefinieerde omstandigheden bestraald worden, waarna ze door NMI-VSL uitgelezen en geanalyseerd zullen worden. Dit kan op vrijwillige basis gebeuren maar na overleg met de desbetreffende beroepsverenigingen ook in de vorm van een externe audit. Een interessante mogelijkheid is ook om een dergelijke dosimetrische verificatie te koppelen aan een verificatie van het gebruik van beeldvormende apparatuur in de radiotherapie (zie verder). In Europees verband zal hieraan gewerkt worden in het kader van de EMRP aanvraag. Daarnaast bestaat de mogelijkheid tot samenwerking met het Erasmus MC in Rotterdam op dit gebied als het KWF projectvoorstel wordt herschreven en na herindiening wordt gehonoreerd.

Brachytherapie

Op dit moment vinden de controles van de radioactieve bronnen in de ziekenhuizen plaats door middel van put-ionisatiekamers die door de fabrikant zijn gekalibreerd. Het is nuttig als NMI-VSL standaarden ontwikkelt voor de kalibratie van deze putkamers. Dit moet gebeuren voor verschillende radionucliden, waarbij de prioriteit gelegd moet worden bij iridium-192 en jodium-125. Deze radionucliden worden op dit moment klinisch het meest gebruikt worden. Afhankelijk van de resultaten van de nog lopende haalbaarheidsonderzoek wordt besloten of NMI-VSL doorgaat met de ontwikkeling van een geabsorbeerde dosis-in-water standaard voor I-125 zaadjes. Volgens een recent uitgevoerde enquête hebben slechts 10 van de 24 ziekenhuizen in Nederland en België die deze behandeling uitvoeren een geijkt instrument (put-ionisatiekamer) om de activiteit van deze zaadjes te controleren, zodat hier wel een (beperkte) markt voor bestaat. Deze ontwikkelingen zullen ook in Europees verband plaatsvinden in het kader van de EMRP aanvraag.

In Petten worden door Mallinckrodt Medical B.V., onderdeel van de Amerikaanse firma Covidien, radionucliden bestemd voor brachytherapie geleverd aan een beperkt aantal firma's die deze dan doorverkopen aan hun klanten. Er wordt gewerkt aan een nieuw type brachytherapie bron waarvoor nog geen nauwkeurige kalibratiemethode bestaat. NMI-VSL zou kunnen helpen deze kalibratiemethode te verbeteren.

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 op dit moment ongeveer 10 van dergelijke bestralingsfaciliteiten beschikbaar en zijn er ongeveer evenveel in aanbouw. In Nederland wordt op bescheiden schaal met deze vorm van kankerbehandeling geëxperimenteerd, o.a. bij het Kernfysisch Versneller Instituut in Groningen. Overwogen wordt om één of meerdere van dergelijke hadrontherapie faciliteiten in Nederland te installeren. Het plan om in Delft op een terrein naast het IRI en NMi-VSL een dergelijke protonenfaciliteit te bouwen krijgt steeds duidelijker vorm. Het is interessant zijn om de mogelijke rol van NMi-VSL bij het kalibreren van dosimeters gebruikt voor hadrontherapie te onderzoeken. De watercalorimeter ontwikkeld door NMi-VSL is transportabel en is misschien geschikt om gebruikt te worden voor kalibratie ter plekke. Wellicht kunnen testmetingen plaatsvinden in Groningen. Ook moet nagegaan worden of een dergelijke kalibratiemethode elders in Europa toegepast kan worden.

Nucleaire geneeskunde

In de nucleaire geneeskunde is behoefte aan het maken van gestandaardiseerde ijkbronnen voor Positron Emission Tomography (PET) camera's en voor dosis-kalibratoren. Dit mede in verband met het standaardiseren van PET studies en bijbehorende kwaliteitsborging in multi-center trials. Vaak wordt apparatuur door de fabrikant geijkt, al gaat dat niet altijd goed wegens het ontbreken van herleidbaarheid. Het is daarom van belang dat de leveranciers van PET camera's, PET-CT scanners en dosis-kalibratoren bereid zijn tot ijking van de apparatuur met deze ijkbronnen, of de gebruiker in staat stellen om dit te doen. NMi-VSL kan hierbij faciliteren, waartoe een concreet actieplan voor toekomstige klanten ontwikkeld dient te worden.

De firma Mallinckrodt produceert ook radioactieve bronnen voor gebruik in de nucleaire geneeskunde. De radionucliden die door Mallinckrodt aan ziekenhuizen geleverd worden krijgen nu een ijkcertificaat gebaseerd op een meting in door de PTB gekalibreerde put-ionisatie kamers. Het lijkt weinig zinvol om op korte termijn deze procedure richting NMi-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 en voor dosis-kalibratoren.

Radiologie

Het voornaamste doel van een radiologisch onderzoek is het verkrijgen van optimale diagnostische informatie waarbij de dosis vaak ondergeschikt is aan de beeldkwaliteit. Met andere woorden, het ALARA principe (As Low As Reasonable Achievable) wordt in de radiologie niet altijd toegepast wat betreft de dosis ioniserende straling die een patiënt ontvangt. Er 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. Afgezien van een aantal grotere (academische) ziekenhuizen waar klinisch fysici aanwezig zijn, is deze kennis op de meeste radiologie afdelingen echter zeer beperkt aanwezig, of zij ontbreekt geheel.

De Inspectie controleert maar zeer oppervlakkig of het Besluit Stralingsbescherming wordt nageleefd. Rapportage door radiologie afdelingen over de afgegeven dosis is zeer summier en bevat een grote onzekerheid. Speciaal in de interventie radiologie wordt een hoge dosis straling afgegeven. Ook bestaat er nog weinig ervaring met digitale radiografie waardoor de kans op een ernstig stralingsongeval bij interventie radiologie en digitale radiografie groter is dan bij conventioneel radiologisch onderzoek. Ook is de dosis afgegeven door deze apparatuur maar in beperkte mate herleidbaar tot primaire standaarden zoals aanwezig in het NMI. Deze waarnemingen worden bevestigd door enkele van de voornaamste conclusies uit het RIVM rapport Kwaliteitsborging van radiodiagnostische apparatuur. De wetgeving schrijft niet precies voor wat kwaliteitsborging (van röntgenapparatuur) moet inhouden, de beroepsgroepen moeten daar zelf richtlijnen voor opstellen. Op dit moment zijn die richtlijnen er eigenlijk niet, omdat de veldstandaard verouderd is en zich beperkt tot conventionele technieken. Hierdoor gaan afdelingen radiologie bij gebrek aan zulke eisen en een duidelijke veldstandaard hun eigen weg.

In een aantal landen wordt apparatuur bestemd voor radiologische onderzoeken voor installatie getest, wordt advies gegeven voor het aanpassen van opname protocollen voor optimale dosis-beeldkwaliteit verhouding en worden kwaliteitscontrole metingen uitgevoerd. In Groot Brittannië gebeurt dit door onafhankelijke organisaties: KCARE voor alle apparatuur gebruikt op de meeste radiologie afdelingen en IMPACTSCAN voor alle CT scanners. Dit onderwerp is op dit moment erg actueel gezien de wereldwijde toenemende bewustwording van de gevaren van het gebruik van ioniserende straling voor diagnostische doeleinden, speciaal van het snel stijgend gebruik van CT opnamen bij kinderen. In de VS is bijv. daarom onlangs de campagne "Image gently" gestart om zorgvuldig om te gaan met gebruik van CT voor pediatrische toepassingen.

Standaarden voor de kwaliteitsborging van apparatuur voor radiodiagnostiek zijn aanwezig bij NMI-VSL voor conventionele röntgentechnieken doch ontbreekt voor moderne röntgenapparatuur. Ook zijn meetmethoden van de dosis afgegeven tijdens radiologisch onderzoek aanwezig bij NMI-VSL, o.a. het gebruik van GafGromic film, een techniek waar in het kader van het 3D dosimetrie project NMI-VSL ervaring mee heeft. Wel zullen deze methodieken aangepast moeten worden voor routinematig gebruik in de radiologie.

Samenvattend kan gesteld worden dat in de radiologie zowel op het gebied van standaarden, protocolontwikkeling, ontwikkelen van meettechnieken, uitvoeren van controles en het geven van advies er een taak ligt voor het NMI-VSL.

Beeldvormende apparatuur in de radiotherapie

Sinds enkele jaren bestaat er ook in de radiotherapie een explosieve groei van het gebruik van beeldvormende apparatuur om de juiste positie van het te bestralen gebied te kunnen bepalen. Op een bijeenkomst van de International Atomic Energy Agency (IAEA) is onlangs besproken of de IAEA een rol zou moeten spelen bij het garanderen van het juiste gebruik van beeldvormende apparatuur in de radiotherapie. De voorlopige conclusies van deze bijeenkomst waren dat er veel meer gedaan moet worden aan training en bijscholing van de gebruikers van deze vaak uiterst complexe apparatuur. Daarnaast dienen er methoden ontwikkeld te worden om op eenvoudige wijze te controleren of specifieke componenten van het systeem goed functioneren, en om de (geometrische) nauwkeurigheid van de gehele klinische procedure voor een aantal specifieke toepassingen vast te stellen.

In de radiotherapie is het gebruik van beeldvormende apparatuur nog van vrij recente datum en wordt het juiste gebruik overgelaten aan de beroepsgroepen. Vanwege de hoge eisen die er aan de geometrische en dosimetrische nauwkeurigheid in de radiotherapie worden gesteld, kan de vraag worden gesteld of een externe audit door een groep deskundigen waarvan NMI-VSL ook deel uitmaakt, niet noodzakelijk is. Een argument hiervoor is dat er vorig jaar een aantal zeer ernstige ongelukken heeft plaatsgevonden waarbij geometrische fouten (Gent, België) en dosimetrische fouten (Epinal, Frankrijk) zijn gemaakt die voorkomen hadden kunnen worden bij een externe controle. Gedacht kan daarom worden aan het ontwikkelen en testen door NMI-VSL van een speciale testopstelling (een "fantom") waarin de geometrische nauwkeurigheid van de verschillende beeldvormende systemen in gebruik in de radiotherapie gecontroleerd kan worden. Een mogelijkheid is om in een dergelijk fantoom op goed gedefinieerde posities ook dosimeters aan te brengen zodat zowel de geometrie als de dosimetrie in complexe velden met dezelfde meetopstelling gecontroleerd wordt. Dit voorstel moet meegenomen worden in de haalbaarheidsstudie 3D dosimetrie in complexe velden

6.5 Massa en gerelateerde standaarden

6.5.1 Huidige situatie

De massastandaard is nog steeds de laatste standaard die gebaseerd is op een artefact, de standaard Pt-Ir kilogram in het BIPM te Parijs. De nationale meetinstituten zoals NMI-VSL hebben elk hun eigen kopie (voor NMI-VSL Ptlr nr 53) die zo nodig gekalibreerd wordt in Parijs. Kalibraties worden verricht door middel van weging met een precisiebalans waarbij door herhaaldelijke metingen met verschillende combinaties de meetonzekerheid tot een minimum wordt gereduceerd. De huidige massastandaard is niet volledig stabiel vanwege interactie met de omgeving. Om die reden wordt onderzoek gedaan naar alternatieve materialen en structuren. Dit onderzoek dat buiten Nederland plaatsvindt, zal niet op korte termijn tot een verandering van massastandaard leiden.

Afgeleide grootheden zijn kracht, druk, versnelling, viscositeit en massastroom.

Het vakgebied van de metingen van massa en afgeleide grootheden is volwassen geworden en vergen relatief weinig ontwikkeling. Er is een groot aantal laboratoria in Nederland die massakalibratie kan uitvoeren. Deze door de RVA geaccrediteerde laboratoria herleiden hun standaarden uiteraard naar (inter)nationale standaarden (NMI, NIST). De rol van NMI-VSL in deze is dus niet exclusief en de positie wordt vooral bepaald door de doelmatigheid.

De afgelopen periode is vooral geïnvesteerd in automatisering wat NMI-VSL de E1 accreditatie heeft opgeleverd (150µg/kg). Dit is voldoende voor de marktbehoefte.

Metingen van massa en afgeleide grootheden worden op grote schaal gebruikt en in veel gevallen is herleidbaarheid belangrijk. De huidige kalibratie-infrastructuur is voldoende voor de behoefte aan massa en krachtmetingen. Er is een lichte behoefte aan verbetering van de meetonzekerheid in druk en viscositeit.

De grootste behoefte aan kracht en drukmetingen is in de luchtvaart en procesindustrie en die sectoren hebben daarom ook vaak hun eigen kalibratie laboratoria ingericht. Viscositeit is vooral van belang voor de farma-, proces- en voedselindustrie. Het gebruik van referentie-oliën is daar van belang. Massametingen zijn van oudsher zeer belangrijke metingen in het handelsverkeer (Metrologiewet).

6.5.2 Ontwikkelingen

Zoals boven vermeld richt het internationale onderzoek zich op het vinden van een nieuwe definitie van de standaard massa. Al in het vorige advies werden alternatieven genoemd zoals het monokristallijn silicium en de Wattbalans. Het feit dat in die inschatting nauwelijks verandering is gekomen geeft aan dat het zeker nog tot voorbij de komende adviesperiode zal duren voor er sprake is van een nieuwe standaard.

Waar in het vorig advies nog van een achterstand werd gesproken bij de onzekerheid rond massa is die achterstand nu ingelopen.

De behoefte aan een lagere onzekerheid bij massametingen is niet aangetoond.

Dit is voldoende reden om geen kostbare energie te steken in fundamenteel onderzoek. Wel moeten de ontwikkelingen worden gevolgd. 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 huidige sterke positie op viscositeit moet breder benut worden binnen Europa. De Nederlandse kalibratiemarkt is beperkt en NMI-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.

De ingezette weg naar automatisering van de metingen moet daarom met kracht worden doorgezet. Het is daarbij een zorg dat de sterktes vaak op een persoon zijn terug te voeren.

6.6 Geometrie en dynamische lengtemeting

6.6.1 Huidige situatie

De geometrische standaarden zijn bepalend voor het meten van de grootte lengte, en in combinatie met de standaard tijd voor de meting van snelheid en versnelling. Tot deze groep behoren ook de afgeleide standaarden voor eindmaten, rasters (lijn standaarden), diameter, rondheid, vlakheid, rechtheid en oppervlaktevormkwaliteit (ruwheid).

Al deze standaarden zijn afgeleid van de meetstandaard voor de meter. Deze wordt bepaald door de golflengte van licht in vacuüm over een precies gedefinieerde voortplantingstijd. In de praktijk wordt deze afgeleid van een zeer stabiele laser lichtbron (Iodine stabilized HeNe). Het is inmiddels mogelijk de frequentie van een lichtbron te koppelen aan de standaard voor tijd door middel van de frequentiekam van een femtoseconde laser. Hiermee is de standaard voor lengte aan die van de tijd te relateren met de daarbij behorende zeer geringe meetonzekerheid.

Waar ten tijde van het vorige advies nog een duidelijke behoefte was aan een toenemende absolute nauwkeurigheid, is de situatie inmiddels zover veranderd dat enerzijds de primaire standaard geen probleem meer is, maar ook dat er meerdere belangrijke toepassingsgebieden te onderscheiden zijn met ieder hun eigen specifieke eigenschappen:

- a) Hoognauwkeurige productiemachines in de halfgeleiderindustrie waarbij de nauwkeurigheid vooral relatief is ten opzichte van een interne referentie en de toegestane onzekerheid kleiner is dan een nm over 30 cm (ordegrootte 10^{-9}).
- b) 3-D CMM's voor complexe vormen waarbij de toegestane absolute (herleidbare) meetonzekerheden in de orde van tientallen nanometers komt te liggen (ordegrootte 10^{-7}); de kwaliteit van de taster is in belangrijke mate bepalend geworden voor deze te behalen onzekerheid.
- c) Microsystemen en nanotechnologie waar de meetmethodes nog geenszins voldoende deterministisch zijn en 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%).
- 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 zelfs in de ruimtevaart en astronomie waar juist een extreem hoge stabiliteit op nanometer niveau vereist is.

Vooraf het eerste gebied lijkt zich aan de wereld van de klassieke tot de standaardmeter herleidbare standaarden te onttrekken, maar is niet minder belangrijk voor het vakgebied omdat van de zelfde fysische meetprincipes wordt uitgegaan.

De in het vorige lange termijn advies opgenomen stellingname over het belang van de vele van de meter afgeleide grootheden als herleidbare standaard is

onverminderd van kracht. In zowel het handelsverkeer, als in het dagelijks leven zijn eenduidige meetwaarden 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 dit vakgebied is sterk geconcentreerd in bedrijven (ASML/ Mitutoyo Agilent, Heidenhain etc.), bij TNO, NMI-VSL en in veel mindere mate in 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 onderwaarding leidt op termijn tot de noodzaak kennis uit het buitenland te betrekken.

Interessant is te constateren dat het wetenschappelijk onderzoek in dit veld zich zowel richt op zeer grote afstanden als op 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.

Aan de andere kant wordt in de micro- en nanotechnologie 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 de zelfde structuur met een ander instrument gemeten. In toenemende mate wordt 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 producten 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.

6.6.2 Gewenste ontwikkeling

De belangrijkste ontwikkelingen in dit gebied liggen eerder in uitbreiding van het meetgebied naar de uiterste grenzen dan in vermindering van de meetonzekerheid op zichzelf.

Een zeer belangrijk aandachtsgebied is daarbij de kalibratie en kwalificatie van meettasters in het micro- en nanometer bereik. De afrondingsstraal en regelmaat van de vorm van een taster bepaalt in sterke mate de nauwkeurigheid van de meting.

Waar de te meten objecten bij steeds kleinere afmetingen niet meer uit rechte vlakken bestaan is de vorm steeds complexer zodat de eenduidigheid van de taster steeds meer bepalend wordt. Tasters met een afrondingsstraal van 10 nanometer (AFM) tot 100 micrometer (micro CMM) zijn zelf niet goed te meten. Dit vraagt uitdrukkelijk onderzoek naar nieuwe meetmethoden.

Gezien de aard van de problematiek, het fundamentele karakter van het onderzoek en de mogelijke kosten die hiermee gemoeid zijn is samenwerking tussen verschillende internationale instituten noodzakelijk.

Daarbij moet in toenemende mate gebruik gemaakt worden van software om metingen met verschillende apparatuur te kunnen herleiden tot een eenduidig meetresultaat.

Het meten van complexe vormen en structuren heeft prioriteit boven het meten van eendimensionale waarden met toenemende nauwkeurigheid.

Ten aanzien van uitbreiding van het meetgebied naar grote afstanden is het advies de aandacht te richten op metingen aan geodetische grootheden gezien de grote economische belangen die hier spelen.

Gezien de kosten van het onderzoek verdient het aanbeveling de resultaten van deze kennis ook in andere toepassingen zoals de genoemde toepassing bij hoognauwkeurige productiemachines in de halfgeleiderindustrie en de toepassing in de ruimtevaart en astronomie te "valoriseren". Hierdoor zal het zwaartepunt van het onderzoek aan geometrische lengtemetingen zich niet louter in de richting van de toepassing op herleidbaarheidsmetingen bewegen, maar ook op de toepassing bij andere lengtemetingen. Wanneer dit goed wordt aangepakt is dat voordelig voor het totale vakgebied.

6.7 Thermometrie en vochtigheid

Temperatuur

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 diverse meetsensoren of meetmethoden. De internationaal erkende temperatuurschaal (ITS-90) dekt dit gehele temperatuurgebied. Voor normaal industrieel gebruik loopt het gebied van ongeveer –200 °C 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. Onzekerheidseisen lopen van ca +/- 0,02 °C (bijzondere toepassingen, beperkt temperatuurbereik) via +/- 0,05 °C (standaardtoepassingen rond omgevingstemperatuur) tot enkele °C bij veel lagere of veel hogere temperaturen. Voor temperatuursensoren bestaan reeds lang nationale en internationale normeringen.

Vochtigheid

Vochtigheid wordt in velerlei eenheden uitgedrukt; de meest gangbare zijn relatieve vochtigheid (RV) en dauwpuntstemperatuur, kortweg dauwpunt. Het dauwpunt (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.

6.7.1 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 die vanzelfsprekend herleidbaar zijn tot de internationale standaarden. Nederlandse bedrijven geven daarbij de voorkeur aan NMI-VSL. Voor de meer gangbare temperatuursensoren heeft NMI-VSL automatische meetapparatuur ontwikkeld waarmee grotere aantallen sensoren gelijktijdig, snel en efficiënt tegen lagere kostprijs kunnen worden gekalibreerd. Over het geheel genomen is de kalibratiemarkt voor temperatuur stabiel.

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

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

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

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

De afdeling Temperatuur van NMI-VSL is een jonge, nog groeiende groep (in termen van expertise); daarom zijn de consultancy mogelijkheden nog beperkt. Deze groep heeft desalniettemin een hoge wetenschappelijke status. Er lopen twee succesvolle EU-projecten: tripelpunt van water (0 °C) en Neon (24 K), en er wordt op diverse fronten samengewerkt met andere onderzoeksinstituten.

6.7.2 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. NMI-VSL draagt daaraan bij door middel van gezamenlijk onderzoek met andere NMI's en universiteiten. Enkele voorbeelden zijn het ruisthermometrie project (in samenwerking met een Nederlands bedrijf), het STW-project met de Universiteit Groningen (onderzoek naar isotopensamenstelling voor de hiervoor genoemde watertripelpunt standaard) en het (goedgekeurde) iMERA-Plus 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 luchtbehandelinginstallaties, voor airco's, kassen, productopslag en dergelijke. 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 weliswaar een klein temperatuurgebied, maar met hoge reproduceerbaarheid.

Een bijzondere toepassing is de meting van vocht (waterdamp) in aardgas. De opgave is de dauwpuntmeting uit te voeren bij hoge druk (65 bar), met een

onzekerheid kleiner dan 1 °C. NMI-VSL werkt hierbij samen met de Nederlandse Gasunie.

Een helaas afgewezen STW-project met de Universiteit Groningen (water isotopen, de "Vienna standard batch" is nagenoeg op) wordt toch voortgezet met een promovendus, tijdelijk werkzaam bij NMI-VSL

6.8 Optische standaarden

6.8.1 Huidige situatie

Standaardenbeheer

Binnen het vakgebied optica worden in Nederland twee standaarden voor basis SI-eenheden gerealiseerd, de fotometrische candela (cd) in lumen per steradiaal en de Kelvin (K) voor het hoge temperatuurgebied ($1000\text{ °C} < T < 3000\text{ °C}$). Beide standaarden worden gemeten met behulp van optische methoden. In Nederland heeft sectie Optica van NMI-VSL de verantwoordelijkheid gekregen voor de realisatie van deze standaarden. Vanuit deze twee basiseenheden worden vele stralingsmetingen gerealiseerd en detectoren geleverd voor gebruik op het gebied van objectieve radiometrie, lichtbron karakterisatie en kleurmeting maar ook voor subjectieve kleurwaarneming en herkenbaarheidmeting. De fotometrische metingen hebben betrekking op visuele waarneming waarbij de straling qua visuele impressie gefilterd wordt voor de ooggevoeligheidscurve. Van de candela afgeleide grootheden zijn de verlichtingssterkte of irradiantie (eenheid lumen.m^{-2} of lux), de lichtstroom in lumen en de luminantie in $\text{lumen.m}^{-2}.\text{ster}^{-1}$. Objectieve radiantiemetingen zonder correctie voor de gevoeligheidscurve van het menselijke oog vinden plaats bij een zeer specifieke frequentie van de straling of ook 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 $1000\text{ °C} < T < 3000\text{ °C}$).

Korte beschrijving beschikbare technologieën en kalibratiemogelijkheden.

Op dit moment is er een primaire detectorschaal opgebouwd over het spectrale golflengtegebied van 150 nm tot 20 μm . De kortgolvlige UV-zijde (193nm) heeft speciale aandacht vanwege optische lithografie. Er zijn relevante key comparisons uitgevoerd waarbij NMI-VSL een goede score heeft behaald. In het thermische infrarood ($-50\text{ °C} < T < 800\text{ °C}$) 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 NMI-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. Als voorbeeld kan genoemd worden dat het Duitse bedrijf LMT (Lichtmesstechnik) NMI-VSL nu gebruikt voor kalibratie van bronnen en detectoren. Met behulp van de recent 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 voorzien 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 NMI-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. Kennisinstituten van de overheid en voormalige, inmiddels geprivatiseerde overheidsinstituten (bijv. Staatsdrukkerij) hebben behoefte aan specialistische kennis op vaak nationale schaal.

Geavanceerd onderzoek op het gebied van lichtbronnen en optische materialen vindt daarnaast in Nederland plaats in het kader van fysisch, chemisch en biologisch georiënteerde onderzoeksprogramma's van de nationale overheid (ICES-KIS, Nanoned, NWO) en medisch geïnspireerde onderzoeksprogramma's. Recent is ook het Europese metrologie programma goed van start gegaan (iMERA). De ontwikkeling van nieuwe standaarden en de karakterisatie van bronnen, detectoren en materialen vinden in deze programma's plaats in een verkennend stadium. Het gewenste doel is de ontwikkeling van nieuwe, eenvoudiger en meer accurate standaarden en de vereenvoudiging van de herleidbaarheidsketen. Het participeren in deze nationale en internationale onderzoeksprogramma's is essentieel voor het behoud van een vooraanstaande plaats voor Nederland op het gebied van het beheer en de toepassing van optische standaarden.

NMI-VSL staat bekend als een deskundige en betrouwbare partner met een gunstige prijsstelling voor de aangeboden diensten. Bij de klanten heerst wel de indruk dat de dynamiek van de markt niet altijd begrepen wordt bij het uitvoeren van adviesopdrachten of het doen van kalibraties.

6.8.2 Ontwikkelingen

Op diverse gebieden zijn stormachtige ontwikkelingen gaande. Een overduidelijk 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 perfect aan bij de maatschappelijke wens naar duurzaamheid qua energie- en materiaalverbruik. Daarnaast zijn er nadrukkelijke ontwikkelingen in de richting van bronnen en detectoren in 'exotische' spectrale gebieden zoals het extreme UV- en het terahertz-gebied (THz). Bij het zeer kortgolfige extreem UV gebied is de chipfabricage voor computerprocessoren en geheugens de aanjager, de langgolfige THz-straling is nodig bij recente ontwikkelingen in de medische instrumentatie en het veiligheids- en screeningonderzoek. Ontwikkelingen die in de komende periode voor het standaardenbeheer en het bieden van herleidbaarheid in Nederland extra inspanning en onderzoek zullen vergen zijn de volgende:

- a) LED-bronnen zijn een geheel nieuwe uitdaging. Bestaande nationale instituten spelen hier niet altijd snel op in (bijv. NPL in het Verenigd Koninkrijk). Met Philips Lighting, een wereldspeler op dit gebied wordt door NMI-VSL een nieuwe relatie opgebouwd die veelbelovend lijkt.
- b) Beeldmetrologie. Er worden testobjecten ontwikkeld voor bijvoorbeeld] infrarood thermografie en voor de kalibratie van tweedimensionale detectoren zoals 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 en nieuwe meetmethoden ontwikkeld worden. Er is ook Europese regelgeving in de maak 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 zoals bijv. NMI-VSL.

- c) Tijdsgemoduleerde smalbandige bronnen, speciaal LED's en lasers. Voor deze niet constante bronnen zijn nauwelijks standaarden en herleidbaarheid beschikbaar. Dit is een geheel nieuw gebied, met een tijdsgebied van milliseconde tot femtoseconde.
- d) 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).
- e) Overdracht straling van het nabije naar het verre veld en omgekeerd. Deze techniek (zowel in modellering als experimenteel) maakt het mogelijk een algemene meting te transformeren naar bijv. een geometrische meting van een object. Vindt toepassingen in kunstonderzoek (cultuurbehoud), forensisch onderzoek, sporenonderzoek. Er kan ook stereometrie of 3D-weergave mee bereikt worden.
- f) Bij geavanceerde verlichtingssystemen is naast de radiantie ook het meten en beheersen van de polarisatietoestand van de geproduceerde straling van belang. Deze grootheid kan ook spectraal variëren. Bovendien kunnen dit soort bronnen gewenste en ongewenste tijdsvariaties vertonen die eveneens gekarakteriseerd moeten worden. Dit vereist een aanzienlijke uitbreiding van de meetfaciliteiten.
- g) Kleurmeting (objectief) is in principe mogelijk met de 3D-radiantie-meetopstelling die door NMI-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-instituut)..

6.9 Volumetrie

6.9.1 Huidige situatie

Internationaal en ook nationaal wordt er op steeds grotere schaal geïnvesteerd in kalibratiefaciliteiten voor zowel gas als vloeistof. Enerzijds is er grote belangstelling voor het realiseren van herleide referentie installaties in landen waar de infrastructuur in ontwikkeling is zoals Oekraïne, Egypte en Maleisië. Anderzijds vinden uitbreidingen plaats in landen die reeds een goed ontwikkelde meetinfrastructuur hebben zoals Duitsland, Japan, Nederland en de VS. Deze uitbreidingen worden sterk ingegeven door de industrie, waar sterke behoefte bestaat aan uitbreiding met betrekking tot bedrijfscondities en inzetbaarheidsgebied van de kalibratiefaciliteiten. Hieronder kunnen we o.a. verstaan:

- Minerale oliën bij hogere debieten (1,5 – 3,0 m³/s)
- Hogere viscositeiten (400 - 1200 cSt)
- Grotere diameters (0,6 m - 1,0 m)
- Hogere temperaturen (230 °C)

Concrete voorbeelden van dergelijke installaties die gebouwd worden zijn HyCal™ in Nederland en een installatie voor hoge temperaturen bij PTB in Berlijn.

Investeringsen worden gedaan door zowel de Nationale Meetinstituten alsook door de Industrie. Vaak is er sprake van een intensieve samenwerking.

Nederland vervult een relatief belangrijke rol in de Internationale en Europese ontwikkelingen, en scoort in het werkgebied 'Volumetrie' erg goed. Dit wordt ook bevestigd door reviews die van tijd tot tijd worden gehouden.

Toch staat die positie onder druk en dienen er grote maatregelen te worden genomen. De bestaande hoge druk gas kalibratiefaciliteiten Westerbork en Bergum worden vanwege diverse redenen in de nabije toekomst niet gecontinueerd. Gelukkig is op deze situatie goed ingespeeld. Er ligt een uitgewerkt en gefinancierd plan gereed van wat één van de grootste kalibratiecentra ter wereld moet worden: Euroloop™. Met de bouw hiervan is inmiddels een start gemaakt. Het is zinvol om Euroloop in z'n geheel te integreren in de nationale standaard. Dit heeft onder andere als voordeel dat Nederland zich tegen relatief geringe kosten nadrukkelijk op de Metrologische wereldkaart plaatst. Dit heeft een positieve uitstraling op het gehele werkgebied.

6.9.2 Ontwikkelingen

Naast de verdergaande ontwikkeling van de referentie-installaties is er een toenemende behoefte voor het meten van energiestromen.

Een duidelijk voorbeeld hiervan is het meten van heet water t.b.v. het vaststellen van de vermogensproductie van energiecentrales. Deze behoefte komt voort uit het nauwkeuriger willen meten van vermogensproductie van kerncentrales. De belangrijkste schakel hierin wordt gevormd door het meten van het debiet in het secundaire koelcircuit. Nieuwe meettechnieken zijn beschikbaar. Hiermee ontstaan nieuwe mogelijkheden. In het kader hiervan is er behoefte aan de herleidbaarheid van watermetingen bij een temperatuur van 230 °C (PTB - Duitsland, NMIJ - Japan).

Met de komst van diverse biobrandstoffen op de markt zal er meer behoefte ontstaan aan het bepalen van samenstelling en verbrandingswaarde van brandstofmengsels, zoals benzine/ethanol, diesel/ethanol, biodiesels en dergelijke. Doel hiervan is om zowel belastingsmaatregelen te kunnen treffen (accijns/ subsidiestromen sturen), als om verbrandingsprocessen te optimaliseren.

Ook is er in de industrie een concrete behoefte aan een verbeterde standaard voor bioethanol. Hierbij gaat het om mengsels van bijv. 99% ethanol en 1% water, waarbij conversie dient plaats te vinden naar referentiecondities (20 °C, 100% ethanol).

Veel ontwikkeling is gaande op het terrein van nieuwe gasvormige brandstoffen. Te noemen vallen biogassen met wijd uiteenlopende gassamenstellingen. Er is behoefte aan het kunnen bepalen van de verbrandingswaarde t.b.v. verrekening, maar ook om een optimale verbranding te realiseren. Hier is sprake van een raakvlak met het werkgebied Chemie.

De vraag is in hoeverre in de komende periode van vijf jaar het gebruik van waterstof als schone brandstof doorzet. Op een aantal plaatsen is begonnen met het opzetten van infrastructuur. Vooralsnog wordt dat niet als nieuw aandachtsgebied beschouwd.

Vloeibaar gemaakte gassen zijn in opkomst vanwege toenemende aardgaswinning in afgelegen gebieden. Door aardgas te koelen tot -163 °C, kan dit medium in (compacte) vloeibare vorm onder atmosferische druk efficiënt worden getransporteerd. Er is een toenemende vraag naar het nauwkeurig kunnen meten van LNG (Liquefied Natural Gas) bij een temperatuur van -163 °C en het meten van cryogene vloeistoffen in het algemeen. Ook hier speelt het bepalen van de LNG samenstelling een rol. De samenstelling verandert tijdens transport. Lichte fracties dampen meer uit dan de zwaardere fracties waardoor de verbrandingswaarde verandert.

Rotterdam heeft zich tot doel gesteld om 'Energy Port Europe' te worden. Er liggen plannen voor de bouw van één of zelfs meerdere LNG terminals. Vanuit de industrie wordt in toenemende mate de vraag gesteld om debietmeters te kunnen kalibreren op LNG op cryogene condities tegen een lage onzekerheid.

Daarom is er op beperkte schaal begonnen met het opzetten van een kleine standaard. Hiermee is een kleine aanzet gegeven om ervaring op te doen. Zonodig kan vervolgens op korte termijn een kalibratiefaciliteit op grotere schaal worden gerealiseerd door deze standaard op te werken.

In de industrie vindt een uitbreiding van debietmetingen plaats naar zeer lage debieten. De verwachting is een toenemende vraag naar standaarden met een lage onzekerheid in het nanoliterbereik. Deze trend wordt zowel bij vloeistoffen als bij gassen waargenomen. Bij vloeistoffen spreken we over een bereik in de orde van 0,1 pm³/s tot 1 pm³/s. Voor gassen ligt dit bereik in de orde van 10 pm³/s tot 10 nm³/s. Tot op heden zijn er ook internationaal weinig tot geen standaarden beschikbaar in dit werkgebied met voldoende lage onzekerheid in het nanoliter bereik. Dit geldt zowel voor vloeistof als voor gas. Wel is er ten aanzien van gas reeds een opstelling beschikbaar die relatief snel operationeel kan worden gemaakt in geval van sterk toenemende behoefte. Voor vloeistof is er niets beschikbaar. Hier zijn ook geen plannen voor.

Ten aanzien van Micro fluidics is het aan te bevelen de huidige gasinstallatie herleidbaar te maken naar internationale standaarden. Verder is het raadzaam de marktbehoefte naar een standaard voor lage debieten voor vloeistof te blijven peilen.

7 Nieuwe gebieden

Het vakgebied metrologie kan opgedeeld worden conform de zeven SI-eenheden voor:

- Lengte
- Massa
- Tijd
- Elektrische stroom
- Hoeveelheid stof
- Temperatuur
- Lichtsterkte

Historisch gezien is dit logisch. Om praktische redenen hanteert de Raad echter al enige tijd de volgende indeling:

1. Chemie
2. Elektriciteit en magnetisme
3. Tijd
4. Ioniserende straling
5. Massa en gerelateerde standaarden
6. Geometrie en dynamische lengtemeting (versnelling)
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 zijn ontoereikend of blijken 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 het zinvol vindt om de metrologie te gaan bekijken vanuit maatschappelijke thema's.

Op basis van de omgevingsanalyse en op basis van de thema's uit het 7e kaderprogramma van de EU komt de Raad tot de volgende indeling:

- Milieu en chemie
- Voeding en gezondheid
- Energie
- Safety en security
- Advanced systemen

Vanuit deze indeling worden de nieuwe werkgebieden voor de metrologie beschouwd, zoals de Raad die zich ziet ontwikkelen.

7.1 Milieu en Chemie

Het milieu krijgt steeds meer de aandacht (VN conferentie Rio de Janeiro 1992, Nobelprijs Al Gore). In het nationale milieubeleid zijn de thema's: duurzaamheid, klimaat, lucht en energie .

Bij lucht gaat het met name om broeikasgassen en fijnstof. Nederland heeft zich verplicht om tussen 2008 en 2012 de uitstoot van broeikasgassen met 20% te verminderen ten opzichte van 1990. Volgens het nieuwe programma "Schoon en Zuinig" is dat zelfs 30% in 2020. Het gaat dan vooral om kooldioxide, methaan, stikstofoxides en fluorverbindingen. Andere stoffen zoals zwavel en zware metalen (hier geldt een monitorverplichting vanuit de EU) vervuilen lucht water en bodem. VROM probeert de uitstoot van deze stoffen zoveel mogelijk te verminderen. Daarbij zet Nederland vooral in op energiebesparing en duurzame energie, ook om de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te verminderen. Vertaling van de doelstellingen op het gebied van milieu zullen bedrijven dwingen om deze stoffen nauwkeuriger te kunnen meten.

Momenteel is er nog steeds geen duidelijke technologie beschikbaar om de uitstoot van betreffende gassen en stoffen direct te meten: *de kwantificering van de uitstoot vindt veelal plaats op basis van indirecte methoden*. Er van 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.

Nieuw gebied: *Standaarden voor het meten van broeikasgassen*

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 langgolvlige terahertzgebied vindt plaats. De CCPR heeft besloten de UV-werkgroep te stoppen en 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. De Nederlandse metrologie-activiteit heeft op dit gebied een goede uitgangspositie die verder uitgebouwd kan worden.

Nieuw gebied: *Standaarden voor verre infrarood ten behoeve van aardobservatie*

7.2 Voeding en Gezondheid

Sprekend over herleidbaarheid en de ontwikkeling van standaarden op het gebied van voeding, is het goed onderscheid te maken tussen *voedselveiligheid* en *voedselkwaliteit*.

Voedselveiligheid is in veel gevallen gerelateerd aan wetgeving. Het gaat dan vooral om maximale hoeveelheden pesticiden, polyaromatische koolwaterstoffen, zware metalen, microbiologische eisen. Afgezien van de microbiologische veiligheid, wordt de voedselveiligheid in de meeste gevallen bepaald door de grondstoffen, niet door het productie proces van een eindproduct dat door de consument gekocht wordt.

Voedselkwaliteit is daarentegen een subjectief begrip dat niet zelden gerelateerd is aan de prijs die voor een product betaald wordt. Dit geldt enigszins voor grondstoffen, maar in veel grotere mate voor eindproducten.

Zowel voor voedselveiligheid als voor voedselkwaliteit staat het leveren van herleidbaarheid en de ontwikkeling van primaire standaarden nog in de kinderschoenen. De BIPM heeft in 2003 en 2004 veel interviews gehouden met (internationale) partijen waaruit gebleken is dat de Europese referentielaboratoria in feite niet in staat zijn herleidbare resultaten te leveren. Daarmee kunnen zij niet voldoen aan de eisen die worden gesteld in ISO 17025. Daarnaast blijkt uit internationale ringtesten dat de variatie in de resultaten van analyses in veel gevallen onacceptabel hoog is.

Er zijn diverse oorzaken voor deze situatie. Wanneer het gaat om de variatie zoals gevonden wordt in ringtesten, ligt een deel van de oorzaak in de kennis en kunde van de analist die de meting heeft uitgevoerd. Nader onderzoek laat vaak zien dat analyses niet exact volgens de beschrijving zijn uitgevoerd. Bovendien worden verschillende methoden toegepast, die (vanwege het gebrek aan herleidbaarheid) per definitie andere resultaten opleveren.

Een belangrijke manier om deze situatie te verbeteren, is door de toepassing van gecertificeerde referentiematerialen. En juist hieraan is op het gebied van voedingsmiddelen een groot gebrek. De oorzaak hiervan is dat deze referentiematerialen alleen op basis van echte voedingsmiddelen gemaakt kunnen worden. Vanwege de matrix effecten kan in veel gevallen niet volstaan worden met het toevoegen van een bekende hoeveelheid van een component aan een grondstof om een primaire standaard te maken. Wanneer men dus een referentiemateriaal wil maken van een grondstof in combinatie met component X, kan dat alleen door de grondstof te oogsten, waarbij gedurende de teelt van deze grondstof deze component X op de gebruikelijke manier is toegepast. Via een langdurig proces kan vervolgens zo nauwkeurig mogelijk worden vastgesteld wat de exacte hoeveelheid van component X in deze grondstof is, waarna deze kan worden toegepast als referentiemateriaal. Het hoeft geen betoog dat dit een tijdrovend en kostenintensieve procedure is.

Binnen de voedingsmiddelen industrie wordt het gebrek aan gecertificeerde referentiematerialen erkend als een gemis om met zekerheid te kunnen stellen dat de gemeten waarden ook de juiste waarden zijn. Tegelijkertijd wordt hier door producenten pragmatisch mee omgegaan. In wetgeving voor voedselveiligheid wordt vaak gewerkt met maximale limieten die niet overschreden mogen worden. In de praktijk kiest men bijvoorbeeld een lagere limiet om zeker te zijn dat men aan de

wetgeving voldoet. Bij twijfel wordt een monster naar een externe (tweede) partij gestuurd voor een second opinion om meer zekerheid te krijgen, alvorens een grondstof al dan niet toe te passen in een product. Deze situatie is niet ideaal, kost extra tijd en geld, maar lijkt geaccepteerd te worden, omdat iedereen zich realiseert hoe moeilijk het is om aan gecertificeerde referentiematerialen te komen.

Waar het gaat om internationale handel worden grondstoffen al dan niet gekocht op basis van resultaten van analyses. Hoe vaak partijen ten onrechte gekocht, dan wel afgekeurd worden op basis van niet-herleidbare resultaten is onduidelijk, maar dat het gebeurt is vrij zeker.

Samenvattend wordt het gebrek aan referentiematerialen in de voedingsmiddelen industrie door sommige partijen wellicht niet gezien als een urgent probleem, maar uiteindelijk is deze situatie onwenselijk. Vanwege de complexiteit van dit probleem kan het alleen op internationaal niveau worden aangepakt via de BIPM. Gezien het grote aantal voedingsmiddelenproducenten in Nederland, is het wenselijk dat Nederland hieraan zijn bijdrage levert. Omdat het onmogelijk is alles te doen, zullen duidelijke keuzes gemaakt moeten worden, welke grondstoffen in combinatie met welke schadelijke componenten de hoogste prioriteit hebben. Afhankelijk van de keuzes die gemaakt worden, moet bepaald worden welke partij in Nederland het meest geschikt is om hieraan mee te werken.

Het ligt voor de hand NMI-VSL te vragen 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. Vanwege het gebrek aan expertise bij NMI-VSL op het gebied van de voedingsmiddelen analyses zelf, is de verwachting echter dat de uiteindelijke samenwerking op dit gebied met andere partijen zal plaatsvinden. Gedacht kan worden aan bijvoorbeeld TNO Kwaliteit van Leven in Zeist of het Centraal Orgaan voor Kwaliteitsaangelegenheden in de Zuivel (COKZ) in Leusden.

Nieuw gebied: *Referentiematerialen voor voedingsmiddelen*

7.3 Energie

Het energiebeleid in EU landen wordt sterk gedreven door de doelstelling om de broeikasgassen met 20% verminderd te hebben 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 energie toepassingen.
- 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 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 met name in de comptabele metingen van elektrische vermogens op alle niveaus in het net, vermogensverliesmetingen en de kwaliteit van de elektrische levering.

Nieuw gebied: *Kalibratie van vermogensmetingen in het elektriciteitsdistributie en - transmissienetwerk*

Naast elektriciteit als energievorm is reeds uit paragraaf 6.9.2. naar voren gekomen dat er een sterke ontwikkeling is op het gebied van vloeistoffen en gassen als energiedrager.

Biobrandstoffen, al dan niet gemengd met de klassieke brandstoffen, waterstof, Compressed Natural Gas en Liquefied Natural Gas maken een sterke ontwikkeling door. Als gevolg hiervan zullen er diverse nieuwe werkgebieden ontstaan.

Nieuw gebied: *Metten van (biologische) vloeibare brandstofmengsels*

Nieuw gebied: *Metten van (biologische) gasvormige brandstofmengsels*

Nieuw gebied: *Metten van verbrandingswaarde van gasvormige brandstofmengsels*

Nieuw gebied: *Metten van volumestromen onder cryogene condities*

7.4 Veiligheid (Safety en Security)

Een van de grote maatschappelijke thema's die de samenleving in toenemende mate bezig houdt is "Kwaliteit van leven". Een onderdeel daarvan is "Veiligheid", een gebied dat op zich weer vele aspecten insluit: veilig wonen en reizen, veilige voeding, gezond leefmilieu, bescherming van private en publieke eigendommen en vele andere. Het is een gebied waaraan sociale en technische wetenschappen reeds het nodige bijdragen, en dat zal in de toekomst nog intensiever (moeten) plaatsvinden. Het is evident dat metrologie hierbij een essentiële factor is.

Een voorbeeld van die noodzakelijke betrokkenheid van de metrologie is het volgende lijstje van veiligheidsgerelateerde onderzoeksactiviteiten:

Individueelgerelateerde onderwerpen

- Detectie van landmijnen en niet geëxplodeerde wapens
- Signaal- en dataverwerking in de gezondheidszorg (bijv. hartbewakingsapparatuur, thuisdiagnose)
- Cryptografie, informatiebeveiliging en bescherming van persoonlijke informatie
- Ontwikkeling van efficiënte systemen voor persoonsidentificatie

Groeps- of publieksgerelateerde onderwerpen

- Technologie voor de reductie van het industriële gebruik van kritieke organische stoffen
- Bagagecontroles op o.a. vliegvelden
- Controle van post
- On-line en real-time analyse van de werking van (publieke) systemen (bijv. gemalen, seinen en wissels), van condities van dijken en dammen, en "vroeg" waarschuwingssystemen
- Cognition based event detection (agressie, vandalisme, groepsgedrag)

Voor al dit soort vraagstukken zijn nieuwe meetmethoden in ontwikkeling of worden bekende meetconcepten aangepast en doorontwikkeld ten einde deze voor veiligheid te kunnen toepassen. Voorbeelden van deze technieken zijn IMS (ion mobility spectroscopy), MS (massaspectroscopie) en velerlei technieken gericht op het detecteren van optische, chemische en biologische kenmerken. Een ander specifiek aspect is dat in veel gevallen de meting "op afstand" moet plaats vinden: het meetinstrument staat op relatief grote afstand van het meetobject, er is geen direct contact. Desondanks moet nauwkeurige informatie over het object of de situatie verkregen worden.

Bij al deze onderwerpen is sprake van waarnemen in de vorm van detectie en meten. Het spreekt voor zich dat de resultaten van deze waarnemingen op zich ook weer aan hoge eisen van onzekerheid moeten voldoen, om de kans op foutieve beoordelingen en acties te minimaliseren. Gezien het groeiende belang van dit soort metingen bestaat er een toenemende vraag naar methodieken om de ingezette metingen te kunnen valideren en te herleiden.

Om te kunnen voldoen aan de zware eisen die de maatschappij stelt aan systemen voor veiligheid en beveiliging zijn genormaliseerde testobjecten en kalibraties noodzakelijk. In het optische domein bestaat die behoefte al geruime tijd, zoals voor infrarood-thermografie en voor kalibratie van beeldsensoren (zoals CCD's) in het zichtbare en UV-gebied. De grote variatie in omgevingscondities waarbij deze

meetapparatuur wordt ingezet vereist dat de omgevingsinvloeden moeten worden meegenomen bij de kalibratie. Hierbij moeten nieuwe normen en criteria opgesteld worden en nieuwe meetmethoden ontwikkeld worden. Er is Europese regelgeving in de maak op dit gebied waar ook door Nederland adequaat op gereageerd moet worden.

Kenmerkend voor het thema veiligheid is de multidisciplinariteit: zowel in technische zin (chemie, optica, elektrotechniek, mechanica, informatica) als anderszins (statistiek, sociologie, psychologie, economie, enz). Een metrologisch instituut dat zich wil profileren en kwalificeren op het gebied van veiligheid zal de traditionele indeling in standaardgebieden moeten loslaten, en een organisatievorm moeten nastreven die beter aansluit op het multidisciplinaire karakter van de vraagstellingen en de te realiseren oplossingen.

Vanzelfsprekend kan een dergelijk ommeezwaai niet in kort tijdsbestek zijn beslag krijgen. Indien NMI-VSL de taak krijgt zich te specialiseren op metrologische aspecten binnen het thema Veiligheid zal oriëntatie daarop wel op korte termijn moeten worden ingezet, met alle consequenties van financiële en personele aard.

Nieuw gebied: *Veiligheid (safety en security)*

7.5 *Advanced Systems*

De Nederlandse high tech industrie is op mondiaal niveau leidend in technologie. Voorbeelden als ASML, Océ, Bronckhorst, Fei spreken voor zich. Kenmerkend voor al deze bedrijven is dat de metrologie in diverse gebieden een grote rol speelt in de concurrentiekracht. Geometrische-, dynamische-, thermische-, optische- en elektrische grootheden worden op het hoogste nauwkeurighedsniveau gemeten en zijn bepalend voor de hoge precisie van deze systemen.

Door het specifieke karakter is de kennisopbouw in de metrologie bij die bedrijven vaak sterk intern ontwikkeld waarbij de veelal internationale toeleveranciers gestimuleerd worden om hun grenzen steeds verder te verleggen. Hoewel de hoogste nauwkeurigheid van metingen vaak louter relatief wordt bepaald ten opzichte van een tijdelijke referentiewaarde, is de toegepaste technologie geheel gelijk aan wat bij ijken van absolute standaarden wordt vereist. Daarnaast is voor de fabricage van de vaak zeer nauwkeurige onderdelen voornamelijk bij de toeleveranciers een sterke noodzaak om te kunnen vertrouwen op correcte ijkmaten.

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 modulators. 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.

Nieuw gebied: *Standaarden voor het meten van dunne lagen*

Nieuw gebied: *Standaarden voor het meten van afmetingen op micrometerniveau (MEMS)*

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

De stormachtige ontwikkelingen van de komst van efficiënte licht-emitterende diodes (LED) en halfgeleider lasers met een hoog rendement en ongekend lange levensduur sluit perfect aan bij de maatschappelijke wens naar duurzaamheid qua energie- en materiaalverbruik. LED-bronnen en lasers zijn daarom een nieuwe uitdaging. Bestaande nationale meetinstituten spelen hier niet altijd snel op in (bijv. NPL in het Verenigd Koninkrijk). Met Philips Lighting, een wereldspeler op dit gebied, kan door NMI-VSL een nieuwe veelbelovende relatie opgebouwd worden. LED's en lasers worden om diverse redenen ook vaak tijdsgemoduleerd gebruikt. Voor niet constante bronnen zijn nauwelijks afgeleide standaarden en herleidbaarheid beschikbaar. Dit is een geheel nieuw gebied, met tijdsafhankelijkheden gaande van het milliseconde- naar zelfs het femtoseconde-gebied.

Nieuw gebied: *Ultrakort gepulst licht en optische standaarden voor tijdsafhankelijke signalen uit moderne lichtbronnen*

Objectieve kleurmeting is mogelijk met de nieuw ontwikkelde 3D-radiantiemeetopstelling van NMI-VSL. Op dit moment vindt nog geen speciaal verkennend werk plaats op het gebied van kleuranalyse en kleurperceptie. Maar er is zeker 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 autoreparatiebranche. 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. Kleurmeting en kalibratie spelen ook een belangrijke rol bij het analyseren en testen van voedsel, bij forensisch onderzoek, onderzoek van waardepapieren enz. Om deze redenen is het gewenst een metrologie activiteit op het gebied van kleurmeting te overwegen.

Nieuw gebied: Kleurmetingen

“**Soft metrology**” kan worden gedefinieerd als objectieve metingen toegepast op grootheden die doorgaans worden waargenomen via menselijke zintuigen. Het kwantificeren van dit soort grootheden wordt steeds belangrijker geacht. Een consument beslist op basis van uiterlijke kenmerken, zoals de kleur om een product al dan niet te kopen. Echter, het uiterlijk wordt niet beschreven met kleur alleen, ook glans, textuur, vorm en vele andere eigenschappen dragen bij aan het totale uiterlijk.

Voor voedsel kan het “mondgevoel” van belang zijn. De kwaliteit van sommige (hand- of machinematig gemaakte) producten wordt visueel bepaald door daartoe getrainde personen. De “maat” die leidt tot wel of niet kopen, of tot een goedkeur dan wel afkeur is nog lang niet altijd objectiveerbaar. Een beter begrip hiervan kan helpen bij het optimaliseren van het productieproces.

In het gebied van kwaliteitsbeheer speelt *soft metrology* daarom een toenemende rol. Dat geldt voor veel meer gebieden, zoals veiligheid, welzijn en kwaliteit van leven. Met name in de wereld van *safety and security* bestaat grote belangstelling voor (betere) meetmethoden t.b.v. persoonsidentificatie of het signaleren van aankomend geweld of risico-situaties. Ook in de medische diagnostiek neemt *soft metrology* een steeds belangrijkere plaats in, om de subjectiviteit van diagnoses terug te dringen en bijv. thuis-diagnose betrouwbaarder te maken.

Soft metrology heeft alles te maken met het menselijke waarnemingsvermogen, en is daarom nauw verbonden met de psychologie van de waarneming, de optiek (kleur, reflecties), de chemie (geur, smaak) maar ook met diverse takken van de wiskunde (data-fusie, besliskunde).

Soft metrology is een relatief nieuwe tak van de metrologie. Een aantal NMI's heeft het onderwerp reeds in hun onderzoeksagenda's opgenomen.

Nieuw gebied: Soft Metrology

8 Metrologische Infrastructuur

Bij de rapportages van NMI-VSL wordt ook ingegaan op het thema Infrastructuur. Hiermee wordt bedoeld de relatie van NMI-VSL met collega instituten en deelname aan (internationale) symposia. In dit hoofdstuk Metrologische Infrastructuur wordt echter met name gekeken hoe de taken zoals door EZ daar neer zijn gelegd door NMI-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 zijn deze activiteiten bij NMI-VSL neergelegd. 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 het NMI-VSL en op basis van rapportages door NMI-VSL en de bespreking daarvan komt de Raad tot de conclusie dat de inhoudelijke aspecten van de metrology professioneel door NMI-VSL worden uitgevoerd. Dit wordt tevens bevestigd door een self assesment gevolgd door een peer review die in 2006 hebben plaats gevonden. Geen reden voor de Raad om EZ te adviseren verandering in de situatie aan te brengen. Wel is de Raad van mening dat NMI-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 NMI-VSL uitvoert wordt door EZ gefinancierd, éénderde komt van extern. De vraag is wat een goede verhouding is. Dit 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 NMI-VSL nog groeien.

8.2 Kostenstructuur

Begin 2007 heeft de Raad de kostenstructuur van NMI-VSL beschouwd op basis van cijfers over 2005 en 2006. Er is op een zeer globale manier gekeken naar de kosten en deze zijn vergeleken met de kosten van andere instituten (benchmarking).

| Nmi - VSL data 2005 | | |
|-------------------------|----------------|-----|
| Menskracht FTE | | |
| indirect | 17 | 20% |
| direct | 69 | 80% |
| | <u>86</u> | |
| Omzet Meuro/j | | |
| via EZ | 8 | 67% |
| via extern | 4 | 33% |
| | <u>12</u> | |
| Omzet Meuro/j | | |
| Personeel | 5.6 | 47% |
| Huisvesting | 3.0 | 25% |
| Afschrijving | 1.2 | 10% |
| Techn. Bedr. Middelen | 0.8 | 7% |
| Materiaal | 0.5 | 4% |
| Beheer, advies, verkoop | 0.2 | 2% |
| inter company kosten | 0.3 | 3% |
| winst voor belasting | 0.4 | 3% |
| | <u>12.0</u> | |
| Omzet uren/j | | |
| Indirecte uren | 44,060 | 31% |
| Directe uren | 96,169 | 69% |
| | <u>140,229</u> | |

| Uurtarief | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 125 €/u | NMI-VSL |
| ter vergelijking: ter vergelijking: | |
| 150 - 300 €/u | consultancy bureau's |
| 85 - 175 €/u | in house engineering bureau's |
| 60 - 150 €/u | engineering contractors |

| Directe uren percentage | |
|-------------------------|-------------------------------|
| 69% | NMI-VSL |
| ter vergelijking: | |
| 50% - 60% | consultancy bureau's |
| 70% - 80% | in house engineering bureau's |
| 90% - 98% | engineering contractors |

Op basis van deze getallen kan gesteld worden dat het gemiddelde uurtarief in de range ligt wat gebruikelijk is in de wereld van consultancy en engineering. Het directe urenpercentage is hoog, maar dat hangt zeker samen met de financiering door EZ.

Deze data zijn vergeleken met die van de Technische Universiteit Eindhoven en die van het Nederlands Forensisch Instituut. Hiervoor zijn de openbare jaarverslagen en begrotingen van deze instellingen gebruikt. Hoewel TU/e en NFI andere instituten zijn dan NMI-VSL en er ook andere indelingen en categorieën worden onderscheiden, geeft dit toch een indicatie. Wat opvalt is dat de personeelskosten per fte bij NMI-VSL (65 000 Euro/jaar) ietwat hoger liggen dan bij de TU/e (60 000 Euro/jaar). Dit zou verklaard kunnen worden doordat TU/e relatief veel promovendi en PDEng studenten in dienst heeft, die een lager salaris krijgen uitbetaald dan een startende HBO-er in de industrie. De personeelkosten van NFI zijn beduidend lager (51 000 Euro/jaar), mogelijk te verklaren doordat daar meer uitvoerend werk wordt verricht.

Echt opvallend hoog zijn de huisvestingskosten per fte van NMI-VSL: 35 000 Euro/(fte jaar). Voor TU/e en NFI zijn deze bedragen respectievelijk 13 000 Euro/(fte jaar) en 16 000 Euro/(fte jaar). Ten opzichte van de omzet is het aandeel van de huisvesting van NMI-VSL 25%. Voor TU/e en NFI zijn deze cijfers respectievelijk 12% en 14%. Gesteld kan worden dat de huisvesting van NMI-VSL orde grootte een factor twee hoger is dan zou mogen worden verwacht.

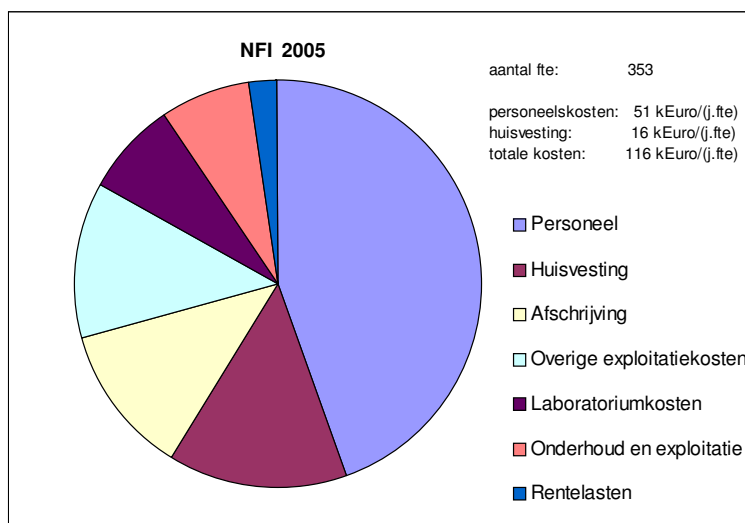
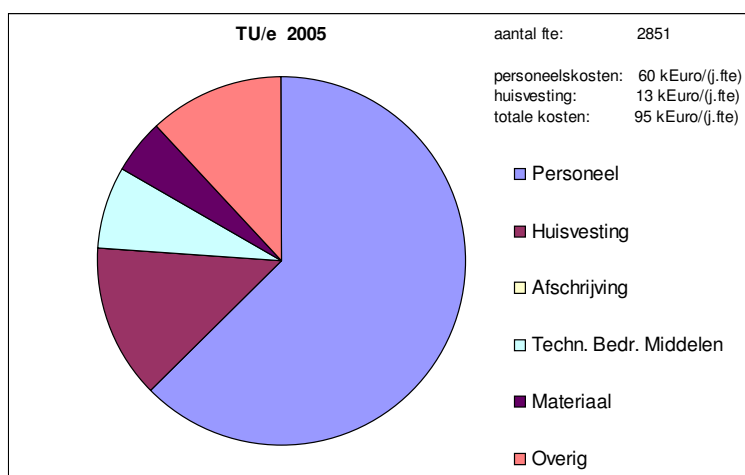
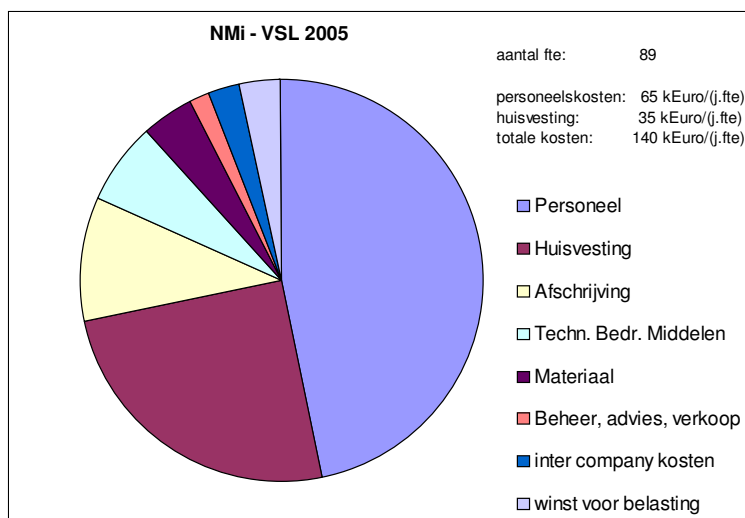
De overige kosten (totale kosten minus personeelskosten en minus huisvestingskosten), bedragen voor NMI-VSL, TU/e en NFI respectievelijk 28%, 23% en 42% van de jaaromzet.

Conclusie wat de kosten betreft wijkt NMI-VSL alleen fors af op het gebied van de huisvesting.

8.3 Conclusie

Zowel wat betreft inhoud als wat betreft kosten is het beheer en de ontwikkeling van de standaarden in Nederland bij NMI-VSL in goede handen.

Bijlage bij Hoofdstuk 8
 Globale vergelijking NMI-VSL met:
 - Technische Universiteit Eindhoven
 - Nederlands Forensisch Instituut



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 NMI-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

Een aspect dat ook nog mee kan spelen is de benodigde hoeveelheid menskracht die beschikbaar is, of beschikbaar gemaakt kan worden. In deze fase is dat voor de Raad niet na te gaan evenals wat de financiële consequenties zijn van de adviezen, daar zijn uitgewerkte voorstellen voor nodig.

Wel is de Raad van mening dat geen tijd verloren kan worden met het in gang zetten van het inrichten van een leerstoel Algemene Metrologie. Zij is van mening dat de kosten voor de eerste vier jaar (ongeveer 250 000 Euro/jaar) boven op het bestaande budget voor de Metrologie door EZ gefinancierd moet worden. Later zal door samenwerking en andere subsidiebronnen deze subsidiering kunnen vervallen.

10 Afkortingen

| Afkorting | Betekenis |
|-----------|---|
| ACR | Absolute Cryogene Radiometer (meetopstelling) |
| AFM | Atomic Force Microscope |
| ALARA | As Low As Reasonably Achievable |
| BIPM | Bureau International des Poids et Mesures |
| BNP | Bruto Nationaal Product |
| CCPR | Consultative Committee for Photometry and Radiometry |
| CIPM | Comité International des Poids et Mesures |
| CMM | Coördinaten MeetMachine |
| CNG | Compressed Natural Gas |
| COKZ | Centraal Orgaan voor Kwaliteitsaangelegenheden in de Zuivel |
| CT | Computer Tomografie |
| DTI | Design and Technology |
| EC | Europese Commissie |
| EFT | Electric Fast Transient |
| EMC | Electro Magnetic Compatibility |
| EMRP | European Metrology Research Programme |
| EPA | Environmental Protection Agency |
| ERA | European Research Area |
| ERA-NET | Samenwerkende Europese NMI's op onderzoeksgebied |
| 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) |
| FP7 | Framework Program 7 (EU Kaderprogramma voor Onderzoek en Technologische Ontwikkeling) |
| HF | Hoog Frequent |
| ICES-KIS | Interdepartementale Commissie Economische Structuurversterking Kennisinfrastructuur |
| IMEKO | International Measurement Confederation |
| iMERA | implementing Metrology in the European Research Area Pilot onderzoeksproject (voorloper EMRP) |
| IMS | Ion Mobility Spectroscopy |
| IRI | Interuniversitair Reactor Instituut |
| ITS | International Temperature Scale |
| ITU | International Telecommunication Union |
| IVD | In Vitro Diagnostica (richtlijn van de EC) |
| KIS | Kennis Infra Structuur |
| KWF | Koningin Wilhelmina Fonds |

| | |
|---------|--|
| LED | Licht-Emitterende Diode |
| LF | Laag Frequent |
| LNG | Liquefied Natural Gas |
| MEMS | Micro-Electro-Mechanical Systems |
| MERA | Metrological European Research Area (begrip) |
| MO | Member Organisation |
| MRA | Mutual Recognition Agreement |
| MS | Mass Spectroscopy |
| NIST | National Institute of Standards and Technology (US) |
| NMI | National Metrology Institute |
| NMi | Nederlands Meetinstituut |
| NMIJ | National Measurement Institute Japan |
| NMi-VSL | Nederlands Meetinstituut – Van Swinden Laboratorium |
| NPL | National Physical Laboratories (UK) |
| NRC | National Research Council |
| NWO | Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek |
| PET | Positron Emission Tomography |
| PTB | Physisch Technische Bundesanstalt (BRD) |
| PTB | Physikalisch-Technische Bundesanstalt |
| R&D | Research and Development (begrip) |
| RMO | Regionale Metrologie Organisatie |
| RV | Relatieve Vochtigheid |
| RvA | Raad van Accreditatie |
| SBO | Standaard Beheer Overeenkomst |
| SI | Système Internationale des Unités |
| SIR | Spectrale Irradiantie facility (faciliteit van VSL) |
| SKLZ | Stichting Kwaliteitszorg Ziekenhuis Laboratoria |
| STW | Stichting voor Toegepaste Wetenschappen |
| STW | Stichting Technische Wetenschappen |
| SURF | Synchotron Ultraviolet Radiation Facility (meetopstelling) |
| TC | Technical Committee |
| TNO | Technisch Natuurkundig Onderzoek (instituut) |
| TPD | Technisch Fysische Dienst |
| TTI | Technologisch Top Instituut |
| TU/e | Technische Universiteit Eindhoven |
| TUD | Technische Universiteit Delft |
| TWAIO | Tweejarige Assistent In Opleiding |
| UT | Universiteit Twente |
| UV | Ultra Violet |
| VIM | International vocabulary of basic and general terms in metrology |